

Восьмая открытая Всероссийская конференция

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

Физические основы, методы и технологии
мониторинга окружающей среды,
потенциально опасных явлений и объектов

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Москва
ИКИ РАН
15–19 ноября 2010 г.

В сборник включены тезисы докладов специалистов из более чем 150 институтов и организаций, активно ведущих разработку новых методов и систем дистанционного зондирования Земли из космоса. Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований по спутниковому дистанционному зондированию океана, атмосферы и суши из космоса, по методическим и аппаратурным вопросам дистанционного зондирования, по развитию методов обработки и интерпретации данных спутникового дистанционного зондирования природных сред и создания систем спутникового мониторинга Земли.

Тезисы издаются в авторской редакции.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

| | |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Лаверов Н.П.</i> | академик РАН, председатель |
| <i>Луляя Е.А.</i> | д-р техн. наук, ИКИ РАН, заместитель председателя |
| <i>Дядюченко В.Н.</i> | заместитель руководителя Росгидромета, заместитель председателя |
| <i>Алферов А.В.</i> | канд. экон. наук, Исполнительное бюро по космосу РАН |
| <i>Асмус В.В.</i> | д-р физ.-мат. наук, ГУ «Планета» Росгидромета |
| <i>Белов В.В.</i> | д-р физ.-мат. наук, Институт оптики атмосферы СО АН |
| <i>Боярчук К.А.</i> | д-р физ.-мат. наук, ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики» Роскосмоса |
| <i>Ваганов Е.А.</i> | академик |
| <i>Голыцын Г.С.</i> | академик |
| <i>Данилов-Данильян В.И.</i> | член-корреспондент РАН |
| <i>Ерохин Г.Н.</i> | д-р физ.-мат. наук, Югорский НИИ информационных технологий |
| <i>Жеребцов Г.А.</i> | академик |
| <i>Зеленый Л.М.</i> | академик |
| <i>Исаев А.С.</i> | академик |
| <i>Коровин Г.Н.</i> | член-корреспондент РАН |
| <i>Лукашевич Е.Л.</i> | д-р техн. наук, ФГУП ГУ «Природа» Росреестра |
| <i>Макриденко Л.А.</i> | д-р техн. наук, ФГУП «Научно-производственное предприятие – ВНИИ электромеханики с заводом им. А.Г. Иосифьяна» |
| <i>Миронов В.Л.</i> | член-корреспондент РАН |
| <i>Нигматулин Р.И.</i> | академик |
| <i>Осипов В.И.</i> | академик |
| <i>Пулинец С.А.</i> | д-р физ.-мат. наук, Институт прикладной геофизики Росгидромета |
| <i>Романов А.А.</i> | д-р техн. наук, ОАО «Российские космические системы» |
| <i>Савиных В.П.</i> | член-корреспондент РАН |
| <i>Соболев Г.А.</i> | член-корреспондент РАН |
| <i>Татевян С.К.</i> | д-р техн. наук, Институт астрономии РАН |
| <i>Хренов А.П.</i> | д-р геолого-минерал. наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН |
| <i>Чернявский Г.М.</i> | член-корреспондент РАН |
| <i>Шилов А.Е.</i> | канд. техн. наук, Роскосмос |

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

| | |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>Луляя Е.А.</i> | д-р техн. наук, ИКИ РАН, председатель |
| <i>Лаврова О.Ю.</i> | канд. физ.-мат. наук, ИКИ РАН, ученый секретарь |
| <i>Барталев С.А.</i> | д-р техн. наук, ИКИ РАН |
| <i>Ведешин Л.А.</i> | канд. техн. наук, Исполнительное бюро по космосу РАН |
| <i>Горный В.И.</i> | канд. геолого-минерал. наук, НИЦ экологической безопасности РАН |
| <i>Каримова С.С.</i> | ИКИ РАН |
| <i>Митягина М.И.</i> | канд. физ.-мат. наук, ИКИ РАН |
| <i>Саворский В.П.</i> | канд. физ.-мат. наук, ИРЭ РАН |

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Е.А. Луян¹, С.А. Барталёв¹, Д.В. Ершов², Г.Н. Коровин², Р.В. Котельников³, В.Е. Щетинский³

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

³ ФГУ «Авиалесоохрана», Пушкино Московской обл.

E-mail: evgeny@smis.iki.rssi.ru

Приведён обзор современных возможностей дистанционного мониторинга природных пожаров. Рассматриваются основные задачи, которые сегодня могут решать различные действующие системы дистанционного мониторинга пожаров. Обсуждается роль, которую играют спутниковые системы наблюдения, методы и технологии в организации мониторинга природных пожаров и их последствий. Особое внимание в докладе уделяется вопросам, связанным с объективной оценкой последствий действия лесных пожаров, в том числе построению оценок площадей, пройденных огнем, картированию погибших насаждений, долговременному контролю состояния территорий, пройденных огнем.

В докладе приводятся различные примеры оценок последствия действия природных пожаров на территории России в 2010 г., а также различная статистика действия лесных пожаров на территории России в последние годы.

Основной для доклада послужил опыт авторов, полученный при создании и более чем пятилетней эксплуатации Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации (ИСДМ-Рослесхоз). Статистика, которая приводится в докладе, основана на информации ИСДМ-Рослесхоз и данных, полученных из общедоступных источников.

В докладе также обсуждаются возможные перспективы развития и использования систем дистанционного мониторинга природных пожаров.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМАХ

С.В. Станичный, Ю.Б. Ратнер, Д.М. Соловьёв, Р.Р. Станичная, А.А. Кубряков, А.Ю. Антонок

Морской гидрофизический институт НАНУ, Севастополь, Украина

E-mail: sstanichny@mail.ru

На основе данных дистанционного зондирования рассмотрена роль изменчивости ветровых условий на характеристики морских экосистем в Чёрном, Азовском и Каспийском морях. Приведены примеры отклика концентрации хлорофилла на временных масштабах от нескольких дней до межгодовой изменчивости. Отмечена роль мезомасштабных процессов, определяющих транспорт биогенов, на формирование пространственной структуры поля концентрации хлорофилла в Северо-западной части Чёрного моря. Проанализированы ситуации цветения сине-зелёных водорослей, выделены возможные причины возникновения цветения. Показано влияние цветения цианобактерий на абиотические характеристики поверхностного слоя. Приведены примеры цветения нетипичных водорослей в море, вызванного

аномальными ветровыми воздействиями. Обсуждаются особенности изменчивости концентрации хлорофилла в зонах апвеллинга. Приводятся примеры регистрации нефтяных загрязнений и рассмотрена роль мезомасштабных течений на транспорт загрязнений.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНЫХ ВУЛКАНОВ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

А.П. Хренов

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва
E-mail: khrenov@igem.ru

Единственной возможностью максимального снижения риска и минимизации последствий воздействия вулканизма на природную и антропогенную среду является прогноз и своевременное оповещение о возможности вулканических извержений. Этим целям служит система космического мониторинга катастрофических явлений, которая предназначена для решения основных задач: обнаружение и выявление предвестников извержений; контроль за развитием происходящих событий; разработка сценариев динамики извержений с целью оценки их масштаба и влияния на природную среду; создание цифровых моделей (3D) рельефа активных вулканов Камчатки и Курильских островов с последующей разработкой сценария катастрофических извержений. Такие исследования были выполнены для вулканов: Ключевской группы, включая Шивелуч, Карымской и Южной групп вулканов, а также вулканов Курил: Алаид (о-в Атласова), Чикукрачки (о-в Парамушир), Пик Сарычева (о-в Матуа), Немо, Пик Креницына (о-в Онекотан), кальдера Заварицкого и Пик Прево (о-в Симушир), Иван Грозный (о-в Итуруп), Тятя (о-в Кунашир).

Основными измерительными средствами для решения задач исследования природных ресурсов Земли и, в частности, успешно применяемыми для мониторинга вулканов являются: многоспектральный сканирующий радиометр (MODIS), усовершенствованный спутниковый радиометр высокого разрешения теплового излучения и отражения (ASTER).

Компьютерная обработка данных радарных интерферометрических измерений (SRTM) и возможность построения новых трёхмерных «цифровых слоев» позволяют в дальнейшем достаточно оперативно оценивать границы и объёмы изверженного материала во время извержения в реальном времени.

Установлено, что для выявления структур, мониторинга вулканической деятельности и контроля над их катастрофическими процессами наиболее эффективны методы дистанционного зондирования в инфракрасном (ИК) и микроволновом (СВЧ) диапазонах длин волн. Особый интерес представляет использование метода дифференциальной спутниковой интерферометрии для обнаружения деформационных предвестников извержений.

Исследования со спутников позволяют в полном объёме обеспечить постоянное наблюдение за изменением морфологии кратеров вулканов, следить за вариациями теплового потока на них. А использование результатов радиолокационной съёмки выполненной одновременно в различных диапазонах длин (предпочтение L-диапазону — 23 см) волн, и интерферометрические измерения сейсмотектонически активных территорий позволят осуществлять краткосрочный прогноз многих природных катастроф и осуществлять оперативную передачу информации в обрабатывающие Центры.

Кроме того, остаётся актуальным контроль движения и распространения пепловых облаков во время и после извержений, представляющих реальную угрозу безопасности полетов реактивной авиации в Тихоокеанском регионе. Последние события, связанные с извержением 14 апреля 2010 г. вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии, когда Европейские аэропорты и авиация были на неделю парализованы, лишний раз свидетельствуют об актуальности мониторинга пепловых облаков.

Такие катастрофические извержения вулканов, как, например, Везувия 79 г. н. э., Кракатау в 1873 г., Тамбора в 1815 г., Ксудач в 1907 г., Катмай в 1912 г., Безымянного в 1956 г., Шивелуч в 1964 г., Сент-Хеленс в 1980 г., Пинатубо в 1991 г. стали хрестоматийными при описании влияния последствий извержений на окружающую среду. Последствия от катастрофических извержений всегда ужасны. В одних случаях страдает только природная среда, в других — гибнут люди и города.

Комплексное использование методов дистанционного зондирования наряду с традиционными геологическими и вулканологическими исследованиями, несомненно, расширит наши знания в области наук о Земле и позволят перейти к количественным оценкам баланса вещества современного вулканизма Курило-Камчатской островной дуги, и оценке масштаба катастрофических извержений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В РОСГИДРОМЕТЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В.В. Асмус, В.А. Кровотынец, О.Е. Милехин, В.И. Соловьёв, А.Б. Успенский
ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

В Росгидромете спутниковый мониторинг опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций осуществляется с использованием наземного комплекса приёма, обработки и распространения спутниковой информации в составе системы трёх крупных (федерального уровня) центров: Европейский — ГУ «НИЦ «Планета» (Москва — Обнинск — Долгопрудный), Сибирский — ЗС РЦПОД (Новосибирск), Дальневосточный — ДВ РЦПОД (Хабаровск) и более 70 автономных пунктов приёма спутниковой информации. Эти центры (оснащенные более чем 20 приёмными станциями) обеспечивают регулярный приём и обработку данных 12 зарубежных спутников и российского спутника «Метеор-М» № 1. ГУ «НИЦ «Планета» является крупнейшим спутниковым центром России (по объёмам принимаемых данных, номенклатуре выпускаемой информационной продукции, количеству потребителей) и входит в международную систему оперативного сбора и обмена спутниковыми данными, что обеспечивает оперативное получение глобальных данных. Центр ежедневно выпускает свыше 100 наименований информационной продукции и обеспечивает этой продукцией более 400 потребителей федерального, регионального и локального уровней.

Одно из активно развивающихся направлений использования спутниковых данных космической подсистемы наблюдений Росгидромета — мониторинг опасных гидрометеорологических явлений и чрезвычайных ситуаций. В ГУ «НИЦ «Планета» созданы оперативные технологии мониторинга опасных явлений (с использованием спутниковой и дополнительной априорной информации):

- стихийных гидрометеорологических явлений в атмосфере (сильные осадки, град, штормы, грозы и т. п.);

- тропических циклонов;
- экстремальной ледовой обстановки в Арктике, Антарктике, на внутренних и окраинных морях России;
- наводнений на реках России;
- пожаров по территории России;
- загрязнений водной среды и др.

Приведённые в докладе примеры оперативного использования этих технологий в период 2010 г. включают:

- получение информации об облаках вулканической пыли и аэрозоля в период извержения вулкана Эйяфьятлайокуль (Исландия);
- картирование затоплений речных пойм в период весеннего половодья и паводков (реки Кубань, Северная Двина, Обь, Енисей, Кама, Амур и др.);
- картирование зон пожаров по всей территории России, включая экстремальные пожары в центральной части Европейской территории России.

Кроме того, на регулярной основе осуществлялся мониторинг стихийных гидрометеорологических явлений и тропических циклонов. В докладе представлены также результаты обнаружения и мониторинга загрязнений в акваториях Чёрного и Азовского морей, а также опасной ледовой обстановки в Арктике (в период проведения досрочной эвакуации станции «Северный полюс-37») и в районах Северного Каспия (контроль за стамухами, представляющими угрозу для функционирования технических объектов нефтяных и газовых месторождений).

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ МОНИТОРИНГА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Л.Ф. Спивак, Н.Р. Муратова

Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики

Казахстан, Алматы

E-mail: levspivak@mail.ru

Возрастающие информационные потоки, с которыми приходится работать руководителям государственных органов различных уровней, сложность анализа и нахождения решений делает проблему создания и развития ситуационных центров (СЦ) всё более актуальной. Обязательным элементом при создании СЦ является информационное обеспечение, включающее большие объёмы оперативной, аналитической и прогнозной информации, необходимой для принятия управленческих решений.

Прогресс последних десятилетий в науке и технике, особенно в области создания космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, технологий приёма, архивации и обработки спутниковых данных способствовал существенному расширению круга и масштаба задач мониторинга природных и техногенных объектов и процессов. Данные ДЗЗ стали важным источником объективной информации с огромным преимуществом по оперативности и масштабности охвата.

Среди основных приоритетов развития космической деятельности в Республике Казахстан ключевая роль отводится более широкому использованию космических технологий в народном хозяйстве. В настоящее время создан и функционирует пилотный комплекс Национальной системы космического мониторинга (НСКМ), в состав которого входят:

- сеть центров приёма, архивации и обработки данных ДЗЗ в Астане и Алматы, обеспечивающая регулярное покрытие территории Казахстана оптико-электронными и радарными космическими снимками различного разрешения;
- сеть подспутниковых полигонов для калибровки данных ДЗЗ;
- ряд тематических подсистем, включающих ГИС-технологии решения прикладных задач мониторинга сельского хозяйства, чрезвычайных ситуаций и экологического состояния окружающей среды.

В интересах Министерства сельского хозяйства РК определяются площади посевов и состояние зерновых культур, оцениваются перспективы на урожай и ведется контроль посевной и уборочной кампаний. МЧС РК и акиматы Западно-Казахстанской, Актюбинской, Карагандинской, Восточно-Казахстанской и Алматинской областей оперирует результатами космического мониторинга пожаров и наводнений. По заказу Агентства по управлению земельными ресурсами осуществляется инвентаризация и мониторинг пахотных земель в северных регионах. В целях охраны окружающей среды ведется постоянное наблюдение за состоянием «горячих точек» Казахстана: Семипалатинским испытательным полигоном (СИП), Аральским регионом, бассейном Каспийского моря, Шардаринским водохранилищем и т. п.

Однако, как показал опыт, сконцентрировать разработку технологий решения различных прикладных задач мониторинга, а тем более обеспечить их регулярное практическое применение для всей территории Казахстана в рамках единой централизованной структуры, невозможно. Поэтому дальнейшее развитие НСКМ будет осуществляться на основе принципиально новой распределенной архитектуры, предусматривающей развертывание сети территориальных ситуационных центров мониторинга в регионах Казахстана. СЦ планируется развернуть на базе ведущих областных вузов. В этом случае СЦ предназначены играть роль «шлюзов» между центрами приёма космической информации и местными органами управления через поддержку информационного обеспечения и подготовку кадров на местах.

НОВАЯ КАРТА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА РОССИИ

*С.А. Барталёв, В.А. Егоров, Д.В. Еришов, А.С. Исаев, Е.А. Лупян,
Д.Е. Плотников, И.А. Уваров*

Институт космических исследований РАН, Москва

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

E-mail: smis@smis.i.ki.rssi.ru

Решение многих современных научных проблем и прикладных задач требует наличия актуальной и достоверной картографической информации о растительном покрове. Методы дистанционного зондирования со спутников в настоящее время становятся одним из наиболее эффективных инструментов картографирования растительного покрова планеты на различных уровнях. Несмотря на наличие целого ряда глобальных спутниковых карт наземных экосистем, полученных в рамках различных международных проектов (IGBP-DIS, GLC2000, Globcover и др.), всё ещё актуальным остается вопрос получения регулярно обновляемой, достоверной, тематически содержательной и пространственно детальной картографической информации о растительном покрове России.

Новая карта растительного покрова России, созданная на основе данных спутникового спектрорадиометра MODIS, вносит значительный вклад

в решение данной проблемы. Карта не имеет в настоящее время аналогов по сочетанию таких характеристик как пространственное разрешение, тематическая детальность и уровень достоверности при охвате всей территории страны. При величине пространственного разрешения 250 м, легенда карты представлена 22 тематическими классами, описывающими различные типы лесной, травянисто-кустарниковой, тундровой и сельскохозяйственной растительности, а также некоторые виды водно-болотных экосистем.

Необходимое для создания карты распознавание типов земного покрова по спутниковым данным выполнено на основе алгоритма локально-адаптивной классификации LAGMA с использованием набора спектрально-динамических признаков, отражающих особенности сезонной и многолетней динамики различных типов растительности. Разработанная в настоящее время технология автоматического картографирования земного покрова по данным MODIS обеспечивает возможность ежегодного обновления полученной карты растительности России.

ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОМПЛЕКСА МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СКАНЕРНОЙ СЪЁМКИ (КМСС) НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ «МЕТЕОР-М» № 1 И ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Г.А. Аванесов¹, Б.С. Жуков¹, И.В. Полянский¹, О.В. Бекренёв²,
Д.И. Пермитина²*

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² НЦ оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы», Москва

E-mail: ivpolyan@cosmos.ru

Аппаратура КМСС, предназначенная для многозональной съёмки земной поверхности, с начала 2010 г. находится в режиме опытной эксплуатации на борту КА «Метеор-М» № 1. Основным назначением аппаратуры является оперативный ежесуточный мониторинг всей территории Российской Федерации.

Ежедневно с помощью приборов КМСС получают изображения с восьмью витков, проходящих над территорией РФ в шести спектральных диапазонах. Приём ведется в приёмных центрах НЦ ОМЗ в Москве и НИЦ «Планета» в Обнинске, Новосибирске и Хабаровске. Общая информативность суточного приёма составляет более 40 Гбайт.

Технические характеристики съёмочной аппаратуры и применяемая технология обработки позволяют формировать геопривязанные цветосинтезированные изображения с пространственным разрешением от 60 м в полосе захвата около 1000 км. В докладе представлены основные характеристики и принцип действия съёмочной аппаратуры КМСС, а также характеристики приборов БОКЗ-М и АСН-М-М, обеспечивающих навигационные и угловые измерения для геопривязки конечных изображений.

Важным фактором обеспечения качества конечной информации являются радиометрическая и геометрическая калибровки, которые проводились в ходе наземной отработки и корректировались в условиях реальной эксплуатации. В докладе представлены результаты полётной калибровки с количественной и качественной оценками.

Ключевой вопрос эффективности использования данных — оперативность получения конечного продукта, пригодного для вторичной тематической обработки. Основным условием обеспечения требований оперативно-

сти является применение технологии потоковой обработки данных КМСС, внедренной в Научном центре оперативного мониторинга Земли. В докладе приведены примеры использования данных КМСС для решения ряда тематических задач и проведения регионального мониторинга.

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.А. Тронин

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН

E-mail: a.a.tronin@ecosafety-spb.ru

В настоящее время во всём мире и Российской Федерации развиваются дистанционные методы изучения землетрясений. Привлечение дистанционных методов вызвано сложностью объекта изучения, трудностями его локализации во времени и пространстве, высокой стоимостью наземных методов. Целью применения дистанционных методов в сейсмологии являются как фундаментальные вопросы строения и динамики Земли, так и прикладные вопросы прогноза землетрясений.

Применение дистанционных, и в первую очередь, спутниковых методов изучения землетрясений идёт по нескольким направлениям: изучение деформаций земной поверхности оптическими и радиолокационными методами. Последние особенно бурно развиваются в варианте спутниковой радиолокационной интерферометрии, позволяющей измерять смещения земной поверхности с миллиметровыми точностями на больших площадях. Широко используются также технологии GPS для слежения за смещениями земной коры. Необходимо шире использовать возможности отечественной системы ГЛОНАСС. Опробованы спутниковые гравиметрические наблюдения за смещениями.

Опубликовано множество работ по изучению тепловых явлений на земной и водной поверхности, в атмосфере, связанных с сейсмической активностью. В США, Китае, РФ, Италии ведутся работы по автоматизации спутниковых систем наблюдения за сейсмической активностью регионов по тепловым процессам в системе литосфера – атмосфера – ионосфера.

Ионосферные исследования сейсмической активности имеют продолжительную историю. На современном этапе используются данные зондирования ионосферы со спутников и ионосферные зонды, позволяющие измерять параметры ионосферы *in situ*.

В целом можно рекомендовать дистанционные методы исследования землетрясений для оперативного контроля сейсмической активности регионов, что и было сделано в рамках проекта ЮНЕСКО “International Global Observation Strategy”.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ

О.Ю. Лаврова¹, А.Г. Костяной²

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

E-mail: olavrova@iki.rssi.ru, fax: +7(495)3331056

Представлены результаты спутниковых мониторингов последствий аварийных разливов нефти в Керченском проливе и Мексиканском заливе.

Катастрофический разлив мазута в Керченском проливе произошел 11 ноября 2007 г. в результате аварии танкера «Волгонефть-139» во время небывало мощного для того района шторма. Первые радиолокационные спутниковые изображения удалось получить только 16 ноября 2007 г., т. е. только через пять дней после катастрофы. Данные оптического диапазона, вследствие облачной погоды, оказались неинформативны. Отсутствие оперативных данных существенно осложнило выявление районов загрязнений и составление прогноза распространения нефтяного пятна. Летом 2008 г. был проведен мониторинг вторичных загрязнений, выявлена зависимость направления распространения загрязнений от затонувшей носовой части танкера от направления ветра.

В Мексиканском заливе катастрофический разлив нефти произошел вследствие аварии на нефтяной платформе «Deerwater Horizon» 20 апреля 2010 г. Поступление нефти из разрушенной скважины стало постоянным источником загрязнения северо-восточной части залива. С момента аварии до начала июля 2010 г. проводился комплексный спутниковый мониторинг на основе данных спутников ENVISAT, RADARSAT 1², TerraSAR-X, Terra, Aqua, LANDSAT. Совместный анализ спутниковых радиолокационных и оптических изображений оказался очень эффективным, так как оптические изображения, которые были получены в условиях солнечного блика, позволили исключить из рассмотрения области ветрового затишья на РЛИ, а РЛИ дали более полную информацию о размерах областей, покрытых плёнками нефти, не различимых на оптике.

Сравнение результатов численного моделирования дрейфа нефтяных пятен в Керченском проливе и в Мексиканском заливе с оперативной обстановкой, выявленной по спутниковым изображениям, позволило сделать вывод, что при составлении прогноза распространения нефтяного пятна очень важно учитывать не только ветер, волнение и постоянные течения, но и фактическую мезомасштабную и мелкомасштабную циркуляцию вод в районе. Приведён пример образования «нефтяной струи» в Мексиканском заливе, появление которой явилось следствием того, что нефтяное пятно частично попало в зону действия направленного на запад интенсивного и гигантского дипольного вихря общим поперечным размером 300 км. Часть пятна была захвачена передним фронтом диполя и вовлечена в вихревое движение циклоническим вихрем диполя, чем и объяснялась наблюдаемая траектория движения струи. На основе оценки вихревой активности были даны прогнозы дальнейшего распространения струи, которые полностью оправдались.

Работа частично поддержана РФФИ (проект № 10-05-00428). Радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проекта С1Р 6342.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ РЕАКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАСУХУ 2010 Г. В РОССИИ

И.Ю. Савин, С.А. Барталёв, Е.А. Лупян, В.А. Толпин
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: savin@smis.iki.rssi.ru

Засухи в основных зернопроизводящих регионах России отмечаются достаточно часто. Но такого неблагоприятного сочетания температур и осадков, как летом 2010 г., не было с 1946 г., когда случилась засуха, которую многие эксперты называют одной из сильнейших в XX в. Например, по данным

Гидрометцентра в то время в Татарстане количество осадков в июне составляло 30–40 мм при температуре воздуха, превышающей +30 °С. В 2010 г. при таких же температурах выпало только 10 мм осадков. В Саратовской области в июне 1946 г. выпало около 44–48 мм дождя, а в июне 2010 г. 4 мм.

Подобные метеорологические условия не могли не сказаться на растительности регионов, подверженных засухе. В первую очередь пострадали посевы сельскохозяйственных культур.

В докладе обсуждаются возможности оценки последствий засухи на основе анализа данных дистанционного зондирования. Представлены основные возможности технологии выявления аномальных изменений в растительном покрове с учётом многолетнего поведения растительности в различных регионах.

Представлены результаты анализа изменений наблюдавшихся в состоянии сельскохозяйственной растительности, которые позволили сделать оценки гибели посевов в различных регионах охваченных засухой.

Следует также отметить, что засуха, вызвавшая массовую гибель сельскохозяйственных посевов и чрезвычайно высокий уровень пожарной опасности, привела и к аномальным изменениям состояния лесов. Представленный в докладе анализ спутниковых данных позволил выявить в ряде регионов Европейской части России аномальные изменения состояния лесов, впервые наблюдаемые на территории страны за период регулярных спутниковых съёмок последнего десятилетия. Установлено, что аномальные изменения состояния лесов связаны не только с последствиями действия лесных пожаров, но и с общим стрессовым состоянием лесной растительности. Выявленные изменения лесов могут впоследствии привести к их ослаблению и/или частичной гибели под воздействием различных неблагоприятных факторов. В случае повторения подобных условий в последующие годы велика вероятность быстрой смены лесной растительности на травяные сообщества. Именно таким образом может быть один из механизмов изменения растительного покрова территории вследствие глобального изменения климата.

Результаты мониторинга растительности, которые используются в докладе, представлены на информационном сервере TerraNorte по адресу сайте: <http://maps.terranorte.ru/>

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ УРОВНЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ЭКОСИСТЕМЫ

В.И. Горный, С.Г. Крицук, И.Ш. Латыпов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН

E-mail: v.i.gornyy@ecosafety-spb.ru

Выполнен анализ методологий количественной оценки реакции экосистем (ЭС) на антропогенную нагрузку (АН). Показано, что все существующие методики такой оценки базируются на микроскопическом и макроскопическом подходах изучения окружающей среды. Сделан вывод, что по экономическим причинам микроскопический подход, требующий детального описания множества характеристик состояния ЭС, не реализуем в практике экологического мониторинга, поэтому необходимо выполнение разработок в направлении макроскопического подхода. В рамках этого методологического направления перспективным является наблюдение за термодинамиче-

ским состоянием ЭС. Теоретически этот вопрос наиболее полно разработан С. Йоргенсенем и Ю. Свирежеевым (S. Jorgensen, Yu. Svirezhev), которые показали, что уровень АН на ЭС измеряется темпом прироста энтропии в ЭС. Но оказалось, что без перехода на микроскопический уровень описания термодинамического состояния ЭС использовать, полученные аналитические выражения для дистанционного измерения и картографирования, невозможно.

В связи с этим, исходя из баланса эксергии, поглощенного ЭС солнечного излучения выведен термодинамический индекс антропогенной нагрузки (ТИАН) на ЭС, который представляет собой отношение эксергии, расходуемой ЭС на парирование АН, ко всей поглощенной ЭС эксергии солнечного излучения. Показано, что расчёт ТИАН может быть выполнен по результатам дистанционного картографирования скорости испарения влаги с поверхности ЭС и эксергии поглощенного ЭС солнечного излучения. Верификация методики дистанционного картографирования ТИАН выполнена на примере г. Карабаш Челябинской области — района с высокой АН. Для этого использованы материалы спутников EOS и NOAA. Количественная оценка показала, что ТИАН вдвое чувствительнее к АН, чем вегетационный индекс.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

LINE-BY-LINE-МОДЕЛИ ДЛЯ ДЗЗ СПЕКТРОМЕТРАМИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Ю.А. Борисов¹, В.А. Фалалеева², Б.А. Фомин¹

¹ Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО), Долгопрудный
Московской обл.

² Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва
E-mail: b.fomin@mail.ru

Как известно, одной из основных тенденций в развитии спутниковых спектрометров является повышение их разрешения. К настоящему моменту уже достигнуто разрешение $\sim 0,01$ (MIPAS-2002, ACE-2003 и др.), что позволяет без искажений («смазывания») принимать спектры ИК излучения исходящего от областей тропосферы и нижней стратосферы. Таким образом, появилась возможность принимать максимально возможную информацию о состоянии этих областей атмосферы «зашифрованную» в спектрах. Однако, для их «расшифровки» (решения обратной задачи) требуются особо точные и быстрые LBL-модели, в которых с особой тщательностью учтены факторы, формирующие контуры спектральных линий. В докладе будет представлена новая версия LBL-модели, предназначенной для таких задач, в которой включена возможность учёта эффекта «интерференции линий» (Line-Mixing) с помощью двух методов: Артмана и др. (Франция), а также Филиппова, Тонкова и др. (СПбГУ). Следует отметить, что отечественная методика более универсальна и может быть перспективна для предционных расчётов переноса радиации даже в атмосфере Венеры и других планет. Также в модель включена возможность учёта «нелокального термодинамического равновесия». Новая версия применялась и применяется в

исследованиях Земли со спутников методами ИК-спектроскопии высокого разрешения: для аппаратуры «РУСАЛКА» (Россия, установлена на МКС) и TANSO (спутник GOSAT, Япония). Также данная версия применялась в международных сравнениях радиационных кодов, используемых в климатических моделях (моделях общей циркуляции атмосферы): проекты CIRC (the Continual Intercomparison of Radiation Codes) и CCMVal (Codes for Circulation Models Validation).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-01-00024 и 09-01-00071).

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЛЕДОВЫХ ПОЛЕЙ С ПРОЦЕДУРОЙ ОТБРАКОВКИ «ЛОЖНЫХ» ВЕКТОРОВ

М.Г. Алексанина, А.И. Алексанин, А.Ю. Карнацкий

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток
E-mail: margeo@satellite.dvo.ru

Автоматический расчёт скоростей перемещений льда на море — одна из актуальных научных и практических задач. Наиболее экономичным и дающим картину в целом является расчёт скоростей перемещений на море по последовательности изображений с метеорологических спутников Земли.

На данный момент существует три подхода к построению полей скоростей перемещений пространственно-временных структур по последовательности спутниковых изображений: на основе уравнения адвекции (переноса трассера течениями); на основе прослеживания контуров и отдельных маркеров изображения; на основе максимальной кросс-корреляции яркости площадок изображений (перекрестной корреляции).

Метод кросс-корреляции (МКК) зарекомендовал себя как наилучший для расчёта скоростей ледовых полей. Одним из существенных недостатков метода является наличие значительного количества ложных векторов.

Цель данной работы — усовершенствовать метод кросс-корреляции. Для этого вводится дополнительный критерий отбраковки ложно построенных векторов, представляющий собой априорную оценку точности расчёта скорости. Расчёт оценки базируется на предположении, что геометрические искажения автокорреляционной функции площадки за заданный интервал времени пропорциональны точности расчёта перемещения трассера. В качестве характерного размера искажения берётся расстояние от центра площадки до максимально удаленной от неё точки, имеющей величину автокорреляции, равную кросс-корреляции.

Тестирование усовершенствованного метода кросс-корреляции проводилось по последовательным парам спутниковых изображений видимого канала Охотского моря (AVHRR/NOAA-18). Для сравнения рассматривались векторы скорости тех же точек, что и построенные оператором вручную. Были рассмотрены два случая — чистая атмосфера без облачности (около 200 векторов) и наличие полупрозрачной облачности над морем (около 150 векторов).

При тестировании рассматривались расхождение (евклидово расстояние) между автоматически построенным вектором и построенным оператором и его зависимость от значения максимальной кросс-корреляции, априорной оценки точности и условий наблюдения.

Предварительный анализ результатов показал, что при допустимой не точности скорости 20 см/с, заведомо плохих векторов в безоблачном случае было 5 % от общего числа и 25 % — в условиях полупрозрачной облачности.

При отбраковке данных по кросс-корреляции процент векторов, попавших в брак, составил 27 % от общего числа в безоблачном случае и 85 % в условиях облачности. Причем процент правильной отбраковки составил 20 и 30 % соответственно от общего числа некорректных векторов. Использование априорной оценки точности в безоблачном случае уменьшило число отбракованных векторов до 15 % и в облачных условиях — до 45 %, где процент правильной отбраковки составил 33 и 50 % соответственно. Таким образом, критерий априорной оценки точности примерно в 2 раза уменьшил число неверно отбракованных скоростей, при этом в 1,5–2 раза увеличил число отбракованных правильно.

АДАПТИВНАЯ СТРОЧНАЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ АППАРАТУРНОГО СТРОЧНОГО ШУМА ДАННЫХ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМКИ

В.Н. Остриков, О.В. Плехотников, А.А. Соболев, К.М. Шулика

Санкт-Петербургский филиал ОАО «КБ «Луч»

E-mail: fillspb@rambler.ru

Современная аппаратура получения данных гиперспектральной съёмки (ГСС) строится на основе схемы “push broom”, что соответствует сканированию пространства предметов путевой скоростью с захватом области «гребенкой» приёмников. На результирующем снимке образ пространства предметов формируется с искажениями в виде «строчного» шума, направление которого совпадает с направлением путевой скорости носителя. В качестве «гребенки» фотоприёмников в реальной аппаратуре выступает совокупность линеек, каждая из которых формирует видовые данные на отдельной, достаточно узкой по длине волны, спектральной линии. Радиометрическая чувствительность элементов таких линеек различается как между собой, так и от одной к другой линии, а разброс этой чувствительности носит случайный характер. В результате спектральные характеристики двумерных образов существенно искажаются, что неизбежно сказывается на качестве спектральной идентификации объектов и фонов.

В связи с особой спецификой данных ГСС, состоящей в существенной информативности малой (вплоть до единичного пиксела) пространственной совокупности спектральных векторов, любые, даже относительно незначительные возмущения взаимной чувствительности строк опосредованно приводят к значительному «спектральному шуму», снижающему конечное качество спектрального распознавания. Отсюда следует важность программной радиометрической компенсации «строчных» возмущений.

Описанный в литературе и традиционно используемый метод реализуется путем приведения двух первых моментов строчных яркостей двумерного образа к их значениям, соответствующим снимку в целом. Яркостная коррекция по такому методу позволяет получать высокое качество только в том случае, когда уровень присутствующего регулярного шума достаточно высок и соизмерим с общим уровнем яркостной модуляции по сюжету. Если же полученное изображение имеет общее высокое отношение сигнала к шуму и уровень модуляции «полосовым» шумом составляет величины в пределах 10–20 % от градиционной шкалы регистрируемых сигналов, что характерно для данных ГСС, применение такого типа коррекции приводит к снижению пространственного и спектрального разрешения. Вместе с тем, по сути, оно должно возрастать.

Применительно к данным ГСС предлагается специально разработанный метод компенсации строчных шумов, подстраиваемый к вариабельности сюжета и не затрагивающий основную измерительную информацию спектральных данных. Суть метода состоит в «сглаживании» собственно локальных параметров шумов, не внося изменений в образ сцены в целом. Строится адаптивный к колебаниям первых случайных моментов строчного шума фильтр, выделяющий случайную (высокочастотную) составляющую снимка и регулярный тренд, обусловленный сюжетом регистрируемой сцены. Выделенный высокочастотный «срез» в дальнейшем участвует в расчёте компенсации строчного шума только в пределах толщины его пространственного спектра. В результате реализующий алгоритм обработки, адаптирующийся к сюжетным колебаниям регистрируемой сцены, перед проведением собственно строчной коррекции, проходит два этапа подстройки. Первый — на стадии выделения высокочастотного среза, второй — на этапе расчёта корректирующих параметров. Для выделения высокочастотного среза исходного изображения используется специально разработанный для этой цели скользящий фильтр с фиксированной выборкой.

Весьма важным моментом является оценка качества результата коррекции. Перебор ряда методов показал, что наиболее чувствителен к качеству коррекции строчного шума специально разработанный алгоритм представления спектрального «куба» в метрике расстояния Хэмминга. Такое представление позволяет визуально оценить качество исходных данных и проведенной коррекции.

Практическое использование разработанного подхода иллюстрируется на данных ГСС, полученных аппаратурой ЗАО «НТЦ «Реагент» и НТЦ ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева».

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНТЕРФЕРОГРАММ БОРТОВОГО ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

С.А. Хохлов, А.С. Романовский
НИИ ИСУ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
E-mail: S.A.Khokhlov@gmail.com

В докладе представлены методы и алгоритмы обработки интерферограмм, полученных от фурье-спектрометра (ФС) космического базирования, применяемые для подготовки интерферограмм к дальнейшему использованию в алгоритмах восстановления профилей температуры, влажности и концентраций основных малых газовых составляющих. Целью работы являлась разработка модели интерферометра, позволяющей оценить воздействие на интерферограмму ошибок интерферометра различного рода, а также создание методов их компенсации.

Фурье-спектрометры, в отличие от классических спектральных приборов, формирующих сигнал в виде спектра, вырабатывают сложный сигнал — интерферограмму, требующую выполнения преобразования Фурье. В работе показана возможность осуществления с помощью современных цифровых средств предварительной обработки интерферограмм, а также возможности вычисления преобразования Фурье непосредственно на борту в реальном масштабе времени. Двусторонняя интерферограмма идеального ФС является симметричной функцией относительно точки нулевой разности хода. На практике регистрируемая интерферограмма таковой не является. В работе проанализированы основные причины несимметричности интерферограммы: наличие случайного шума, несовпадение момента выборки при дис-

кретизации интерферограммы с положением точки нулевой разности хода, неполная компенсация разности хода лучей в плечах интерферометра для разных длин волн, присутствие наводок, ошибки юстировки, разъюстировка в процессе эксплуатации и т. п. Приведены результаты применения различных методов компенсации фазовой ошибки регистрации интерферограммы. Проблема учёта фонового аддитивного излучения особенно остро возникает при пассивной регистрации спектров излучения природных сред. В работе рассмотрено влияние источников собственного фонового излучения, таких как: ИК-излучение деталей корпуса, оптических элементов, чувствительной площадки фотоприёмного устройства. Рассматриваются методы вычитания фонового шума при использовании двух опорных ИК-источников с максимально разными яркостными температурами, приведены результаты применения методов. Исследовано влияние на интерферограмму оптической разности хода волн в плечах интерферометра, определяемой величиной смещения зеркал динамического ФС.

Использование аппаратной прямоугольной функции аподизации приводит к возникновению вторичных максимумов у главной полосы (эквивалентно появлению ложных источников излучения), маскированию слабых линий, появлению отрицательных выбросов. В работе проведено исследование применения различных функций аподизации: треугольной, трапециевидной, функции Хемминга (Хаппа–Гензеля), трёх- и четырёхчленной функции Блэкмана–Харриса.

Канал связи для передачи данных ФС на Землю является одним из узких мест системы. В работе рассмотрены различные методы уменьшения потока данных: использование различных методов сжатия и децимация интерферограммы.

Проведена проверка предложенных методов на эталонных источниках излучения. Расхождение спектра излучения, полученного после обработки интерферограмм, является допустимым для использования спектра в алгоритмах восстановления профилей температуры, влажности и концентраций малых газовых составляющих.

Предложенные методы и алгоритмы обработки интерферограмм апробированы и используются в технологическом и лёгком образцах инфракрасного ФС, предназначенных для использования на космическом аппарате «Метеор-3М» (ОКР «Метеор М-ИКФС-2»).

АНАЛИЗ ВКЛАДА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СПОКОЙНОГО СОЛНЦА В ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В L-ДИАПАЗОНЕ

М.Т. Смирнов, М.В. Данилычев

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Москва

E-mail: smirnov@ire.rssi.ru; dan@cplire.ru

Целью данной работы является анализ вклада излучения спокойного Солнца в радиотепловое излучение морской поверхности в L-диапазоне на основе сравнения данных натуральных измерений и модельных расчётов.

Натурные эксперименты проводились в годы спокойного Солнца на морской платформе ЭО МГИ НАНУ в пос. Кацивели (Крым) в августе 2007 г. и октябре 2009 г. в рамках комплексных экспериментов по дистанционному зондированию морской поверхности CAPMOS'07, CAPMOS'09.

Для проведения натуральных измерений использовался малогабаритные узкополосные супергетеродинные СВЧ радиометры L-диапазона с приме-

нением рупорно-линзовой антенны. Измерения вариаций радиоярких температур проводились с целью анализа естественной изменчивости принимаемых сигналов, выявления основных, определяющих их, факторов, и оценки вклада помех в зависимости от времени суток. Измерения проводились непрерывно в течение нескольких суток. Антенна была направлена на морскую поверхность под фиксированным углом 57° относительно надира для центрального луча диаграммы. Ширина диаграммы направленности на частоте 1,423 ГГц составляла примерно $33,5^\circ$ по уровню половинной мощности. Максимальные изменения принимаемого сигнала наблюдались в дневное время суток при прохождении через диаграмму приёмной антенны радиоизлучения Солнца, рассеянного на шероховатостях взволнованной поверхности моря.

Модельные расчёты вклада Солнца в принимаемое излучение были выполнены методом Кирхгофа в предположении развитости волнения. При этом использовалась модель развитого волнения и методика её использования в радиодиапазоне, полученные ранее в результате статобработки экспериментальных данных комплексных экспериментов по программе дистанционного зондирования ПРИРОДА на полигоне Качивели (Данилычев М. В. и др., 1999–2004 гг., диапазон 1–60 ГГц). В качестве источника оперативной информации о величине потока солнечного радиоизлучения в этом диапазоне были использованы данные международной Службы Солнца (радиообсерватории Palehua (PALE), Learmonth (LEAR), Sagamore_Hill (SGMR) и San_Vito (SVTO)).

Сравнение последних экспериментальных данных и результатов модельных расчётов показало, что общий характер и максимальное значение вклада излучения Солнца в принимаемое излучение неплохо описываются в рамках принятой модели. Вместе с тем в экспериментальных данных наблюдается вклад других внешних источников излучения и возмущающих факторов, что требует дополнительного анализа.

Результаты исследований могут быть использованы при обработке и интерпретации спутниковых СВЧ-радиометрических измерений в L-диапазоне.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00890-а, 09-02-00780-а).

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ГРОВОЙ ОБЛАЧНОСТИ

Н.С. Ерохин^{1,2}, Н.Н. Зольникова¹, И.А. Краснова², Л.А. Михайловская¹

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Российский университет дружбы народов, Москва

E-mail: nerokhin@iki.rssi.ru

Проведён численный анализ структурных функций $Sm(L)$ электрической турбулентности в грозовой облачности на основе имеющихся в литературе экспериментальных данных по измерению высотного профиля вертикальной компоненты электрического поля $E(z)$ в области высот до 12–16 км. Проведена оцифровка экспериментальных профилей, с использованием системы локализованных по высоте функций. Для рассматриваемой конкретной выборки $E(z)$ разработана аналитическая аппроксимация $Ea(z)$. Для различных значений порядка структурной функции m в диапазоне $0,1 < m < 7$ вычислены $Sm(L)$ с достаточно малым шагом $\Delta z = 3$ м. Построены графики структурных функций (СФ), указывающие на наличие двух интервалов L

(малые и средние масштабы), в которых имеются степенные скейлинги электрической турбулентности. Для степенных интервалов вычислены скейлинговые экспоненты $g(m)$, существенно отличающиеся от колмогоровского $gk(m) = m/3$ и спирального $gh(m) = 2m/3$ скейлингов для однородной изотропной гидродинамической турбулентности. Как уже отмечалось ранее, в интервале средних масштабов возможно присутствие когерентных структур, влияющих на скейлинг СФ. Результаты данного анализа представляют интерес для последующих исследований вклада заряженных подсистем мощных атмосферных вихрей в генерацию спиральности $H = V\text{rot}V$ и формирование существенно неоднородной самосогласованной долгоживущей структуры ветровых потоков в вихре. Кроме того это весьма важно для развития методик обработки данных дистанционного зондирования атмосферных вихрей, более полной и корректной физической интерпретации результатов этой обработки и разработки новых, современных методов прогнозирования кризисных природных явлений.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УСТАНОВЛЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАМЕР ПО ПОЛЮ ЗРЕНИЯ

В.А. Гришин

Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: vgrishin@iki.rssi.ru

На борту космического аппарата (КА) «Фобос-Грунт» установлена телевизионная система навигации и наблюдения (ТСНН) решается целый комплекс задач, в число которых входит измерение стереоскопическим методом дальности (высоты) до визируемой поверхности и скорости перемещения видимой поверхности Фобоса в поле зрения камер. Измерение скорости перемещения видимой поверхности Фобоса используется для вычисления компонент скорости КА по отношению к поверхности Фобоса.

Для решения указанных задач используется процесс установления соответствия изображений одних и тех же точек поверхности на стереопарах и на последовательности кадров. От точности и устойчивости этого процесса зависит точность и устойчивость измерений высоты и скорости КА. На качественные показатели процесса установления соответствия влияет комплекс факторов, в число которых входит неравномерность чувствительности камер по полю зрения а, следовательно, неравномерность яркости обрабатываемых изображений по полю кадра.

Представлены методика и результаты оценки эффективности различных способов уменьшения влияния неравномерности яркости изображений по полю кадра на процесс установления соответствия. Для представления образов окрестностей используются базис преобразования Адамара на вложенных носителях. Результаты приведены для нескольких критериальных функций соответствия.

Кроме того, представлены результаты выбора и оптимизации параметров целевых функций особенностей в условиях неравномерности яркости изображений. Целевые функции особенностей используются для предварительной селекции точек второго изображения, которые могут быть перспективны с точки зрения установления соответствия. Использование целевых функций особенностей позволяет исключить из анализа заведомо бесперспективные точки, что существенно уменьшает вычислительные затраты на процесс установления соответствия.

АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ УЗЛОВ ИСДМ РОСЛЕСХОЗ

*М.В. Радченко, И.В. Балашов, В.Ю. Ефремов, Р.В. Котельников, А.А. Мазуров,
С.Э. Миклашевич, А.А. Прошин, Е.В. Флитман*
Институт космических исследований РАН, Москва

Центральные узлы распределенной информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров ИСДМ Рослесхоз расположены в Центральной базе авиационной охраны лесов ФГУ «Авиалесоохрана» (Пушкино) и в ИКИ РАН (Москва). В настоящее время в этих узлах реализованы сложные и ресурсоемкие программно-аппаратные комплексы для приёма, обработки, архивации спутниковых данных и обеспечения эффективного доступа к ним. В текущем году рассматриваемые информационные узлы были дополнительно оснащены комплектом современного компьютерного оборудования, что позволило существенно повысить надежность работы программно-аппаратных комплексов и обеспечить более высокую скорость как обработки спутниковых данных, так и предоставления доступа к ним. Приводятся основные характеристики нового оборудования и кратко описывается назначение отдельных его компонент.

БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ АТМОСФЕРЫ И АЛЬБЕДО ПОВЕРХНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАНЫМ

И.Л. Катев¹, А.С. Прихач¹, Э.П. Зега¹, А.А. Кохановский², Я.О. Грудо¹
¹ Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск
² Institute of Environmental Physics, Bremen, Germany
E-mail: katsev@light.basnet.by

Практически во всех известных алгоритмах атмосферной коррекции спутниковых данных используется метод LUT (Lookup Tables). Его достоинством является значительное сокращение объёма вычислений, что весьма существенно при отсутствии быстрых процедур расчёта переноса излучения в системе атмосфера — подстилающая поверхность. Недостаток этого метода — необходимость использования огромного массива предварительно рассчитанных данных, необходимость практически полного пересчёта и замены этого массива при изменении каких-либо параметров модели, а также невозможность учёта многопараметрических моделей ввиду резкого увеличения объёма массива данных. С этим связана необходимость использования ряда априорных ограничений, а также фиксированного набора рабочих длин волн.

Ранее нами был предложен алгоритм ART (Aerosol Retrieval Technique) восстановления оптических характеристик аэрозольной атмосферы, а именно АОТ (аэрозольной оптической толщины) атмосферы, параметра Ангстрема и альбедо поверхности по спутниковым данным, отличительной особенностью которого является отказ от использования традиционного метода LUT и применение численных процедур расчёта переноса радиации для конкретной модели системы атмосфера — подстилающая поверхность. Он основан на развитии авторами исключительно быстрым коде RAY для расчёта задач переноса излучения в системе атмосфера — подстилающая поверхность с учётом состояния поляризации. Алгоритм ART позволяет включать различные модели молекулярно-газовой атмосферы и распреде-

ления аэрозоля в верхней и средней атмосфере, обрабатывать данные для различных длин волн спутникового инструмента, а также использовать метод наименьших квадратов при восстановлении параметров атмосферы и подстилающей поверхности, что обеспечивает оптимальное использование информации, содержащейся в многоспектральных спутниковых данных. Гибкость алгоритма позволяет обрабатывать данные для различных спутниковых оптических инструментов.

Нами представлена новая оперативная версия FAR (Fast Aerosol Retriever) алгоритма восстановления оптических параметров атмосферы и альbedo поверхности по спутниковым данным. Алгоритм FAR почти в 100 раз быстрее, чем ART благодаря использованию аналитических решений теории переноса излучения. В нём обработка изображения объёмом 106 пикселей происходит за 5–6 мин. Платой за резкое увеличение скорости обработки является увеличение на 15–20 % погрешности восстановления АОТ.

В алгоритме FAR, как и в ART, атмосфера условно разбивается на два слоя. Оба слоя включают аэрозольное рассеяние и поглощение, молекулярное рассеяние и газовое поглощение. Параметры атмосферы в нижнем тропосферном слое предполагаются изменчивыми от пиксела к пикселу, верхний слой атмосферы выше 2–3 км считается горизонтально однородным в пределах всего обрабатываемого кадра изображения. Перенос излучения в верхнем слое рассчитывается численно по программе RAY с учётом поляризации, в нижнем слое — на основе аналитических решений. Анализируется точность используемых решений для реального диапазона параметров атмосферы и условий наблюдения.

В докладе будет продемонстрировано сравнение данных, восстановленных по алгоритму FAR, с результатами восстановления алгоритмом ART, а также другими известными алгоритмами и с измерениями в сети AERONET.

Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке программы Союзного государства «Космос-НТ».

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ИЗ КОСМОСА НА СТЕПЕНЬ ИСКАЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ УЧАСТКОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

М.В. Гриднев

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург
E-mail: gridnev.mikhail@yandex.ru

Проведенный анализ современных зарубежных и перспективных отечественных космических радаров с синтезированной апертурой (КРСА) выявил, что геометрические параметры радиолокационного наблюдения (РЛН) — боковой обзор в направлении, перпендикулярном траектории орбиты; ограниченный диапазон наведения диаграммы направленности антенны (ДНА) по углу крена из-за ширины спектра излучаемого сигнала и энергетики радиолинии, практически постоянные параметры орбиты (высота, наклонение i) — для заданного участка поверхности Земли (ПЗ) с известной географической широтой определяют ограниченный сектор углов наблюдения по азимуту и месту. Для КРСА на полярных орбитах практически на всех широтах образуется два сектора — с востока и запада; для КРСА на наклонных орбитах — четыре сектора на широтах до широты, совпада-

ющей с наклоном орбиты; на более высоких — три, при превышении определенной величины наблюдение не производится.

Формирование РЛ-изображения (РЛИ), происходящее в координатах наклонной дальности и высокая детальность — определяют возникновение характерных типов искажений — РЛ-теней, наложений и укорачивания. РЛ-тени формируются за объектами ПЗ при перепадах высот и отображаются на РЛИ темными участками. РЛ-наложения формируются перед объектами ПЗ при попадании в один элемент РЛИ отражений от нескольких участков, находящихся на одинаковой дальности от РСА, и проявляются в виде увеличения яркости элемента РЛИ. При наличии характерного спеклшума в когерентных РЛИ и отсутствии априорной информации о наблюдаемом участке ПЗ невозможно достоверно определить причину увеличения яркости.

РЛ-тени формируются естественной маской местности в азимутальном направлении, противоположном азимутальному направлению РЛ-наблюдения, вследствие прямолинейного распространения радиоволн и их отражения от преграды. Ориентация зон РЛ-теней зависит от азимутального направления РЛ-наблюдения РСА, а размер — от его угла места. При произвольном движении носителя РСА зоны РЛ-теней будут изменять свои местоположение, размеры и ориентацию, поэтому отражательные свойства при формировании РЛИ ПЗ будут изменяться от наблюдения к наблюдению КРСА детерминированным образом.

РЛ-тени проявляются на дальней границе полосы обзора, а РЛ-наложения — на ближней. В зависимости от тематической задачи дистанционного зондирования Земли возможна оптимизация РЛН по критериям качества РЛ-данных (преобладание типа искажений) и азимутального сектора наблюдения (стороны обзора, витка орбиты).

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЗАДАНИЯ УГЛА ФАРАДЕЕВСКОГО ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТРИЦЫ РАССЕЙНИЯ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИМИ РСА

М.В. Сорочинский, А.И. Захаров
Фрязинский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
E-mail: smw@sunclass.ire.rssi.ru

Одно из основных назначений поляриметрических радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) состоит в измерении полной матрицы рассеяния наблюдаемых целей. Для получения сопоставимых результатов в разное время и различными РСА последние должны быть тщательно откалиброваны. Калибровка позволяет исключить влияние внутренних параметров конкретного РСА на результаты измерений. Процесс калибровки осуществляют, руководствуясь определенными методиками, на специальных калибровочных полигонах с применением естественных или искусственных отражателей, характеристики которых точно известны.

Эффект Фарадея, обусловленный взаимодействием электромагнитного поля падающей и отраженной от исследуемой цели волн при прохождении их через ионосферу в магнитном поле Земли, приводит к вращению плоскости поляризации волн, что может заметно исказить результаты измерений матрицы рассеяния того или иного изучаемого объекта. Это проявляется особенно в низкочастотном диапазоне работы РСА на частотах 1,4 ГГц и ниже. При калибровке оказывается, что угол фарадеевского вращения накладывается на внутренние параметры РСА, такие как дисбаланс и уровень

перекрестных искажений. Более того, если в момент калибровочных измерений фарадеевский угол не известен, то возникают трудности и в определении внутренних параметров.

Следует иметь в виду, что результаты калибровки, полученные при некотором конкретном значении фарадеевского угла, будут иметь ограниченное применение, так как величина угла зависит от координат точки наблюдения и состояния ионосферы в момент измерений, и при перемещении в точку, отличную от места калибровки, она изменяется. Таким образом, возникает проблема коррекции измерений матрицы рассеяния в зависимости от значения фарадеевского угла в момент наблюдений. Одновременно возникает и задача оценки погрешности измерения элементов матрицы при неточном определении угла поворота.

В работе приведены расчётные соотношения, позволяющие скорректировать экспериментальные данные в соответствии с фактическим углом поворота плоскости поляризации в точке их получения и оценить отмеченные выше погрешности.

В результате анализа погрешностей измерения элементов матрицы, обусловленных неточным знанием угла поворота, было установлено, что величины этих погрешностей не зависят от абсолютного значения угла и определяются лишь отклонением от него.

При численных расчётах использовалась матрица условной цели с элементами, характеризующими hh-, hv-, vh- и vv-отражения с величинами 5; 0,5; 0,3 и 7 соответственно. Уровень перекрестных искажений РСА при приёме и передаче полагался одинаковым и составлял величину 0,1. Дисбаланс при приёме и передаче был 2,0 и 1,0 соответственно. Эти расчёты показали, что погрешности измерения элементов матрицы, относящихся к согласованным поляризациям, не превышают 1 % при неточности задания угла поворота $\pm 3^\circ$. Что же касается элементов, связанных с перекрестными отражениями, то при ошибке в определении угла $\pm 0,25^\circ$ эти погрешности составляют около 10 %.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗМЕРА СНЕЖНЫХ ЗЁРЕН И ЗАГРЯЗНЕНИЙ СНЕГА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

*Э.П. Зеге¹, И.Л. Кацев¹, А.В. Малинка¹, А.С. Прихач¹, Я.О. Грудо¹,
Г. Хейгстер², Х. Вейбе²*

¹ Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск

² Institute of Environmental Physics, Bremen, Germany

E-mail: eleonor@light.basnet.by

Снежный покров обладает значительным влиянием на альбедо Земли и, соответственно, на её климат. Развитие методов спутникового зондирования, в частности мониторинга радиационных характеристик, возраста снега, степени его загрязнения и размера зёрен, становится особенно важным для полярных регионов, где затруднены прямые измерения. Представлены аналитический подход к оптике снега и алгоритм SGSP (Snow Grain Size and Pollution) восстановления радиационных и микрофизических параметров снега по данным спектрального спутникового инструмента MODIS, разработанный в рамках интегрированного Европейского проекта DAMOCLES (FP6). В отличие от известных алгоритмов, SGSP обеспечивает достаточную точность восстановления параметров снега в полярных регионах, труднодоступных для диагностики другими методами. Уникальной чертой

алгоритма SGSP является то, что он не использует никаких априорных предположений относительно формы снежных частиц, полностью учитывает угловое распределение излучения, отраженного снегом, и поэтому обеспечивает высокую точность при малых возвышениях солнца, типичных для полярных регионов. В алгоритме использованы аналитические решения асимптотической теории переноса излучения, что обеспечивает высокую скорость обработки данных. Алгоритм SGSP включает эффективную итерационную процедуру атмосферной коррекции. Алгоритм был тщательно верифицирован, использовалась компьютерная симуляция со специально разработанными программами. Кроме того, он был протестирован с использованием подспутниковых экспериментальных измерений, выполненных *Аоки* на Хоккайдо (Япония) и *Барроу* (Аляска, США). Найдено удовлетворительное соответствие между параметрами снега, восстановленными по спутниковым данным, и наземными измерениями. В настоящее время код работает как Windows графический интерфейс пользователя и как Linux консольное приложение в операционном режиме в цепи обработки данных MODIS в университете г. Бремена (Германия), обеспечивая стандартный продукт для снега в избранных полярных регионах. Карты по дням и архив могут быть найдены в Интернете (www.iup.uni-bremen.de/seaice/amrs/modis.html). Настоящее исследование выполнено в рамках Европейского интегрированного проекта DAMOCLES, который финансировался Евросоюзом как часть 6-й Рамочной программы, и Государственной целевой программы Республики Беларусь «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций на 2007–2010 гг. и на период до 2015 г.».

ВЫБОР И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРЕДИКТИВНЫХ ЭТАПОВ АЛГОРИТМОВ КОМПРЕССИИ

Я.В. Малюшин, О.В. Плахотников

Санкт-Петербургский филиал ОАО «КБ «Луч»

E-mail: fillspb@rambler.ru

Один из эффективных методов удаления информационной избыточности с гиперспектральных снимков — учёт коррелированности отдельных элементов. Эффективность этого метода основана на том, что обычно на гиперспектральном снимке присутствует небольшое число типов поверхностей с характерными формами спектральных кривых и значительно меньшие по амплитуде шумовые сигналы различного характера. Соответственно и спектральные кривые для точек одного объекта или объектов из одинакового материала сильно коррелированы. Дополнительно на все спектральные кривые на гиперспектральном снимке влияет тот факт, что излучение, их сформировавшее, прошло через слой атмосферы, имеющей определенную кривую зависимости поглощения от частоты. Соответственно некая кривая, определяемая спектром источника освещения и функцией зависимости поглощения излучения атмосферой от частоты, является составной частью всех спектральных кривых на снимке. В пространственных координатах гиперспектральный снимок представляет собой монохромное изображение, связи между пикселями которого также велики и хорошо изучены. Соответственно занимаемый гиперспектральными данными объём можно весьма эффективно уменьшить путем использования предиктивного ко-

дирования. Это подразумевает построение некой модели связи элементов кодируемых данных на основе коррелированности элементов гиперспектрального снимка, позволяющей по значениям уже прошедших компрессию элементов предсказывать значения обрабатываемых. Эта модель должна быть высоко оптимизированной, иметь небольшое число параметров и существенно менять их от снимка к снимку или в процессе сканирования. Это обусловлено самим характером процесса гиперспектрального зондирования. В связи с большим объёмом данных и высокой скоростью их поступления обычно осуществляется однократная съёмка больших участков поверхности в процессе движения зонда или выборочная съёмка отдельных участков поверхности. Таким образом, один снимок обычно охватывает большой участок поверхности, что позволяет на основе такой большой выборки, с одной стороны, оптимизировать параметры модели связи между элементами данных, а с другой — существенно потерять в эффективности в случае использования некоторой универсальной неоптимизированной модели. Кроме того, условия наблюдения (состояние атмосферы, источник света) также могут существенно меняться или в процессе поступления непрерывного потока данных или от снимка к снимку. Сам процесс оптимизации желательно проводить непрерывно, так как непрерывно поступающие данные сканирования постоянно, в том числе и скачкообразно, меняют свой характер (как в разных частях одного снимка, так и на разных снимках). Дополнительно, для ускорения обработки и сокращения занимаемого объёма, иногда требуется хранить не первичные гиперспектральные данные, а результаты выделения из одного материала площадных и точечных образований. В связи с этим наиболее предпочтителен метод оптимизации на основе генетического алгоритма (ГА). Этот метод быстро сходится и для целевых функций сложной формы и позволяет эффективно использовать имеющиеся априорные предположения о характере связи между элементами данных, а также накопленный на предыдущих снимках опыт, что даёт возможность быстро «отслеживать» изменения в характере поступающих данных. Полностью задачу компрессии гиперспектральных данных этим методом не решить, однако целесообразно использовать его как один из начальных этапов компрессии дополняя такими алгоритмами как, например, компрессия на основе 3D-вейвлет-преобразования.

ВЫБОР ИСХОДНЫХ ЦИФРОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ УЧАСТКА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОГО В ЦИФРОВОЙ ФОРМЕ С СУЩЕСТВЕННО ЛУЧШИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

С.В. Блажевич¹, В.Н. Винтаев², Е.С. Селютина¹, Н.Н. Ушакова²

¹ Белгородский государственный университет

² Белгородский университет потребительской кооперации

E-mail: blazh@bsu.edu.ru

На базе серии сдвинутых относительно друг друга изображений по осям X и Y на местности, можно решать задачу синтеза изображения с проекцией пиксела на Землю с существенно лучшим разрешением при условии, что сумма пикселов, используемых исходных изображений равна количеству пикселов нового, синтезированного, изображения с повышенной разрешающей способностью. При работе с реальными изображениями одного и того же участка местности и запуске на них процедуры синтеза изображения с улучшенным разрешением возникает ряд проблем, из которых наиболее

существенной является находение тех фрагментов изображений, которые, отображая один и тот же сюжет местности, соответствуют сдвигам на определенные доли пиксела относительно друг друга. Указанная проблема исследовалась в данной работе. При выборе изображений и поиске необходимых сдвигов на переборах пар изображений применялись различные методы, наиболее популярными из которых являются нахождения максимумов взаимно-корреляционной функции, метод вычисления координат центров «тяжести» изображений с оценкой их разности и метод оценок фазовых взаимных сдвигов в амплитудно-фазовых пространственных спектрах фурье-изображений. Так как при упоминаемых сдвигах изображений происходит не фиксируемый визуально сдвиг сюжета, а всего лишь перераспределение цвето-яркостной картины на транспарантах, то при выявлении перечисленными методами величина экстремума функционала, чувствительного к сдвигу, может рассматриваться как непрерывная функция сдвига. В работе исследован градиент этого функционала, а также значение его экстремума для всех указанных методов и определена острота их реакции на момент прохождения в вычислительных процедурах изображениями истинного значения взаимного сдвига.

Работа выполнена при поддержке внутренним грантом БелГУ, проект ВКГ 001-10.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ КЛАССИФИКАТОРОВ РАЗНОЙ СЛОЖНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.В. Козодёров¹, Е.В. Дмитриев², В.Д. Егоров², В.В. Борзяк¹

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова

² Институт вычислительной математики РАН, Москва

E-mail: vkozod@mes.msu.ru

В проблеме обработки и интерпретации данных гиперспектрального аэрокосмического зондирования исследуются различные вычислительные схемы распознавания образов наблюдаемых объектов. Строятся классификаторы разного уровня сложности, которые позволяют в автоматизированном режиме проводить разбиение исходных данных на отдельные подмножества. Высокое спектральное разрешение (сотни спектральных каналов в видимой и ближней инфракрасной области, разрешение в единицы нанометров) способствует повышению точности решения рассматриваемых прикладных задач. Существуют, однако, пределы точности, которые увязывают размерность признакового пространства с объёмом используемой выборки для изучаемых классов объектов. При высоком пространственном разрешении обрабатываемых данных возникает специфическая задача анализа спектральной смеси данных для разных типов объектов, освещённых и затенённых. Исследуются особенности применения метода опорных векторов для классификации объектов на гиперспектральных изображениях по сравнению с известным методом дискриминантного анализа (линейного и нелинейного). Метод опорных векторов, основываясь на максимизации зазора (margin) между исходно бинарными классами и минимизации суммы ошибок классификации, при последующем использовании нелинейных ядерных функций в разрабатываемых вычислительных процедурах способствует достижению оптимальной разделяющей гиперплоскости в признаковом пространстве исходных данных и увязывается с двухслойными нейронными сетями. Этот метод, объединяясь с моделями нейронных сетей, предназна-

чен для перспективной реализации с помощью параллельных компьютерных систем с большим числом процессоров и взаимных связей, а также с некоторыми принципами организации. Отличительные особенности таких подходов — адаптивность распознающей системы (возможность приспособления к новым связям), а также генерализация (возможность расширения результатов, полученных по обучающей выборке, на все элементы обрабатываемого гиперспектрального изображения).

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ИСЗ «МЕТЕОР-М» № 1

*Е.К. Крамчанинова*¹, *А.Б. Успенский*¹, *И.В. Чёрный*²

¹ ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

² НТЦ «Космосит» ОАО «Российские космические системы», Москва

E-mail: alexpr11@yandex.ru

Представлены материалы натуральных испытаний микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ, установленного на ИСЗ «Метеор-М» № 1 (запуск 17 сентября 2009 г.), в части оценки качества измерительной информации в каналах «влажностного» зондирования (в диапазоне 183,31 ГГц) и её пригодности для восстановления профилей $Q(p)$ отношения смеси водяного пара в тропосфере. Анализу подвергались измерения, прошедшие процедуру абсолютной калибровки и представленные в терминах яркостных температур T_y [K]. Качество данных МТВЗА-ГЯ оценивалось для областей над водной поверхностью (Атлантика) и суши (различные регионы Европы) путем сравнения измеренных и модельных T_y . Для моделирования измерений МТВЗА-ГЯ использованы радиационная модель, разработанная в СПбГУ, а также результаты объективного анализа полей температуры и влажности из базы данных Гидрометцентра России.

Сравнение измеренных и модельных яркостных температур в каналах «влажностного» зондирования показало наличие значительных систематических смещений и стандартных отклонений, что может быть объяснено неточностью абсолютной калибровки, высоким уровнем инструментального шума, а также неточным знанием излучательной способности подстилающей поверхности в пунктах зондирования.

Для восстановления профилей влажности $Q(p)$ применялся метод множественной линейной регрессии. Отработка метода и контроль результатов восстановления $Q(p)$ осуществлялись с использованием данных объективного анализа полей температуры и влажности. Результаты экспериментов по определению $Q(p)$ на основе модельных измерений МТВЗА-ГЯ близки к аналогичным зарубежным оценкам. В частности, установлена достаточно высокая информативность данных МТВЗА-ГЯ по отношению к характеристикам влагосодержания в тропосфере и возможность получения оценок $Q(p)$ в слое 1000–400 гПа со средней относительной погрешностью не хуже 20 % (при уровне инструментального шума 1,5 К). Результаты экспериментов по определению $Q(p)$ на основе реальных измерений МТВЗА-ГЯ показывают более низкую информативность данных и более высокую погрешность оценивания $Q(p)$ — до 30 % над водной поверхностью и до 46 % над сушей.

ЗАДАЧА АССИМИЛЯЦИИ «ОБРАЗА» ПОВЕРХНОСТНЫХ СКОРОСТЕЙ В ОДНОЙ МОДЕЛИ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

*А.Ю. Семененко*¹, *В.И. Агошков*², *С.В. Кострыкин*²

¹ Московский физико-технический институт (государственный университет)

² Институт вычислительной математики РАН, Москва
E-mail: stormerr@gmail.com

Доклад посвящен построению математической модели физических процессов в эксперименте, проведенном в Институте физики атмосферы РАН (ИФА РАН) им. А.М. Обухова для исследования вихревого течения, создаваемого магнитогидродинамическим способом в тонком слое вращающейся вязкой жидкости в кювете. Установка для проведения эксперимента представляет собой прямоугольную кювету, заполненную проводящей жидкостью. Через жидкость пропускается электрический ток. Вихревое течение в кювете создается системой постоянных магнитов. Для измерения скорости течения проводилась регистрация с помощью видеокамеры смещений частиц плавучей примеси и последующая обработка видеоклипов. В результате были получены поля скоростей при различных значениях пропускаемого тока. Помимо построения математической модели в докладе будет представлен размерностный анализ модели, а также обсужден вопрос применения такого типа моделей к крупномасштабным процессам в морях и океанах. Для проверки адекватности модели физического процесса в эксперименте формулируется обратная задача о восстановлении вектора электрического поля. Алгоритм решения обратной задачи основан на её приближенном сведении к задаче вариационной ассимиляции образа «векторных полей в кювете». Приводятся результаты численного решения задачи в стационарном случае и представлен анализ результатов расчётов.

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ РСА ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*В.Г. Коберниченко*¹, *А.В. Сосновский*², *Д.Б. Никольский*³

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург

² «Уралгеоинформ», Екатеринбург

³ «Совзонд», Москва

E-mail: kobern@rtf.ustu.ru

Основные тенденции развития современных космических радиолокационных систем, наряду с повышением пространственного разрешения и увеличением числа режимов съёмки — возможность интерферометрической и полной поляризационной обработки. Появление радиолокационных данных высокого (810 м) и сверхвысокого (1–3 м) пространственного разрешения с возможностью интерферометрической обработки, таких как ALOS PALSAR, RADARSAT-2, TerraSAR-X, CosmoSkyMed-1–4, позволяет дешифровать относительно малоразмерные объекты инфраструктуры и строить детальные цифровые модели рельефа (ЦМР).

Интерферометрическая обработка данных космических РСА включает следующие этапы: синтез пары комплексных радиолокационных изображений (РЛИ), пространственное совмещение РЛИ одной и той же области поверхности; формирование интерферограммы путем поэлементного комплексного перемножения двух данных РЛИ; компенсация фазового набег-

га; фильтрация интерферограммы; устранение фазовой неоднозначности («развертывание фазы»); построение цифровой модели рельефа — пересчёт разности фаз в высоты рельефа и геокодирование (переход от полетной системы координат к какой-либо картографической проекции).

Перечисленные этапы реализованы в специализированных программных комплексах обработки данных дистанционного зондирования Земли, таких как SARscape, IMAGINE Radar Mapping, Photomod Radar, Radar Tools, так что можно говорить о технологии интерферометрической обработки данных космической радиолокационной съёмки. Вместе с тем, в силу сложности и слабой формализуемости решаемых задач на каждом этапе используются многочисленные эмпирические алгоритмы и методы. Особенно это касается двух основных этапов — фильтрации фазового шума и, особенно, развертывания фазы. Качество ЦМР существенно зависит от подбора алгоритмов обработки и настройки их параметров. Работа посвящена анализу и сравнению алгоритмов фильтрации интерферограмм и развертывания фазы, а также экспериментальной оценке точностных характеристик получаемых с их использованием ЦМР.

Критериями оценки качества построения ЦМР являются: точности абсолютного положения контрольных точек в плане и по высоте (среднее абсолютное отклонение); максимальные погрешности контрольных точек в плане и по высоте; среднеквадратические погрешности представления высот контрольных точек. Одним из способов для оценки точности созданной ЦМР является определение погрешностей между сечениями в произвольном направлении полученного и эталонного рельефа.

Экспериментальное исследование алгоритмов интерферометрической обработки проводилось на основе съёмки тестового участка, содержащего как естественные изменения рельефа, так и антропогенные его нарушения (карьеры, отвалы), а также участки растительности разного типа (хвойные и лиственные леса, болота, сельскохозяйственные угодья), объекты с различной отражательной способностью радиоволн (водная поверхность, опоры ЛЭП, железные и автомобильные дороги, городская застройка).

Эталонная ЦМР тестового участка получена по данным планово-высотной основы цифровой топографической карты. На основании значений отметок высот методом интерполяции (триангуляции Делоне и сглаживания) построена эталонная цифровая модель рельефа с шагом дискретизации 10 м и вертикальной точностью 1,7 м. Кроме этого с использованием пары геодезических GPS-приёмников Leica были получены координаты и высоты 10 контрольных точек — целей, хорошо распознаваемых на РЛИ.

На основе экспериментальной обработки фрагментов РЛИ тестовых участков, полученных PCA ALOS PALSAR и CosmoSkyMed, показано, что наилучшие результаты по точности и быстрдействию даёт комбинация из алгоритма фильтрации Гольдштейна и алгоритма развертывания «растущие пиксели».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАЖЕНИЙ ОТ СОВОКУПНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В АНАЛИЗЕ ДАННЫХ ДВУХЧАСТОТНЫХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ РСА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

С.А. Величко

Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАНУ, Харьков, Украина

E-mail: svelichko@ire.kharkov.ua

Распознавание типов подстилающей поверхности и обнаружение объектов искусственного происхождения является одной из приоритетных задач радиолокационного аэрокосмического мониторинга.

В настоящее время существует множество алгоритмов сегментации радиолокационных изображений (РЛИ) поверхности, их классификации, распознавания типов и пр., причем наибольшие возможности для решения этих задач предоставляют многочастотные поляризационные радиолокаторы с синтезированием апертуры (РСА). В данной работе предпочтение отдается методам классификации поверхности, основанным на использовании только физических моделей рассеяния (“knowledge-based”), которые позволяют как выделять основные типы подстилающей поверхности и объектов искусственного происхождения без использования априорных данных и обучающих схем, так и проводить дополнительные исследования моделей рассеяния электромагнитных волн — создавать алгоритмы классификации поверхности на первом этапе распознавания.

В работе использовались данные поляризационного РСА С- и L-диапазонов частот радиоволн, включая использование всех составляющие матриц рассеяния Стокса $S(VV, HH, HV, VH)$ и их производные — углы деполяризации ξ и пространственную дисперсию ЭПР по локальным участкам. В результате были распознаны такие типы объектов и поверхностей как искусственные сооружения, лес, кустарники и травяной покров, открытая почва, открытая вода. Натурная проверка показала, что точность классификации составила не менее 90 %.

Второй этап работы заключался в исследовании возможности дополнительной калибровки как одного РЛИ С- и/или L-диапазона, так и взаимной калибровки РЛИ, полученных со сдвигом во времени, с целью улучшения результатов распознавания. Для радиометрической коррекции РЛ-данных был выбран метод сопоставления распределений ЭПР по совокупности искусственных сооружений:

- 1) на перекрестных поляризациях для двух частот $P(\sigma(HV, VH))$;
- 2) на согласованных поляризациях $P(\sigma(VV, HH))$;
- 3) для углов деполяризации $P(\xi)$.

После соответствующей коррекции амплитуд принятых сигналов повторная обработка показала улучшение совпадения масок РЛИ как для объектов искусственного происхождения, так и для классификации растительных покровов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОВОЛН СВЧ-ДИАПАЗОНА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

А.А. Спиридонов, В.А. Саечников

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
E-mail: sansan@tut.by

Условия распространения электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона существенно зависят от состояния атмосферы на пути их распространения. В зависимости от вертикального распределения температуры, влажности, давления и водности, турбулентности атмосферы формируются различные типы атмосферной рефракции, ослабления электромагнитных волн и флуктуации параметров электромагнитной волны, которые существенным образом определяют характеристики обнаружения различных объектов. В связи с этим большое значение приобретают моделирование прохождения СВЧ-сигналов через атмосферу, исследование фазовой структуры сигнала и его затухание в различных сезонных и погодных условиях, взаимодействия волн с турбулентными неоднородностями воздуха, оценка влияния на характеристики принимаемых сигналов вертикальной стратификации атмосферы и отражений от подстилающей поверхности.

Было проведено моделирование поведения пространственной корреляционной функции флуктуаций интенсивности СВЧ-сигнала, распространяющегося в случайно-неоднородной атмосфере. Свойства среды задавались корреляционной функцией флуктуаций комплексного потенциала диэлектрической проницаемости. Использовались параболическое приближение волнового уравнения для пространственной функции когерентности четвертого порядка и спектральный метод численного решения этого уравнения. Метод основывается на расщеплении уравнения функции когерентности на два уравнения, одно из которых описывает дифракцию СВЧ-сигнала при распространении в среде без рассеяния, другое — рассеяние на случайных неоднородностях среды. Представлен численный расчёт изменения относительной дисперсии флуктуаций интенсивности СВЧ-сигнала в поперечной плоскости и по трассе распространения для различных значений параметра, характеризующего свойства случайно-неоднородной среды. Результаты могут быть использованы для реконструкции корреляционной функции флуктуаций комплексного потенциала диэлектрической проницаемости при решении обратных задач рассеяния.

ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ ТРОПИКОВ В ЛИНИИ 183,3 ГГц

А.Г. Семин¹, А.В. Кузьмин², Ю.Б. Хатин², Е.А. Шарков²

¹ Пензенский государственный педагогический университет

² Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: semin@sura.ru

Исследование радиоярких характеристик атмосферного водяного пара из космоса средствами микроволновой радиометрии дает возможность изучения физических условий генезиса и эволюции тропических циклонов.

В докладе исследуются интегральное поглощение в атмосфере, радиояркая температура атмосферы и температура системы атмосфера — поверхность, а также весовые функции излучения водяного пара в диапазоне

частот 160–210 ГГц. При анализе брались стандартные метеоданные тропической атмосферы. Расчёт поглощения в атмосфере и радиояркостной температуры атмосферы проводился численным интегрированием с шагом 100 м до высоты 25 км для наблюдения под углом 45° , давление у поверхности — 1013 мбар, температура — 300 К, влажность — 19 г/м^3 , интегральное содержание водяного пара — $4,14 \text{ г/см}^2$. Расчёты выполнялись для случая безоблачной атмосферы.

Результаты расчётов показывают, что максимум интегрального поглощения в атмосфере приходится на частоту 183,6 ГГц и составляет 65,7 Нп, максимум радиояркостной температуры восходящего излучения атмосферы — на частоте 175,5 ГГц составляет 276 К, минимум температуры на частоте 183,6 ГГц — 237 К. При расчёте радиояркостной температуры системы атмосфера–поверхность определялся вклад нисходящего отраженного излучения атмосферы и вклад излучения поверхности в общую температуру системы. На частоте 170 ГГц вклад этих составляющих 1,8 и 0,2 % соответственно, на частоте 175,5 ГГц — менее 0,01 и 0,06 %, на частоте 183,6 ГГц вклад практически отсутствует. Максимумы весовых функций излучения атмосферного водяного пара для частот: 170 ГГц — 2,2 км; 178 ГГц — 3,4–4,8 км; для частот 182,6–183,6 ГГц максимумы весовых функций приходятся на близкие высоты 7,9–8,8 км.

В докладе также будут представлены результаты расчётов весовых функций для линий 183,325 ГГц во всей области внутритропической зоны конвергенции со значениями содержания водяного пара $4\text{--}7 \text{ г/см}^2$.

Для надежного восстановления детальных профилей атмосферного водяного пара по линиям 183 ГГц в условиях облачной атмосферы и взволнованной морской поверхности, необходимо использование низкочастотной линии резонанса водяного пара 22,23 ГГц и измерений в окнах прозрачности на 19, 37, 90 ГГц. Это позволит получить информацию о характеристиках морской поверхности и облачности.

Таким образом, восстановление профиля влажности на 8–10 уровнях потребует разработки как методов решения таких задач, так и сканирующего многоканального радиометра, причём 8–10 каналов — в линии 183 ГГц и её окрестностях, один канал 22,23 ГГц, двухполяризационных радиометров на частотах 19, 37, 90 ГГц для учёта влияния взволнованной морской поверхности и вычисления водозапаса облаков и интенсивности осадков. Чувствительность на элемент разрешения может быть ориентировочно $0,1\text{--}0,5 \text{ К}$ по мере увеличения частоты.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЛАКОВ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В.Г. Астафуров^{1,2}, *А.В. Скороходов*¹

¹ Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

² Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Результаты дистанционного зондирования Земли из космоса используются для решения широкого круга задач, связанных с метеорологией, изучением климата, переносом загрязнений, сельским и лесным хозяйствами и т. д. При этом нужно не только выделять облачность на спутниковых снимках, но и заниматься её классификацией, согласно принятым в метеорологии стандартам. Для этого используются методы, основанные на расчётах физических параметров облачности, таких как альbedo, температура верхней

границы, индекс облачности NDSI и др. Различные типы облаков отличаются по своей текстуре, под которой понимается особенность структуры её изображения на спутниковых снимках. Поэтому текстуру можно использовать как один из информативных признаков для классификации облаков. Сказанное выше в равной степени относится и к подстилающей поверхности.

При использовании текстурных признаков возникает проблема их информативности, связанная с тем, что некоторые из них незначительно отличаются у различных типов облаков и подстилающей поверхности. Для её решения нами предложена методика, основанная на анализе степени однородности признаков и коэффициентов взаимной корреляции их различных пар на заданном фрагменте изображения.

В докладе приводятся наборы эффективных текстурных признаков для различных типов облаков и подстилающей поверхности, которые использовались для проведения сегментации изображений спектрорадиометра MODIS с помощью самоорганизующейся нейронной сети на основе алгоритма CWTA (победитель получает всё с механизмом утомления). Показано, что применение таких наборов существенно повышает качество сегментации облачности и подстилающей поверхности.

Для классификации облаков в докладе предлагается использовать алгоритм на основе многослойной нейронной сети с учителем, а также обсуждается проблема выбора топологии нейронной сети и её влияния на качество классификации. Для обучения сети используется модифицированный алгоритм обратного распространения ошибки. Представлены результаты выделения кучевых облаков на спутниковых снимках, полученных по данным спектрорадиометра MODIS. Рассматривается проблема формирования наборов эталонных текстур для различных типов облаков.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БОРТОВОГО ПРОЦЕССОРА ДЛЯ СУБПИКСЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЦИФРОВОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

С.В. Блажевич¹, В.Н. Винтаев², А.Л. Греков¹, А.В. Секирин¹, Н.Н. Ушакова²

¹ Белгородский государственный университет

² Белгородский университет потребительской кооперации

E-mail: blazh@bsu.edu.ru

При разработке программно-аппаратного бортового комплекса, решающего задачу синтеза одного изображения (улучшенного по четкости и разрешению) из нескольких изображений (сдвинутых относительно друг друга в соответствии с требованиями субпиксельной технологии) одного и того же участка местности, основной процедурой является решение системы линейных уравнений, связывающей распределение яркости по пикселям в комплексе исходных изображений с искомым распределением по пикселям уменьшенной апертуры в синтезируемом изображении. В данной работе исследуются различные методы решения указанной системы (обращения матриц, Зейделя, Гаусса), показывается, что метод Зейделя имеет преимущества в связи с тем, что строится на вычислениях кросс-сверток строк и столбцов, т. е. позволяет активно применять процедуры быстрого преобразования Фурье и добиваться высокой степени снижения вычислительной сложности алгоритма. Наиболее употребительные при обработке изображений алгоритмы класса фурье-преобразований, свёрток, линейных фильтра-

ций, реализуемые в классической технологии в алгебре с операциями «сложить» и «умножить», более эффективно осуществляются на основе табличных операций, таких, например, как двухточечное преобразование Фурье, Адамара, Уолша, табличная двухточечная или четырехточечная свёртка и т. д. При этом оказывается, что вычислительное устройство, реализующее вычислительные процессы в основе «классической» арифметики, работает на порядки эффективнее, если в этой арифметической системе заменить двухместную операцию умножения на перечисленные выше билинейные, т. е. удовлетворяющие условиям дистрибутивности и другим условиям, табличные операции. Использование системы остаточных классов для преобразования не только операции умножения, но и процедуры свёртки, позволяет сводить вычислительные сложности алгоритмов уровня n^4 до уровня $\text{const } n^2$ для двумерных задач (в подавляющем большинстве задачи поточной обработки изображений). В рамках рассматриваемого подхода структура моделируемого процессора представляется в виде конвейерно-параллельной схемы с каскадным и тактируемым коммутатором блоков процессора друг с другом (для реализации перепрограммирования его конфигурации).

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ БЕЗОБЛАЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ LANDSAT

Е.И. Белова, Д.В. Ершов

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва
E-mail: belova@ifi.rssi.ru

Для решения хозяйственных, экологических и научно-исследовательских задач на региональном и локальном уровнях необходимы актуализированные карты лесов соответствующих масштабов. Наиболее удобным и экономически целесообразным является использование изображений высокого пространственного разрешения тематического картографа LANDSAT-5 и LANDSAT-7 благодаря наличию многолетнего архива данных этого прибора. Однако доступные наборы данных содержат сбойные измерения датчиков прибора, зависят от геометрических условий и сезона съёмки, а также состояния атмосферы в момент сканирования наблюдаемой территории. Это требует разработки автоматизированных методов и алгоритмов устранения для формирования качественных композитных изображений.

Исследованы спектрально-отражательные яркости вышперечисленных факторов, определены наиболее информативные каналы и разработан алгоритм адаптивной пороговой фильтрации. Апробирован подход атмосферной коррекции методом поиска минимальной яркости соответствующей «чёрному телу» на изображении с целью устранения остаточной дымки. Изучена возможность коррекции влияния взаимного положения спутника и Солнца на спектрально-отражательную яркость (BRDF-эффект).

В рамках исследований была создана и апробирована методика создания безоблачных композитных изображений по данным LANDSAT-5 и LANDSAT-7.

Методика включает в себя несколько этапов анализа и обработки изображений:

- 1) устранение влияния облачности и её теней, сбойных измерений приборов и других артефактов на спутниковых изображениях;
- 2) атмосферная коррекция изображений, пересчёт значений пикселей в физические яркости;
- 3) создание композита из предварительно обработанных изображений.

Полноценное композитное изображение после вышеуказанных этапов обработки может использоваться для классификации растительности и изучения её динамики.

МЕТОДИКА ШИРОТНО-ВРЕМЕННОЙ ДИАГРАММЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ РАДИОТЕПЛОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Г.Р. Хайруллина, Н.М. Астафьева, М.Д. Раев
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: x.g.r.@list.ru; ast@iki.rssi.ru

Данные наблюдения за процессами в атмосфере в виде полей, предоставляемые спутниковым мониторингом Земли, позволяют наблюдать и изучать особенности атмосферных движений (от синоптических масштабов до планетарных). Они являются важным элементом общей циркуляции атмосферы, вносят большой вклад в полярный перенос массы (влаги особенно) и тепла в атмосфере и тем самым участвуют в формировании погоды и климата планеты. Методика широтно-временных диаграмм используется для анализа глобальных радиотепловых полей Земли из электронной коллекции GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp>) на частотах, содержащих информацию о распределении влаго- и водозапаса тропосферы за 1999–2007 гг. В диаграммах последовательно ото дня ко дню собирается информация (в выбранной области Мирового океана) об интегральном по долготе распределении яркостной температуры на разных широтах. Широтно-временные диаграммы демонстрируют распределение влагозапаса атмосферы в плоскости время – широта. С помощью предлагаемой методики изучены региональные, а также межгодовые и сезонные особенности широтного распределения радиояркостной температуры. Совместный анализ диаграмм переноса и динамики атмосферы по ежесуточным радиотепловым полям показал, что распределение яркостной температуры, измеряемой в резонансной линии водяного пара (и энергетику атмосферы) во многом определяют горизонтальные атмосферные движения — вихри и фронты. Выявлены межгодовые колебания расположения внутритропической зоны конвергенции и границы снежного (ледяного) покрова в высоких широтах Северного полушария, а также квазидвухлетние колебания радиотеплового поля в тропической зоне. Обнаруженное перемещение на север экваториального максимума среднегодовой радиояркостной температуры согласуется с климатическими тенденциями последнего времени, свидетельствующими о потеплении в Северном полушарии и в Арктике, в частности, и небольшом похолодании в Южном полушарии и в Антарктиде, в частности. Методика широтно-временной диаграммы может с успехом применяться для анализа серий двумерных множеств любой физической природы, полученных в результате вычислений, лабораторного эксперимента или натуральных наблюдений.

МЕТОДИКИ СЪЁМОК И ОБРАБОТКИ СПЕКТРОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ФОТОСПЕКТРАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ

*Ю.А. Крот*¹, *Б.И. Беляев*¹, *Л.В. Катковский*¹, *А.В. Роговец*¹, *В.А. Сосенко*¹,
*М.Ю. Беляев*², *В.В. Рязанцев*², *В.Б. Мальшев*³

¹ НИИ ПФП им. А.Н. Севченко Белгосуниверситета, Минск, Республика Беларусь

² ОАО «РКК «Энергия», Москва

³ Институт географии РАН, Москва

E-mail: info@remsens.by; remsens@niks.by

В Научно-исследовательском институте прикладных физических проблем Белорусского государственного университета по заказу Института географии Российской академии наук и РКК «Энергия» им. С.П. Королева разработана и изготовлена научная аппаратура — фотоспектральная система (ФСС), предназначенная для измерений спектров отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн от 350 до 1050 нм и фотоизображений высокого пространственного разрешения в видимом диапазоне длин волн на Российском сегменте Международной космической станции (МКС) в космическом эксперименте «Ураган» (экспериментальная отработка наземно-космической системы мониторинга и прогноза развития природных и техногенных катастроф).

В интересах изучения экологических проблем планируются эксперименты по мониторингу наземных ландшафтов, находящихся под воздействием интенсивных техногенных факторов, такие как определение загрязнений снежного покрова вокруг промышленных центров, оперативный контроль аэрозольных загрязнений атмосферы, загрязнений водных бассейнов. Разработаны методики ряда экспериментов по оперативному контролю и мониторингу возникающих и продолжающихся природных явлений (катастроф) для определения их координат, масштабов, динамики развития и соответствующих параметров.

Описывается методика интерполяции пространственно-спектральных данных, в результате применения которой информация, содержащаяся в RGB-изображениях и спектрах высокого разрешения в 4–6 областях (точках) на одном изображении, становится близкой по своей информативности данным, получаемым видеоспектрометром с несколькими десятками спектральных каналов.

Научная аппаратура ФСС предполагает два режима съёмки: «одиночный кадр» и «трассовая съёмка». В режиме «одиночный кадр» снимаются одно изображение и три связанных с ним спектра с разных частей (площадок) кадра при условии, что ось ФСС неподвижна относительно движущейся по орбите МКС. В режиме «трассовая съёмка» снимаются заданная последовательность изображений и три спектра на каждом изображении с определенным временным интервалом. С учётом движения МКС перекрытие соседних кадров составляет 10–30 %. Благодаря датчикам углов поворота, расположенным на специальном установочном кронштейне ФСС, фиксируются данные о повороте прибора. Во время последовательной съёмки изображений и спектров отражения также фиксируются времена регистрации каждого изображения и спектра. С помощью информации о времени съёмки и углах ориентации прибора во время регистрации данных осуществляется привязка спектрометрируемых участков к изображениям. Для обеспечения большей точности измерений предусмотрены эксперименты, направленные на контроль энергетических калибровок оптической аппаратуры ФСС, измерения спектральной яркости Луны, измерения ко-

эффициентов спектрального пропускания иллюминатора и их изменения во времени в ходе полета, контроль юстировки модулей, в частности, уточнение взаимной ориентации угловых полей зрения модуля спектрометра (МС) и модуля регистрации изображений (МРИ).

Также предусмотрен эксперимент «калибровка по контрастным объектам», направленный на тестирование и уточнение взаимной ориентации полей зрения МС и МРИ и контроль энергетических калибровок МС и МРИ. Запланирована периодическая съёмка подспутниковых полигонов, в том числе и на территории Беларуси. По полигону в Беларуси проведены квазисинхронные многоуровневые (наземный, авиационный, космический) эксперименты с использованием ФСС.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СПЕКТРАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КАЛИБРОВОК ОПТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

А.В. Роговец, Ю.В. Беляев, Л.В. Катковский, А.А. Казак, Т.М. Курикина, И.М. Цикман

НИИ ПФП им. А.Н. Севченко Белгосуниверситета, Минск, Республика Беларусь

E-mail: info@remsens.by, remsens@niks.by

Рассматриваются методические вопросы калибровок спектрорадиометров и изображающих систем с матричными приёмниками излучения на метрологическом комплексе «Камелия-М». Подробно рассмотрена процедура калибровочных измерений, обработки результатов и расчётов расширенной неопределяемой плотности спектральной яркости энергетической яркости (СПЭЯ) калибруемым прибором. Основными операциями при калибровке являются: определение рабочего спектрального диапазона, пороговых значений СПЭЯ и динамического диапазона, спектральной чувствительности по абсолютным значениям СПЭЯ.

Рассмотрена процедура калибровки фотоспектральной системы (ФСС), опытная эксплуатация которой начата на борту МКС, в частности, спектрального модуля (МС) и модуля регистрации изображений (МРИ), построенного на базе серийного фотоаппарата Nikon D3. Получены угловые и спектральные зависимости аппаратных функций обоих модулей ФСС.

Исследование зависимости длины волны от номера канала МС (спектрорадиометр с вогнутой дифракционной решеткой) показало, что на концах фотоприёмника (ПЗС-линейки) отклонение от линейной зависимости может составлять около 4 нм, поэтому по полученным точкам строился кубический сплайн, позволяющий определять длину волны для любого номера канала фотоприёмника с высокой точностью.

При определении абсолютной спектральной чувствительности МС по СПЭЯ измеряются спектры эталонного источника диффузного излучения (фотометрической сферы) при различных уровнях её яркости и для разных времен экспозиции спектрорадиометра. Анализ кривых чувствительности показал, что чувствительность в середине динамического диапазона яркостей линейна, в то время как на границах диапазона чувствительность не подчиняется линейному закону. Аппроксимирующая функция кривой чувствительности подбирается таким образом, чтобы она наилучшим образом представляла линейную часть кривой.

Проведено определение аддитивного некоррелированного шума МРИ с применением анализа автокорреляционных функций и статистических

характеристик калибровочных изображений. Данную технологию оценки можно использовать при относительно высоком уровне шумов.

Рассчитанная расширенная неопределенность абсолютных значений СПЭЯ составляет 4–7 % в зависимости от спектрального интервала.

НЕДВОИЧНОЕ МНОГОПороГОВОЕ ДЕКОДИРОВАНИЕ ДЛЯ СИСТЕМ ДЗЗ

*П.В. Овечкин*¹, *В.В. Золотарёв*², *Г.В. Овечкин*¹

¹ Рязанский государственный радиотехнический университет

² Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: g_ovechkin@mail.ru

Для повышения достоверности передачи и хранения сигналов ДЗЗ можно применять помехоустойчивое кодирование. При этом часто оказывается удобным работать с данными на уровне целых символов, например байтов. В таких случаях для защиты данных от ошибок целесообразно применение недвоичных помехоустойчивых кодов.

К настоящему времени среди недвоичных кодов практическое применение нашли только коды Рида–Соломона (РС), для которых существуют достаточно эффективные декодеры, в полной мере использующие корректирующие возможности кода. Однако короткие коды РС часто не могут обеспечить требуемой в настоящее время степени защиты данных от ошибок, а для длинных кодов РС практически невозможно создать эффективные декодеры. Лучшей эффективностью обладают недвоичные многопороговые декодеры (qМПД), обладающие линейной сложностью реализации и позволяющие практически оптимально декодировать гораздо более длинные коды. В результате qМПД обеспечивают на много порядков больший уровень защиты информации от ошибок, чем декодеры кодов РС, при одновременном существенном упрощении процесса коррекции ошибок.

В докладе проводится анализ эффективности qМПД в q-ичном симметричном канале (qСК) и сравнение его эффективности с эффективностью декодеров других недвоичных кодов. Результаты данного анализа показали, что эффективность qМПД оказывается гораздо выше эффективности кодов РС для символов такого же размера, а при увеличении размера символа разница в эффективности становится ещё более существенной. При этом qМПД для многобайтовых символов практически ни в чем не сложнее однобайтового, так как даже обычные микропроцессоры одинаково просто и быстро работают с многобайтовыми символами.

Таким образом, недвоичный аналог алгоритма МПД может обеспечить при весьма высоких уровнях шума вероятности ошибки декодирования, в ряде случаев недоступные для кодов Рида–Соломона сколько угодно большой длины. При этом сложность реализации такого алгоритма оказывается всего лишь линейно растущей с длиной кода. В результате применение qМПД в системах ДЗЗ позволит существенно повысить емкость используемых каналов, обеспечивая качественную передачу информации со спутников ДЗЗ.

Отметим, что огромный объём разнообразного научного и обучающего материала по двоичным и недвоичным многопороговым декодерам и другим методам коррекции ошибок, представлен на специализированном веб-сайте www.mtdbest.ru.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08-07-00078), ИКИ РАН, РГРТУ.

ПОСТРОЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ДОСТУПА К АРХИВАМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*И.В. Балашов¹, В.Ю. Ефремов¹, Ю.С. Крашенинникова¹, А.А. Мазуров¹,
А.М. Матвеев¹, А.А. Прошин¹, К.О. Сергеева²*

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Институт программных исследований РАН, Москва

Доклад посвящен вопросам построения высокоэффективных систем доступа к спутниковым изображениям, базирующихся на динамическом формировании требуемых информационных продуктов. Такой подход, в частности, позволяет предоставить пользователю доступ к спутниковым изображениям в заданных географической проекции и масштабе. Кроме этого появляется возможность получения «на лету» самых различных тематических продуктов на основе имеющихся в архивах исходных данных.

Для эффективной реализации такого подхода требуется радикальное наращивание как вычислительных мощностей, так и скорости доступа к данным в архиве. Одним из перспективных путей решения этой проблемы, безусловно, является использование современных суперкомпьютерных технологий. Начиная с 2007 г., в ИКИ РАН совместно ИПС РАН ведутся работы по созданию технологии построения высокопроизводительных систем доступа к спутниковым данным на базе использования кластера СКИФ-ГРИД.

В настоящем докладе рассматривается текущее состояние работ по данному направлению и приводится пример действующего интерфейса для доступа к спутниковым данным в заданной географической проекции.

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УТОЧНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПЛОЩАДЯХ ЛЕСНЫХ ГАРЕЙ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*С.С. Барталёв, А.А. Галеев, В.Ю. Ефремов, А.А. Златопольский, А.А. Мазуров,
Е.В. Флитман*

Институт космических исследований РАН, Москва

Рассмотрена технология определения контуров гарей от природных пожаров по спутниковым данным SPOT и LANDSAT. Данная технология реализована в отраслевой системе мониторинга лесов ИСДМ-Рослесхоз. В оперативном мониторинге лесов для обнаружения и контроля пожаров используются данные среднего разрешения со спутников NOAA, Aqua, Terra. Для уточнения последствий лесных пожаров, определения более точного контура и площади выгоревшей территории реализованы механизмы как ручного, так и полуавтоматического оконтуривания гарей по поступающим в систему данным SPOT и LANDSAT.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ СВЧ-РАДИОМЕТРА МТВЗА-ГЯ КА «МЕТЕОР-М» № 1

*А.М. Стрельцов*¹, *О.В. Никитин*¹, *И.В. Чёрный*¹, *А.А. Мазуров*²,
*А.М. Матвеев*²

¹ НТЦ «Космонит» ОАО «Российские космические системы», Москва

² Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: upos@inbox.ru

Многофункциональный прибор МТВЗА-ГЯ — модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы — предназначен для глобального мониторинга Земли в интересах решения метеорологических задач. Прибор установлен на КА «Метеор-М» № 1 (запуск состоялся 17 сентября 2009 г.) и относится к классу спутниковых микроволновых радиометров нового поколения, совмещающих функции сканера/зондировщика. СВЧ-радиометр МТВЗА-ГЯ обеспечивает зондирование системы атмосфера — подстилающая поверхность как в окнах прозрачности атмосферы, так и в линиях поглощения кислорода и водяного пара, что позволяет проводить температурно-влажностное профилирование атмосферы и определять интегральные параметры атмосферы и поверхности. Представлены основные технические и информационные характеристики прибора.

В работе разобраны все этапы предварительной обработки данных СВЧ-радиометра включающие распаковку, географическую и временную привязку, радиометрическую калибровку, формирование файлов информационных продуктов.

В процессе распаковки из битового потока сеанса приёма с КА «Метеор-М» № 1 по радиочастотам 1,7 и 8,2 ГГц, происходит выделение кадров аппаратуры МТВЗА-ГЯ с контролем целостности и достоверности принятых данных.

На этапе географической привязки данных радиометрических измерений вычисляются координаты (широта и долгота) для каждого пикселя рабочего сектора. Алгоритм вычислений использует предиктивную модель орбиты для определения координат подспутниковой точки и геометрию сканирования. В докладе разобраны причины ошибок и представлены примеры корректировки географической привязки.

Для интерпретации данных радиометрических измерений требуется калибровка радиометрической системы, т. е. установление взаимно-однозначного соответствия между её выходными показателями и яркостной температурой исследуемого элемента пространства. Калибровка радиометрической системы принципиально может выполняться поэлементно: отдельно для радиометрического приёмника и антенной системы. В докладе разобраны погрешности калибровки и дана оценка погрешности калибровки шкалы антенных температур.

Результаты предварительной обработки данных сохраняются в формате HDF. В докладе представлены внутренняя структура и типы выходных файлов, а также демонстрируются примеры информационных продуктов, полученных с помощью СВЧ-радиометра МТВЗА-ГЯ КА «Метеор-М» № 1.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СНИМКОВ СПУТНИКА LANDSAT-5(7)

И.С. Камардин, А.М. Матвеев

Институт космических исследований РАН, Москва

Данные, поступающие со спутника LANDSAT-5(7), представлены как набор файлов в формате GeoTIFF (отдельный файл для каждого канала), что позволяет связать растровое изображение и геодезические данные местности (метаинформацию) в одном файле. Данные каждого канала LANDSAT в формате GeoTIFF представляют собой монохромное изображение, 8-битный массив натуральных чисел.

Широко распространён алгоритм получения псевдоцветного изображения, когда в качестве стандартных диапазонов RGB используются 5-, 4- и 3-й соответственно каналы LANDSAT с разрешением 30 м.

Предлагаемый метод слияния оттенков (intensity-hue-saturation — IHS — method of image fusion) использует четыре канала мультиспектральных данных (red, green, blue, NIR), а также панхроматическое изображение (с разрешением 15 м), что позволяет добиться более высокого разрешения получаемого псевдоцветного изображения сцены.

ПРИМЕНЕНИЕ АНСАМБЛЕЙ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

И.А. Пестунов, Е.А. Куликова, Ю.Н. Синявский, В.В. Смирнов
Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск
E-mail: pestunov@ict.nsc.ru

В настоящее время при решении прикладных задач в области экологии и рационального природопользования часто возникает необходимость кластеризации многоспектральных спутниковых изображений. При этом какие-либо априорные сведения о структуре данных, как правило, отсутствуют. В этих условиях наиболее адекватным является применение непараметрических алгоритмов кластеризации. Однако результаты их выполнения при разных значениях входных параметров могут сильно различаться. Это значительно усложняет процесс настройки алгоритмов для решения конкретной задачи.

Устойчивость решений в задачах кластеризации может быть повышена за счёт формирования ансамблей решающих правил следующим образом. Для совместного анализа результатов выполнения алгоритма с различными значениями параметров выполняется попарная кластеризация объектов (для каждой пары объектов определяется, принадлежит ли они одному и тому же кластеру или нет). После этого строится согласованная матрица различий, на основе которой осуществляется итоговая группировка с помощью стандартного агломеративного метода построения дендрограммы. Применение ансамблей позволяет улучшить качество выделяемых кластеров, не увеличивая раздробленность итоговой картосхемы.

Описанная методика применялась для построения ансамблей на основе разработанного авторами непараметрического сеточного алгоритма ССА, который использует гистограммную оценку плотности распределения. Формирование ансамбля на последовательности фиксированных сеток с разным шагом позволило существенно повысить качество выделения гра-

ниц кластеров без увеличения раздробленности результирующей картосхемы, а также выделить многомодовые кластеры сложных форм.

Другой вариант ансамбля строился на основе разработанного авторами алгоритма MeanSC, опирающегося на непараметрические оценки плотности Розенблатта—Парзена. Этот алгоритм позволяет получать картосхемы более высокой детализации, чем ССА, но является более трудоемким. Построение ансамбля на последовательности решающих правил с различными значениями параметра сглаживания позволило существенно снизить раздробленность результирующей картосхемы.

В дополнение к этому использование ансамблей значительно упростило настройку параметров алгоритмов. Указанные ансамблевые алгоритмы применялись для обработки многоспектральных изображений, полученных со спутников LANDSAT и ALOS с целью выделения типов лесной растительности. В докладе приводятся результаты сравнения построенных картосхем с картосхемами, полученными в ходе визуально-инструментального дешифрирования.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 09-07-12087-офи_м) и Сибирского отделения РАН (междисциплинарный интегративный проект № 50).

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТУРЫ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Е.П. Минаков

ГНЦ РФ ЦНИИ робототехники и технической кибернетики,

Санкт-Петербург

E-mail: minakov@rtc.ru

Данные, получаемые путем применения аппаратуры спутниковой навигации (АСН) космической навигационной системы (КНС) ГЛОНАСС, расположенной на борту космического аппарата (КА), позволяют решать задачу прогнозирования значений оскулирующих элементов орбиты: большой полуоси, относительного эксцентриситета, наклона, прямого восхождения восходящего узла, аргумента широты перигея и времени прохождения перигея на заданный момент времени $t_{M(i+1)} \leq t \leq t_{M(i+1)} + \Delta t_M$. Сущность метода в рамках сделанных допущений состоит в том, что прогнозная оскулирующая орбита КА на интервале времени $[t_{M(i+1)}, t_{M(i+1)} + \Delta t_M]$ определяется как невозмущенная кеплеровская орбита путем решения задачи Эйлера—Ламберта с поправками на уход её параметров за счёт влияния возмущающих факторов, принимаемых равными рассчитываемым для интервала $[t_{Mi}, t_{M(i+1)}]$ на момент времени t_{Mi} . Основная задача исследований предлагаемого метода состоит в определении мерного временного интервала — $[t_{Mi}, t_{M(i+1)}]$ и интервала прогнозирования — $[t_{M(i+1)}, t_{M(i+1)} + \Delta t_M]$, обеспечивающих требуемые точности прогнозирования скорости и положения КА. Рассматриваются подходы к её решению в ходе наземных вычислительных экспериментов или космических экспериментов на борту КА и, в частности, МКС.

Сформулируем задачу оценивания качества метода: пусть — $\{\alpha_i\} = \{D, \partial D/\partial t, A, \partial A/\partial t, \dots, \varepsilon_2, \partial \varepsilon_2/\partial t\}$ — множество измеряемых параметров; α_{ij} — значение i -го измеряемого параметра в момент времени t_j ; $\text{abs}(\alpha_{ij} - \alpha_j)$ — абсолютное значение отклонения i -го измеряемого параметра, полученного в результате прогнозирования с использованием стандартной баллистической

модели, от его истинного значения; $\text{abs}(\alpha_{ij} - \alpha_{ij})$ — абсолютное значение отклонения i -го измеряемого параметра, полученного в результате прогнозирования движения КА по данным АСН КНС ГЛОНАСС решением задачи Эйлера–Ламберта, от его истинного значения. Требуется сравнить по критерию превосходства математические ожидания и среднеквадратические отклонения от истинных значений i -го измеряемого параметра, полученного в результате прогнозирования с использованием стандартной баллистической модели и в результате прогнозирования движения КА по данным АСН КНС ГЛОНАСС, путём решения задачи Эйлера–Ламберта. Предлагаемый метод позволяет осуществлять прогнозирование параметров движения КА по высокоточным данным КНС ГЛОНАСС, получаемым в двух точках орбиты, и их расчёт без использования численных методов.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

*М.В. Энгель*¹, *С.В. Афонин*^{1,2}, *В.В. Белов*^{1,2}

¹ Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

² Томский государственный университет

E-mail: angel@iao.ru

В настоящее время необходимость проведения атмосферной коррекции (АК) данных дистанционных измерений температуры подстилающей поверхности обоснована во множестве научных публикаций, посвященных как научно-методическим аспектам решения данной проблемы, так и результатам применения методов АК на практике. Возможность проведения АК предоставляют практически все наиболее распространенные программные продукты (например, ERDAS и ENVI). Несмотря на это, в ряде случаев АК не производится вообще, либо производится с недостаточной для решения конкретной тематической задачи точностью. Проблема проведения АК связана, в частности, с необходимостью использования большого объема высокоточной априорной информации об оптико-метеорологическом состоянии атмосферы.

Современный уровень развития информационных и телекоммуникационных сетей позволяет проводить исследования на базе пространственно распределённых информационных и вычислительных ресурсов. Такой подход положен в основу веб-ресурса для проведения атмосферной коррекции данных дистанционных измерений, который в настоящий момент разрабатывается в ИОА СО РАН. Проведение АК базируется на оптических моделях атмосферы и данных спутниковых измерений (на первом этапе — тематических продуктах спектрорадиометра MODIS), хранящихся в как удаленно расположенных БД, так и в БД в составе веб-ресурса. Использование данных из распределённых источников позволяет решить проблему недостатка априорной оптико-метеорологической информации.

Вычислительные возможности веб-ресурса реализуются на базе хорошо известных программ для решения задач моделирования переноса оптического излучения через атмосферу (на первом этапе используется MODTRAN). Данная работа также базируется на разработанных в ИОА СО РАН алгоритмах и методиках проведения АК данных дистанционных измерений и созданных на основе этих методик локальных программных средств.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ КА «КАНОПУС-В»

*В.В. Еремеев*¹, *В.И. Колесников*², *А.Е. Кузнецов*¹, *М.В. Новиков*³,
*В.И. Побаруев*¹

¹ Рязанский государственный радиотехнический университет

² ОАО «Российские космические системы», Москва

³ Федеральное космическое агентство (Роскосмос), Москва

E-mail: foton@rsreu.ru

На планируемом к запуску в 2010 г. космическом аппарате «Канопус-В» устанавливаются многозональная съёмочная система (МСС) и панхроматическая съёмочная система (ПСС), разработанные ОАО «Пеленг» Республики Беларусь. В этих системах впервые реализован матрично-сканерный принцип съёмки подстилающей поверхности для получения при наблюдении в надир с высоты 510 км спектральнональных снимков с пространственным разрешением 10,5 м и полосой захвата 20 км и панхроматических изображений с разрешением 2,1 м и полосой захвата 23 км. В соответствии с этим принципом в фокальной плоскости приборов устанавливаются ПЗС-матрицы, формирующие в дискретные моменты времени микрокадры с взаимным перекрытием. В аппаратуре МСС используются четыре матрицы, по одной на каждый спектральный диапазон, последовательно расположенные в фокальной плоскости вдоль направления полета КА. В системе ПСС используются шесть матриц, расположенных в шахматном порядке. Каждый микрокадр сопровождается элементами внешнего ориентирования от GPS и системы астроориентации. Для обработки микрокадров МСС и ПСС ОАО «Российские космические системы» и Рязанским государственным радиотехническим университетом разработан многофункциональный программный комплекс, основными задачами которого являются: первичная обработка и визуализация исходной информации; оперативная оценка качества информации; каталогизация видеоданных и поиск материалов съёмки по электронному каталогу; формирование выходных информационных продуктов; оценка измерительных свойств выходной продукции.

Интерфейс программного комплекса позволяет конфигурировать рабочие места с любым набором выполняемых функций. При первичной обработке обеспечивается распаковка и выделение из входного потока, поступающего по двум радиолиниям, информации каждого датчика; оперативное формирование мозаичного снимка маршрута съёмки (приближенное структурное восстановление непрерывного изображения); геопривязка структурно-восстановленных изображений по орбитальным параметрам; формирование цветосинтезированного изображения по данным МСС. Для контроля точности геопривязки и устранения грубых ошибок, вызванных в основном рассогласованием бортового и наземного времени, предусматривается технология уточнения параметров привязки маршрута съёмки относительно карты. В задачу оперативной оценки качества информации входит выявление сбойных ситуаций с занесением этой информации по каждому маршруту съёмки в базу данных электронного каталога. Каталогизируются непрерывные маршруты съёмки от каждого типа аппаратуры, прошедшие этап приближенного структурного восстановления. Здесь решаются традиционные задачи: формирование квивкуков и метаданных, оценка процента облачного покрова. Для обеспечения информационной совместимости электронных каталогов КА «Метеор-М» и «Канопус-В» используется единая база данных, дополненная таблицами с параметрами качества информации.

Программный комплекс позволяет формировать выходные продукты следующих уровней обработки: по уровню 0 представляются отдельные микрокадры датчиков МСС и ПСС, представленные в структуре кадра целевой информации со служебными данными; по уровню 1 — геопривязанные по орбитальным данным как структурно-восстановленные изображения маршрутов съёмки, так и отдельные микрокадры, в сопровождении матрицы геопривязки; изображение МСС сохраняется в виде четырёхканального снимка; по уровню 2 — микрокадры или мозаичные изображения, трансформированные в картографические проекции и сохраненные в одном из ГИС-форматов; границы стыковки микрокадров уточняются на основе координат одноименных точек; по уровню 3 формируются ортотрансформированные микрокадры или мозаичные изображения с использованием цифровых моделей рельефа и опорных точек.

Для оценки измерительных свойств выходной продукции в программном комплексе предусматриваются инструментальные средства оценки точности «сшивки» микрокадров, совмещения микрокадров и геопривязки, а также средств автоматизированной оценки сигнал/шум и пространственного разрешения снимка. Приводятся примеры выполнения операций обработки видеоданных МСС и ПСС и другие технические характеристики программного комплекса.

ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ АВИАКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Т.В. Кондранин¹, В.В. Козодёров², О.Ю. Казанцев^{3,1}, В.И. Бобылев^{3,1},
Е.В. Дмитриев^{4,1}, В.Д. Егоров⁴, В.П. Каменцев⁵, В.В. Борзяк²*

¹ Московский физико-технический институт (государственный университет)

² МГУ им. М.В. Ломоносова

³ НПО «Лептон», Москва

⁴ Институт вычислительной математики РАН, Москва

⁵ Технопарк Тверского государственного университета

E-mail: kondr@kondr.ector.mipt.ru

В проблемах распознавания образов природно-техногенных объектов по данным аэрокосмической гиперспектрометрии рассматриваются общие приложения методов обработки соответствующих изображений и построения классификаторов (вычислительных схем) разного уровня сложности. Показаны примеры реализации разрабатываемого программно-алгоритмического обеспечения обработки данных летных испытаний гиперспектральной аппаратуры на выбранных тестовых участках, для которых получены также данные наземных лесотаксационных и других обследований территории. При высоком пространственном разрешении отдельных пикселей спектральное разрешение рассматриваемых типов гиперспектральной оптико-электронной аппаратуры достигает единиц нанометра во всей видимой и ближней инфракрасной области. Начальный этап обработки данных гиперспектрального зондирования характеризуется учётом аппаратной функции, результатами наземной калибровки аппаратуры, проверкой спектров на предмет возможного насыщения аппаратуры в определенных каналах, возможного смещения спектров по длинам волн и т. д. Демонстрируются примеры решения задачи обнаружения специфических объектов на разных фонах при обработке гиперспектральных изображений. Решение этой задачи включает следующие этапы: анализ спектров отражения выбранных объ-

ектов для разных геометрических условий их освещения; систематизация эталонных спектров, относящихся к известным априори объектам; сравнение эталонных спектров со спектрами «остальных» объектов путем расчёта информационных мер близости между ними; построение классификаторов, реализующих оптимальное разделение объектов и фонов. Основное внимание уделяется выбору наиболее эффективных алгоритмов выделения соответствующих объектов с обоснованием набора спектральных каналов, обеспечивающих точность выделения объектов, достаточную для решения возникающих прикладных задач. Разрабатываемые приложения ориентированы на их применение с использованием современных высокопроизводительных вычислительных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

ПРОЕКТ ЕИС ФКИ

*В.П. Саворский¹, А.Б. Аквилонова¹, И.Н. Кибардина¹, Е.А. Лупян²,
Р.Р. Назиров², А.А. Петрукович², М.Т. Смирнов¹*

¹ Фрязинский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва

² Институт космических исследований РАН, Москва

Проведение научных исследований по развитию средств и методов наблюдений природной среды с помощью космических технологий требует привлечения значительных материальных и интеллектуальных ресурсов. Эффективное использование этих ресурсов в научных исследованиях — это, прежде всего, обеспечение условий для максимально полного комплексного анализа полученных экспериментальных данных. Поэтому одним из необходимых условий для повышения эффективности исследований окружающей среды, базирующихся на данных космических наблюдений, является создание или модернизация структур информационной поддержки этих исследований. Важно отметить, что такую поддержку должны обеспечивать не только информационные узлы, развиваемые в рамках самих научно-исследовательских проектов или отдельных центров обработки и хранения данных, но и информационные системы национального, регионального и глобального масштабов, что требует создания Единой информационной системы фундаментальных космических исследований (ЕИС ФКИ). Эта система должна обеспечить:

- создание особо ценных наборов космических данных, описывающих объекты, феномены и процессы природной среды, т. е. создания научных (научно обоснованных!) коллекций космических данных,
- обеспечение безусловной долговременной сохранности научных коллекций космических данных,
- доступность хранимых научных коллекций космических данных для широкого круга российских потребителей, прежде всего для исследовательских коллективов РАН, в течение всего срока хранения,
- наличие средств поддержки углубленного комплексного анализа данных из хранимых научных коллекций в течение всего срока хранения, в том числе средств однозначной интерпретации данных.

Выполнение этих условий может быть в совокупности обеспечено только специализированной распределенной информационной системой. Целью настоящей работы является проектирование и макетирование узлов такой информационной системы, а именно ЕИС ФКИ, учитывающей особенности получения, обработки, хранения и обмена информацией как во

время проведения ФКИ, так и после их завершения. Существенной характеристикой такой системы является необходимость хранения архивов ФКИ в местах их генерации, базовых узлах ЕИС ФКИ. При этом интеграция этих узлов в единую систему может быть обеспечена только при проведении единой политики при работе с данными ФКИ. Разработку, внедрение и постоянную поддержку реализации такой политики и призвана реализовать ЕИС ФКИ.

В докладе представлены обоснования выбранных решений и результаты проектирования ЕИС ФКИ как иерархической распределенной системы информационных узлов, объединенных единой политикой в области сбора, хранения и распределения космических данных в интересах российского научно-исследовательского сообщества, вовлеченного в проведение многолетних комплексных ФКИ.

РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИЁМА И ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЗЗ СФУ

Ю.А. Маглинец, Е.А. Мальцев

Институт космических и информационных технологий, Сибирский

Федеральный университет, Красноярск

E-mail: ymaglinets@sfu-kras.ru; evgenii.maltsev@gmail.com

В настоящее время на базе Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета ведутся работы по развитию региональной системы ДЗЗ СФУ. Одним из направлений развития является разработка методов автоматизации приёма и обработки спутниковой информации. К настоящему моменту разработан и внедрена система управления и мониторинга всего комплекса, в рамках которой функционирует сквозной цикл преобработки поступающих данных со спутника ДЗЗ SPOT-4, а также автоматическая загрузка спутниковых данных из сторонних свободных источников. Разработанная система управления распределяет задания по исполнительным узлам гетерогенной среды комплекса. Различные исполнительные узлы комплекса работают, под управлением как Windows, так и Unix-систем. К настоящему моменту, разработанный модуль оценки облачности снимка, на базе высокопроизводительного кластера, также управляется и функционирует в единой системе мониторинга и управления комплексом и включен в автоматический цикл приёма и обработки информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ АПРОБАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ КАРТ ОБЛАЧНОСТИ ПО ДАННЫМ АППАРАТУРЫ КМСС

А.Е. Кузнецов¹, В.И. Пошехонов¹, В.И. Соловьёв²

¹ Рязанский государственный радиотехнический университет

² ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

E-mail: foton@rsreu.ru

Аппаратура комплекса многозональной сканерной съёмки (КМСС), установленная на космическом аппарате (КА) «Метеор-М» № 1, позволяет формировать спектрональные стереоизображения подстилающей поверхности. С учётом этого было предложено использовать получаемые видеоданные для построения карт высот верхней границы облачных образований.

Рассматриваются проблемные вопросы, связанные с обработкой предложенной технологии на натурной информации.

Первая проблема заключалась в том, что паспортные значения параметров геометрической калибровки многозональных съёмочных устройств (МСУ), входящих в состав КМСС, оказались недостаточно точны для определения трёхмерных координат наблюдаемых объектов с помощью прямой фотограмметрической засечки. Для уточнения геометрических моделей была разработана соответствующая методика калибровки с использованием опорной информации от съёмочного устройства ETM+ KA LANDSAT-7.

Вторая проблема была связана с обеспечением надежной работы программного комплекса в случае отсутствия высокоточных измерений элементов внешнего ориентирования (ЭВО) комплексом координатно-временного обеспечения (ККВО). Для этого случая разработаны процедуры определения пространственного положения спутника на основе орбитального прогноза по возмущенной орбите, угловой ориентации — с помощью интегрирования измерений датчиков угловых скоростей.

Третья проблема обуславливалась тем, что штатная система ориентации КА не всегда обеспечивает необходимую точность временной привязки видеоданных. С целью коррекции времени начала формирования видеоданных, а также уточнения ЭВО в случае отсутствия измерений ККВО была разработана оперативная технология геодезического ориентирования спектрональных изображений.

На основе предложенной информационной технологии формирования карт облачности реализован программный комплекс, функционирующий в настоящее время в НИЦ «Планета». Приводятся примеры выходных информационных продуктов.

СБОР И ОБРАБОТКА АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

А.Н. Платэ

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН), Москва
E-mail: plate@igem.ru

В ИГЕМ РАН в рамках проекта создания Интегрированной информационной системы (ИИС) Института (2010–2012) развиваются теоретические положения организации распределенных информационных систем, включающих подсистемы сбора, хранения и обработки информации с различной тематической направленностью и категориями пользователей. Построение системы по проекту потребует разработки методологии формирования информационных потоков различных видов и интенсивности, интеграции данных в области наук о Земле, представленных в нескольких форматах, с пространственной привязкой в разных масштабах. Специальной задачей является теоретическое обоснование универсального подхода к созданию телекоммуникационной среды, обеспечивающей взаимодействие программно-технического комплекса Центра обработки данных научной организации (ЦОД) и источников аэрокосмической информации.

В настоящее время наблюдается явный дефицит финансовых ресурсов на средства для приобретения, передачи по линиям связи и дешифрирования аэро- и космоснимков. Цифровая аэрокосмическая информация в значительной степени не доступна широкому кругу пользователей в силу

её отсутствия в соответствующих фондах научных организаций, несовершенства информационных систем и высокой коммерческой стоимости. Эти проблемы в значительной степени решаются при прямом взаимодействии в рамках общей системы центра космической информации с программно-техническим комплексом ИИС научной организации.

Практика информационного сопровождения фундаментальных научных исследований в области наук о Земле убеждает в необходимости организации относительно небольших систем, включающих, в первую очередь, ведомственный центр космической информации и крупные научные организации, заинтересованные в получении аэро- и космической информации.

Поставлена задача выработки согласованной политики эволюционного развития ИИС ИГЕМ РАН и центров-источников аэрокосмической информации. Разработки направлены на обеспечение программной и аппаратной совместимости вычислительных средств, а также используемых технологий геоинформационных систем.

Принципы построения ЦОД и формирования структуры системы взаимодействия и обмена аэрокосмической информацией обусловили, в частности, приобретение и установку двух специализированных серверов — один для накопления космических данных, используемых абонентами научной организации, другой — для генерации баз данных и цифровых карт по требованиям пользователей.

Предусматривается взаимодействие специализированных серверов ИИС с программно-техническими комплексами центров аэрокосмической информации. Важным элементом улучшения обслуживания пользователей является создание распределенной системы каталогов по имеющимся в архивах центров и ИГЕМ РАН информационным массивам (аэро- и космические снимки, цифровые карты, тематические базы данных, справочно-библиографическая информация и др.). Подключение серверов ЦОД для размещения каталогов информационных ресурсов и баз метаданных обеспечивают режимы прямого доступа пользователей к адресным данным и, в конечном итоге, к самим аэрокосмическим снимкам.

Осуществляется разработка с помощью ИИС прототипа географической информационной системы по Центральной Азии с проблематикой геологического характера, изменений климата, катастрофических природных и антропогенных ситуаций и др. Точность данных в системе повышается благодаря использованию цифровой карты-основы, полученной путем оперативного дешифрирования и передачи в научную организацию космических снимков территории РФ.

На сетевых серверах ИИС представляются методические материалы по построению системы взаимодействия и обмена информацией в области естественных наук между центрами обработки и хранения космической информации и программно-техническим комплексом ЦОД ИГЕМ РАН. Типовые проектные решения, разработанные в процессе исследования — технологические операции, цепочки стандартных программных средств, протоколы связи — предоставляются по запросу пользователей. Обеспечивается телекоммуникационный доступ пользователям через единый вход в систему с использованием сети Интернет.

СИСТЕМА ДОСТУПА К ДАННЫМ ЕВРОПЕЙСКОГО, ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО И ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ЦЕНТРОВ ПРИЁМА РОСГИДРОМЕТА

*М.А. Бурцев¹, В.Ю. Ефремов¹, А.А. Мазуров¹, А.А. Прошин¹, Е.А. Лупян¹,
О.Е. Милехин²*

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

E-mail: info@smis.iki.rssi.ru

Структура Росгидромета включает в себя ряд центров приёма спутниковых данных, обеспечивающих покрытие ими всей территории России. Основными являются центр ГУ НИЦ «Планета» (Москва, Обнинск, Долгопрудный), Западно-Сибирский региональный центр приёма и обработки данных (ЗС РЦПОД, Новосибирск) и Дальневосточный центр приёма и обработки данных (ДВ РЦПОД, Хабаровск). В этих центрах принимаются данные с различных зарубежных (например, КА серии NOAA, Terra, Aqua) и отечественных спутников («Метеор-М» № 1).

Для решения метеорологических задач и задач оперативного мониторинга на уровнях вплоть до федерального ИКИ РАН совместно с ГУ НИЦ «Планета» была разработана единая система доступа к данным, получаемым в указанных центрах. Система построена на основе технологии создания информационных систем доступа к спутниковым данным, обеспечивающей автоматическое прохождение полного жизненного цикла данных — от их приёма, первичной и тематической обработки до формирования каталогов и предоставления доступа к данным конечным пользователям посредством специализированных картографических веб-интерфейсов. Описываются общая архитектура системы, особенности архивации данных и организации доступа к ним пользователей, а также основные возможности специализированного картографического веб-интерфейса как главного инструмента доступа к данным. На текущий момент рассматриваемая система вводится в режим опытной эксплуатации и включает в себя объединённые каталоги данных прибора AVHRR (КА серии NOAA), прибора MODIS (КА Terra и Aqua), а также каталоги данных, принимаемых с КА «Метеор-М» № 1.

СИСТЕМА РАБОТЫ С ДАННЫМИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА ИКИ РАН

*И.В. Балашов, М.А. Бурцев, В.Ю. Ефремов, А.А. Мазуров, А.А. Мазуров-мл.,
А.М. Матвеев, А.А. Прошин, В.А. Толпин*

Институт космических исследований РАН, Москва

В ИКИ РАН разработан единый подход к использованию различных данных наблюдения Земли из космоса. Данные, поступающие из различных источников, проходят предварительную обработку, архивируются, после чего проходят один или несколько этапов тематической обработки и заносятся в каталог для предоставления их пользователю. Поступать могут как необработанные данные непосредственно с приёмных станций, так и уже прошедшие какую-либо обработку в центрах приёма. Предварительная обработка, как правило, включает в себя радиометрическую коррекцию и географическую привязку по орбитальным данным. В рамках тематической обработки осуществляются получение цветосинтезированных изображений и расчёт разнообразных спектральных индексов (например, вегетационных или

снежных) по различным наборам спектральных каналов, построение суточных и многодневных композитных мозаик на основе временных рядов данных, детектирование заданных физических явлений (обнаружение «горячих точек» или «хотспотов») и многое другое. Полученные тематические продукты визуализируются, переводятся в географическую проекцию и заносятся в специализированные каталоги, доступ к которым реализуется посредством картографических веб-интерфейсов. Интерфейсы позволяют осуществлять поиск необходимых данных по ряду критериев, просматривать выбранный набор данных в произвольном масштабе, а также использовать совместно с данными различные картографические слои (например, береговые линии, административные границы, статические подложки и многие другие). Данный подход применим к любым визуализируемым данным ДЗЗ. В ИКИ РАН ведутся построенные по этому принципу каталоги как данных низкого и среднего разрешения (прибор AVHRR КА серии NOAA, прибор MODIS КА Terra и Aqua), так и высокого и детального разрешений (КА SPOT 2, SPOT 4, LANDSAT-5, LANDSAT-7, «Ресурс-ДК», «Метеор-М» № 1).

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СНИМКОВ

В.Л. Онегов¹, Л.К. Каримова²

¹ «ТРАНС-СЕРВИС», Казань

² Казанский (приволжский) федеральный университет

E-mail: Archon1980@mail.ru

Представлены различные подходы, используемые при тепловизионной томографии геологических сред. Основой данной технологии является построение объёмных моделей плотности потока теплового излучения среды по космическим и авиационным снимкам для решения геологических (изучение глубинного строения Земли, поиск нефти, газа и подземных вод), техногенных и экологических задач. Существенная новизна метода состоит в получении непрерывной объёмной картины распределения тепловых характеристик поля путем последовательного расчёта множества значений теплового потока на различных глубинах. Выявляемые геотермические аномалии, как правило, позволяют формализовать их в реальные модели сред, так как температурный режим пород (ниже нейтрального слоя) определяется восходящим эндогенным тепловым потоком и тепловыми свойствами пород.

Вычисление значений теплового потока на заданных глубинах происходит путем фильтрации исходного поля. Проведенное на эталонных объектах исследование различных фильтров показало, что наиболее точная модель может быть получена при использовании фильтра, основанного на функции Гаусса. Для этого создан программный комплекс и разработана методика интерпретации карт и разрезов.

Для детализации верхней части геологического разреза целесообразно использовать двумерное вейвлет-преобразование. В этом случае общий принцип построения базиса вейвлетов состоит в использовании масштабного преобразования и смещения. Именно за счёт изменения масштабов вейвлеты способны выявить различие в характеристиках на разных шкалах (частотах), а путем сдвига проанализировать свойства сигнала в любых точках интервала.

Необходимо отметить, что правильный выбор вейвлета во многом определяет эффективность применения вейвлет-анализа. Поэтому исследованы тепловые поля, создаваемые телами простой геометрической формы

в однородной геологической среде. В результате выбран вейвлет, наиболее полно описывающий все характеристики поля потока теплового излучения. Наилучшая локализация объекта достигнута при использовании вейвлетов Койфмана второго порядка и Гаусса восьмого порядка. Преобразование позволяет в суммарном поле разделить по разрезу отдельные источники тепла.

Для проверки эффективности используемых алгоритмов при построении моделей осадочного чехла проведено исследование строения нефтеперспективного Скоропадовского поднятия, Черемшанского и Акташско-Новоелховского блоков, шнурковых залежей углеводородов Тлянче-Тамакско-Мензелинской нефтегазоносной зоны Южно-Татарского свода. Во всех случаях рассчитанные тепловые модели имеют высокую степень корреляции с результатами других геофизических методов (сейсморазведка, электромагнитное зондирование). Разрезы тепловых моделей в высокой степени отражают горизонтальную слоистость среды. Границы выявляемых слоев совпадают с изменениями характера диаграмм электрокаротажа скважин и отражают глубинное строение осадочного чехла региона.

СРАВНЕНИЕ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК ОТРАЖЕНИЯ ПО РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ РСА «КОМПАКТ» В L- И УКВ-ДИАПАЗОНАХ

М.Ю. Достовалов, А.В. Ермаков, Т.Г. Мусиянц
НИИ точных приборов, Москва
E-mail: kotik_55@mail.ru

Проведен анализ радиолокационных характеристик отражения L- и УКВ-диапазонов путем сопоставления серии РЛ-изображений РСА «Компакт» в метровом и дециметровом диапазонах, полученных одновременно, в одинаковых условиях. Радиолокационные изображения L- и УКВ-диапазонов были получены на ВВ- и ГГ-поляризациях и прокалиброваны по уголковым отражателям. Проводится сравнения ЭПР-отражения объектов в разных диапазонах на разных поляризациях.

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ НА СИНУСОИДАЛЬНОЙ ГРАНИЦЕ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В РАМКАХ МОДЕЛИ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ

А.Б. Селунский, А.В. Кузьмин
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: alexendersel@mail.ru

Работа продолжает цикл экспериментально-теоретических исследований, ведущихся в ИКИ РАН на протяжении последних 30 лет. Главное внимание уделяется вертикальной поляризации как наиболее интересной. При этом ряд обобщений для горизонтальной поляризации также присутствует, но несёт, скорее, просто сравнительную функцию. В отличие от предыдущих циклов работ, нам, в итоге, удалось получить точное решение поставленной задачи. Представлено большое количество графической информации, полученной из точного решения, что, по-видимому, сделано впервые. Безусловно, сравнительный анализ с экспериментом также присутствует и представляет собой, возможно, наиболее оригинальную часть работы.

Основным критерием корректности приводимых теоретических расчётов по-прежнему является эффект повышения контраста радиояркостной температуры для выделенных углов падения. При этом большинство физических параметров, таких как показатель поглощения, суммарная интенсивность проходящих и отражённых волн, также имеют свои особенности; попытались их показать на представленных теоретических кривых, постоянно проводили сравнение с экспериментальными результатами, полученными в лабораторных условиях.

Что касается теории, она достаточно легко обобщается на случай произвольной поляризации. Но при больших коэффициентах неоднородности матрица основной системы уравнений становится плохо обусловленной, что крайне усложняет расчёты. Поэтому обобщение на случай сферической волны затруднительно. Тем не менее, для большинства экспериментальных результатов, точные решения были нами получены и сверены с экспериментом. При сравнении данных для теплового излучения возникали некоторые проблемы с учётом диаграммы направленности используемого радиометра, хотя учёт диаграммы направленности сам по себе ничего нового в явления не вносит, а просто приводит к размыванию эффектов.

ТОЧНОСТЬ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ПРИ РАСЧЁТЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЯРКОСТИ МОРЯ ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ SEADAS

А.И. Алексанин¹, В.А. Качур¹, П.А. Салюк²

¹ Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток

² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток

E-mail: aleks@iacp.dvo.ru

Коэффициенты яркости моря R_{rs} (отношение нормализованного восходящего излучения над поверхностью моря к её освещённости) являются ключевыми параметрами, на которых базируются основные спутниковые биооптические алгоритмы расчёта характеристик взвеси в воде. В последние годы исследовательской группой NASA “Ocean Biology Processing Group” накоплены значительные улучшающие изменения в алгоритмах проведения расчётов как для первичной обработки данных спутников цветности, так и для тематической. Улучшены калибровки каналов, обновлены таблицы Релеевского рассеяния, добавлены коррекции на концентрацию двуокиси азота, включены новые модели аэрозольного рассеяния и алгоритмы выбора моделей, значительно изменены и добавлены новые биооптические алгоритмы и т. д. Все эти изменения и коррекции реализованы в последней версии пакета программ SeaDAS, вышедшей в текущем 2010 г.

Для оценки точности расчёта коэффициентов использовались судовые измерения спектрорадиометра ASD в заливе Петра Великого (Японское море), а также измерения в различных частях Японского и Охотского морей в летний и осенний периоды. Использовались основные четыре алгоритма атмосферной коррекции, реализованные в пакете SeaDAS. Сравнение точности расчёта коэффициентов с *in situ* измерениями показали существенное улучшение точности расчётов в голубой области спектра в новой версии пакета. В то же время наблюдаются значительные «выбросы» спутниковых оценок и систематические ошибки, обусловленные неточной атмосферной коррекцией (в основном расчётом поправок на аэрозоль). Сравнения не выявили одного наилучшего алгоритма атмосферной коррекции — в разных

участках спектра лидируют разные алгоритмы. Рассмотрены зависимости точности расчёта коэффициентов R_{rs} от условий наблюдения — величин облачного альбедо, аэрозольной оптической толщины и коэффициента Ангретма.

Работа поддержана грантами ДВО РАН и госконтрактом № 02.518.11.7152 от 08 апреля 2009 г.

УХОДЯЩАЯ КОРОТКОВОЛНОВАЯ РАДИАЦИЯ И АЛЬБЕДО НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ АТМОСФЕРЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ С ИСЗ «МЕТЕОР-М» № 1

Ю.А. Скляр¹, В.А. Воробьёв¹, А.И. Котума¹, Н.В. Семёнова¹, Н.В. Фомина¹, М.Ю. Червяков¹, В.М. Фейгин²

¹ Саратовский государственный университет (СГУ) им. Н.Г. Чернышевского

² НЦ оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы», Москва

E-mail: kafmeteo@sgu.ru

В сентябре 2009 г. состоялся запуск Российского метеорологического спутника «Метеор-М» № 1. На спутнике установлена аппаратура ИКОР — «Измеритель коротковолновой отраженной радиации», созданная в СГУ под руководством Ю.А. Склярова. Ранее подобная аппаратура работала на спутниках «Метеор-3» № 7 (1994–1995) и «Ресурс-01» № 4 (1998–1999). Прибор входит в геологогеофизический аппаратный комплекс ГГК-М.

Радиометр ИКОР предназначен для спутникового мониторинга уходящей отраженной коротковолновой радиации, являющейся одной из составляющих радиационного баланса Земли, и альбедо системы Земля – атмосфера. Эта информация может быть использована в различных моделях долгосрочных прогнозов погоды и исследованиях трендов изменения климата, а также для получения величин поглощенной солнечной радиации.

Первые регулярные данные со спутника стали поступать с ноября 2009 г. За каждые сутки спутник совершает 14 витков, таким образом (по данным на 1 сентября 2010 г.) уже получена информация с 4000 витков. В среднем за месяц спутник совершает около 430 витков.

Приём информации со спутника «Метеор-М» № 1 производится в Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ). Дважды в сутки осуществляется приём и декодирование информации с радиометра ИКОР-М. Файлы данных содержат величины информационных кадров ИКОР и его температуры с частотой 1 измерения в секунду. В Саратовском государственном университете осуществляется регулярный приём и накопление данных радиометра ИКОР-М с FTP-сервера НЦ ОМЗ.

На первом уровне производится обработка поступающих «сырых» данных при помощи разработанной специалистами СГУ программы ИКОР-декодер. На этом уровне программа формирует текстовый файл, в котором в хронологическом порядке содержится следующая ежесекундная информация: номер информационного кадра радиометра ИКОР-М, бортовые дата и время каждого измерения, результаты измерения потока уходящей коротковолновой радиации (УКР) и температуры прибора.

Далее осуществляется привязка каждого измерения к телеметрической информации с помощью созданной программы CoordReader. Для каждого измерения ИКОР-М производится поиск соответствующих ему телеметрических данных, затем осуществляется временная привязка к гринвичскому времени.

Третий уровень обработки позволяет осуществлять просмотр информации, содержащейся в базе данных, при помощи специального программного модуля IKOR Archive Viewer for Meteor-M Satellite. Программа позволяет оценить пространственно-временную изменчивость составляющих радиационного баланса любых регионов по выбору исследователя, а также визуализировать расположение витка спутника на физической карте Земли. Возможность масштабирования, позволяет детально проанализировать любое из ежесекундных мгновенных измерений.

В момент выбора необходимой точки на карте или графике появляется всплывающее окно, на котором отображается дополнительная цифровая информация: гринвичское, московское и истинное солнечное дата/время, координаты подспутниковой точки, высота спутника, значение измеренного потока и температуры прибора, а также значения УКР, мгновенного альbedo, солнечного зенитного угла и поглощённой радиации.

Программа позволяет строить карты составляющих радиационного баланса (альbedo, поглощенная радиация) по мгновенным и среднемесячным значениям как в глобальном масштабе, так и по отдельным регионам.

На данном этапе составляется также архив космических снимков. Космические изображения с геостационарных спутников подбираются с учётом треков орбиты. Вдоль витка проводится сопоставление значений альbedo и вида сцены.

Основная цель настоящей программы — получение среднемесячных значений альbedo и поглощенной радиации, широтных распределений этих величин, глобальных значений альbedo и поглощенной радиации и оценка их вариаций, т. е. мониторинг альbedo и поглощенной радиации, их воздействие на изменение климата.

В докладе будут приведены предварительные результаты обработки полученного материала.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ВАРИАЦИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ ВОСХОДЯЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОВЕРХНОСТЬ-АТМОСФЕРА В МЕЖДУНАРОДНОМ МНОГОУРОВНЕВОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ «КАРИБЭ-88» («НАБЛЮДАЕМЫЕ РЕАКЦИИ»)

Е.М. Козлов

Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: ekozlov@iki.rssi.ru

В рамках развития и совершенствования би-спектрального подхода при решении задач дистанционного зондирования Земли из космоса, рассмотрены наблюдаемые реакции системы атмосфера — земная поверхность $r_n(\lambda r_0, \lambda)$, которые были восстановлены по измерениям восходящего излучения в диапазоне $\lambda = 416\text{--}880$ нм, выполненным с помощью спектрометра МКС-М (блок-Б) в международном многоуровневом эксперименте «Карибэ-88». В процессе обработки были восстановлены шесть вариационных компонентов с идентификаторами $\lambda r_0 = 486, 536, 570, 750, 788$ и 880 нм, которые имели место в области пространственных частот $\Omega = 3,99\text{--}53,2$ рад/км.

В работе проанализированы средние реакции системы для всех восстановленных компонентов и их коэффициенты вариаций $vr_n(\lambda r_0, \lambda)$; рассмотрена изменчивость коэффициента вариаций наблюдаемой реакции системы в зависимости от пространственной частоты Ω для дифференцированных вариаций с идентификатором $\lambda r_0 = 880$ нм; проанализирована эффективность восстановления наблюдаемой реакции $r_n(\lambda r_0 = 880, \lambda)$ в пространстве Ω, λ .

ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАНЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

FLOOD MONITORING GRID INFRASTRUCTURE BASED ON SAR AND OPTICAL DATA

A. Shelestov¹, S. Skakun², Li Guoqing³

¹ Institute of Cybernetics NAS of Ukraine

² Space Research Institute, NASU and NSAU, Kyiv, Ukraine

³ Spatial Data Center of Earth Observation and Digital Earth, CAS, China

E-mail: andrii.shelestov@gmail.com; sergii.skakun@gmail.com

Modern Earth observation tasks require high performance computations and large network data storages. Therefore, nowadays distributed informational infrastructure is very important facility for solving almost all complex applied problems. Ukrainian experts from the Space Research Institute NASU-NSAU actively participate in international activities considering Earth observation domain.

An example of such successful international collaboration in the area of distributed system development is a bilateral Chinese-Ukrainian international project "Wide Area Grid Testbed for Flood Monitoring using Spaceborne SAR and Optical Data" which devoted to support activities within Wide Area Grid (WAG) project that was initiated by the French Space Agency (CNES). This project is also supported within the Working Group on Information Systems and Services (WGISS) of CEOS, and currently implemented by CNES (France), CEODE-CAS (China) and SRI NASU-NSAU (Ukraine). The main objective of the project is the development of "horizontal" infrastructure in order to integrate computational, human, intellectual, and informational resources of space agencies within large distributed system. Implementation of geospatial-related services and Grid-enable EO data archives are among the priority tasks of this project.

Beginning from 2007 up to now SRI NASU-NSAU successfully collaborates with the Center of Earth Observations and Digital Earth of the Chinese Academy of Sciences (CEODE-CAS) within WAG Testbed project. Results achieved so far are as follows:

- an unified architecture of a Grid system for satellite data processing was proposed within the CEOS/WGISS activities;
- Grid system that integrates high-performance resources of SRI NASU-NSAU and CEODE-CAS was developed;
- service-oriented testbed system for flood monitoring using SAR and optical data was developed, and corresponding user interfaces to access the services were developed;
- in the beginning of 2010 the developed system was used to deliver geospatial services to monitor the snow cover and assess potential flood risks for the territory of Ukraine.

The system is developing under support of grant of the Chinese Academy of Sciences. During presentation current results of the project will be discussed in more detail.

**GRID WORKFLOW MANAGEMENT FOR SATELLITE DATA PROCESSING
WITHIN UN-SPIDER PROGRAM**

N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun

Space Research Institute NASU and NSAU, Kyiv, Ukraine

E-mail: inform@ikd.kiev.ua

One of the most important problems associated with satellite data processing for disaster management is a timely delivery of information to end-users. To enable such capabilities, an appropriate infrastructure is necessary to allow for rapid and efficient access to, processing and delivery of geospatial information that is further used for damage assessment and risk management. In this paper, we will describe the use of Grid technologies [*Shelestov A., Kussul N., Skakun S. Grid Technologies in Monitoring Systems Based on Satellite Data // J. Automation and Information Sciences. 2006. V. 38³. P. 69–80; Fusco L., Cossu R., Retscher C. Open Grid Services for ENVISAT and Earth Observation Applications // Plaza A. J., Chang C.-I. (Eds.) High Performance Computing in Remote Sensing. 1st edn. N. Y.: Taylor & Francis Group, 2007. P. 237–280*] for automated acquisition, processing and visualization of satellite synthetic-aperture radar (SAR) and optical data for rapid flood mapping. The developed services are used within the UN-SPIDER Regional Support Office in Ukraine that was established in February of 2010.

Within the infrastructure we developed an automated workflow of satellite SAR data acquisition, processing and visualization, and corresponding geospatial services for flood mapping from SAR imagery. The data are automatically downloaded from ESA rolling archives where satellite images are available within 2–4 hours after their acquisition. We implemented both programming and graphical interfaces to enable search, discovery and acquisition of data. Through the portal the user can select interested geographical region and time range, and find the data that match the search request. After the user selects a file to be processed, it is transferred to the resources of the Grid system at the Space Research Institute NASU-NSAU. After that, a workflow is automatically generated and executed on the resources of the Grid infrastructure.

To enable such a workflow in the Grid system a set of services has been implemented. We followed an approach that is used in Earth System Grid [*Williams D. N. et al. Data Management and Analysis for the Earth System Grid // J. Physics: Conference Series. 2008. V. 125, 012072. doi: 10.1088/1742-6596/125/1/012072*]. The four major components of the system are as follows:

1. Client applications. Web portal is a main entry point, and provides interfaces to communicate with system services.
2. High-level services. This level includes security subsystem, catalogue services, metadata services (description and access), automatic workflow generation services, and data aggregation, sub-setting & visualisation services. These services are connected to Grid services at the lower level.
3. Grid services. These services provide access to the shared resources of the Grid system, access to credentials, file transfer, job submission and management.
4. Database and application services. This level provides physical data and computational resources of the system.

We developed a neural network approach to SAR image segmentation and classification [*Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Grid System for Flood Extent Extraction from Satellite Images // Earth Science Informatics. 2008. V. 1(3-4). P. 105–117*]. The workflow of data processing is as follows:

1. Data calibration. Transformation of pixel values (in digital numbers) to to backscatter coefficient (in dB).
2. Orthorectification and geocoding. This step is intended to remove geometrical and radiometric corrections associated by SAR imaging technology, and provide precise georeferencing of data.
3. Image processing. Segmentation and classification of the image using neural network.
4. Topographic effects removal. Using digital elevation model (DEM), such effects as shadows are removed from the image. The output of this step is a binary image classified into two classes: “Water” and “No water”.
5. Transformation to geographic projection. The image is transformed to the projection for further visualisation via Internet using OGC-compliant standards (KML or WMS) or desktop Geographic Information Systems (GIS) using shape file.

After processing the user request from the portal, such a workflow is automatically generated using Karajan engine and is executed on the resources of the Grid system. Through the portal the user can monitor the status of each step of the workflow. After the workflow is completed, flood map is delivered to the user via OGC-compliant standards.

In order to benefit from data of different nature (for example, optical and radar) and provide integration of different products in case of emergency, our flood mapping service was integrated with flood mapping services provided by the Center of Earth Observation and Digital Earth of the Chinese Academy of Sciences (CEODE-CAS). This service is based on the use of optical data acquired by MODIS instrument onboard Terra and Aqua satellites.

The integration of the Ukrainian and Chinese systems is done at the level of services. Portals of SRI and CEODE are operated independently and communicate with corresponding brokers that provide interfaces to flood mapping services. These brokers process requests from both local and trusted remote sites. For example, to provide flood mapping products using SAR data CEODE portal generates corresponding request to the broker at the SRI side. This request is processed by the broker and the results are displayed at CEODE portal. The user selects required data to be processed, and request again goes to the SRI broker which generates and executes workflow, and delivers the results to CEODE portal. The same applies to the broker operated at the CEODE side that provides flood mapping services using optical data. In order to get access to the portal user must obtain a certificate. SRI runs Virtual Organisation Management Server (VOMS) to manage with this issue.

MONITORING WATER QUALITY IN OPEN BASIN OF NON-OPERATING COPPER MINES AND DUMPS

D.S. Borisova, H.S. Nikolov

Space and Solar-Terrestrial Research Institute — Bulgarian Academy of Sciences (SSTRI-BAS), Sofia

E-mail: dborisova@stil.bas.bg

Within this research we explore time and seasonal behavior of multispectral satellite data with middle to high spatial resolution in order to estimate the content of metal ferrous particles in the water basins formed by non-operating copper mine and dumps. The aim is to test if regression model could be created between metal polluted water and the spectral response of the basins. As basis the spectral response of the embedded rocks of the copper mine and sands on the beaches of the dump site have been investigated. Similar to the well known vegetation indices such as NDVI

several spectral indices are suggested, analyzed and the results are reported. The obtained results showed that the analyzed data and the implemented approach are proved to be useful in environmental monitoring process for the mining company responsible for the ecological state of the region. Also the successful implementation of method could be considered as basis for establishment of airborne monitoring of the ecological state of these areas.

АССИМИЛЯЦИЯ ДАННЫХ ГЛОНАСС/GPS В РЕГИОНАЛЬНУЮ ЧИСЛЕННУЮ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ WRF ARW

В.В. Чукин, А.В. Вахнин, С.В. Мостаманди, С.Ю. Нугай, Т.Т. Нгуен, З.С. Савина

ГОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург
E-mail: chukin@rshu.ru

Распространение радиосигналов ГЛОНАСС/GPS через нейтральную атмосферу сопровождается уменьшением фазовой скорости распространения радиоволн. Результаты измерения времени прохождения радиосигнала между передатчиком и приёмником дают информацию о свойствах атмосферы вдоль траектории распространения радиосигнала.

С появлением и развитием навигационной системы GPS был осуществлен целый ряд экспериментов по радиозатменному зондированию атмосферы (GPS/MET, CHAMP, COSMIC, EQARS и др.), в которых радиоприёмная аппаратура размещается на борту низкоорбитальных космических аппаратов. На основе получаемых данных удается восстанавливать вертикальные профили температуры и влажности воздуха примерно в диапазоне высот от 5 до 25 км с вертикальным разрешением около 500 м и горизонтальным около 200 км. Особенностью данного метода является возможность получать информацию над океанами, где количество данных измерений крайне невелико. Такие данные, несомненно, имеют большую ценность при ассимиляции в глобальные численные модели прогноза погоды, но крайне затруднительно их использование в региональных численных моделях прогноза погоды из-за значительного горизонтального осреднения измеряемых параметров и невозможности получения информации о состоянии атмосферы в пограничном слое.

Напротив, метод радиопросвечивания атмосферы, основанный на регистрации навигационных радиосигналов с помощью приёмных устройств, расположенных на земной поверхности, позволяет получать информацию о состоянии атмосферы с высоким горизонтальным разрешением по пространству и высоким разрешением по времени, что делает возможным использование данных в региональных численных моделях погоды.

Подобные модели позволяют осуществлять вычисление состояния атмосферы в пределах некоторого региона с более высоким качеством и разрешением по пространству и времени, по сравнению с глобальными моделями прогноза погоды. В настоящее время ведутся работы по ассимиляции данных GPS в Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), Финском метеорологическом институте (FMI), Национальном центре атмосферных исследований США (NCAR) и ряде других.

Ввиду увеличения количества космических аппаратов ГЛОНАСС и перспективами развертывания группировки в соответствии с ФЦП «Глобальная навигационная система», представляется актуальной разработка теоретиче-

ских и технических основ создания системы дистанционного мониторинга атмосферы не только сигналами системы GPS, но и ГЛОНАСС.

Разрабатываемая система предполагает наличие распределенных по пространству приёмных устройств ГЛОНАСС/GPS, осуществляющих сбор и передачу данных в режиме реального времени в единый центр обработки информации, где осуществляется вторичная обработка и ассимиляция данных в региональную численную модель прогноза погоды. В основу метода ассимиляции данных ГЛОНАСС/GPS положен принцип минимизации функции стоимости с использованием корреляционных свойств метеорологических полей и ошибок измерений. Выходной информацией являются региональные поля метеопараметров, полученные с учётом ГЛОНАСС/GPS-данных и используемые для численного прогноза погоды.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № П1549).

ВНЕДРЕНИЕ ИНДИКАТОРОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Л.А. Макриденко, И.Ю. Ильина

ФГУП «Научно-производственное предприятие — ВНИИ электромеханики им. А.Г. Иосифьяна» (ФГУП «НПП ВНИИЭМ»), Москва

Результаты дистанционного зондирования Земли, полученные с помощью средств космической техники, уже много лет эффективно используются государственными и коммерческими структурами во всем мире для прогноза погоды, картографии, природоресурсных задач и мониторинга чрезвычайных ситуаций.

Наша страна создала уникальный космический потенциал в виде космических метеорологических систем «Метеор» серии 1, 2 и действующего сегодня космического комплекса «Метеор-3М» (2009); серии природоресурсных КА «Ресурс-О», а также космического комплекса для мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В», планируемого к запуску в 2011 г.

Однако в течение длительного времени в силу субъективных причин практическому использованию результатов космической деятельности уделялось недостаточно внимания. Современный этап развития государства характеризуется высокими темпами экономического роста Российской Федерации, достигнутыми преимущественно благодаря топливно-энергетическому и сырьевому секторам. Однако национальные интересы России настоятельно требуют перехода на инновационный путь развития, основанный на умении практически использовать современные технологии и научные знания. Космическая деятельность является определяющей во многих важных сферах хозяйственной деятельности. Расширение масштабов практического использования результатов космической деятельности в условиях рыночных отношений требует объективной оценки их эффективности.

В данной работе предлагаются индикаторы эффективности космической деятельности, учитывающие затраты, сроки создания космической техники, её инновационность и эффективность использования. Предлагаемые индикаторы, позволяя на этапе проектирования и эксплуатации национальных космических систем осуществлять мониторинг их эффективности и соответствия требованиям потребителей их информации, а также получать

сведения о конкурентоспособности информационной продукции отечественных КС на мировом рынке материалов ДЗЗ.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Разработка предложений по уточнению карты проекта «Космическая деятельность России», определение и оценка индикаторов данного проекта в части подготовки исходных данных по КА ДЗЗ» (НИР «Карта-КД-ВНИИЭМ») по НИР «Магистраль-2».

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНОВ И АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С.А. Барталёв, Е.А. Лупян, А.А. Нестеренко, И.Ю. Савин
Институт космических исследований РАН, Москва

Спецификой сельскохозяйственного производства большинства стран мира является его сильная зависимость от климатических условий, которая приводит к значительной изменчивости производства сельскохозяйственной продукции от года к году. Подобная изменчивость оказывает сильное влияние на рынки сельскохозяйственной продукции, на объёмы импортно-экспортных операций, на цены, а также во многом предопределяет затраты на субсидирование сельского хозяйства и страхование. В связи с этим большое значение имеет независимая оценка объёмов производства сельскохозяйственной продукции и их заблаговременное прогнозирование, а также независимый контроль за информацией, поступающей от производителей, которая необходима для регулирования рынков сельскохозяйственной продукции и планирования её производства. Мировой опыт показывает, что при решении подобных вопросов наиболее эффективным средством (особенно на уровне отдельных регионов и стран) является использование технологий спутникового мониторинга.

Настоящий доклад посвящен обзору таких технологий созданных в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) которые могут быть использованы как для решения задач мониторинга регионов, так и отдельных хозяйств. Эти технологии позволяют, в частности:

- проводить ежегодные оценки площадей используемых пахотных земель;
- контролировать площади занятые отдельными культурами;
- проводить постоянный мониторинг состояния посевов;
- оценивать риски и последствия повреждения посевов засухой и весенними заморозками;
- заблаговременно прогнозировать урожайности отдельных сельскохозяйственных культур.

Отличительными чертами разработанных технологий является высокий уровень их автоматизации, что позволяет во многих случаях получать достаточно объективную информацию, не зависящую от квалификации специалистов осуществляющих обработку данных. Разработанные технологии прошли проверку и в настоящее время используются в Системе дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК).

В докладе представлены основные возможности технологий, созданных в ИКИ РАН и возможности их использования для решения конкретных

задач мониторинга земель на уровне регионов и крупных агропромышленных предприятий.

ВОЗМОЖНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ДИНАМИКЕ РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПРИБОРА MODIS

В.А. Толпин, Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Хвостиков
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: tolpin@d902.iki.rssi.ru

Задача исследования процессов развития растительности всегда являлась одной из актуальных. Особенный интерес представляет задача выявления аномалий в развитии растительности. Оперативное выявление аномалий, особенно отрицательных, очень важно как для сельского хозяйства, так и для лесного фонда. Задача выявления аномалий особенно усложняется для лесного фонда из-за больших площадей, удаленности и труднодоступности районов.

В докладе рассказывается о применении данных MODIS для выявления аномалий в динамике развития растительности на всей территории РФ и основных возможностях созданной для этих целей в ИКИ РАН информационной системы. Использование данных дистанционного зондирования позволяет решать эти задачи для больших площадей и различных типов растительности. Важное значение имеет длина архива спутниковых данных. В настоящее время оптимальными являются данные с прибора MODIS, которые имеют пространственно разрешение 250 м и временное покрытие порядка 10 лет.

В докладе описывается созданная в ИКИ РАН система мониторинга состояния растительности, которая обеспечивает сбор, обработку, архивацию и предоставление данных дистанционного зондирования и результатов их обработки для оперативного выявления аномалий в развитии растительности на всей территории России. В системе используются ежедневные данные MODIS, начиная с 2001 г. и по текущий момент, на основе которых строятся безоблачные композиты. Система имеет достаточно развитую систему интерфейсов работы с данными для различных типов растительности. Основной интерес представляют информационные формы, которые представлены в виде бюллетеней. Бюллетени формируются для каждого региона РФ на уровне районов. В них представлены результаты межгодового анализа и выявления аномалий в развитии растительности для разных типов растительности. Бюллетени формируются автоматически и могут быть построены для любого момента времени. Новые данные поступают в систему и обрабатываются автоматически и сразу становятся доступными для анализа и формирования новых бюллетеней. Оперативный контроль состояния особенно важен при появлении аномальных метеоусловий или стихийных бедствий, например пожаров, и выявлении последствий их воздействий на динамику развития растительности.

Доступ к веб-интерфейсам можно получить на информационном сервере системы (<http://maps.terrante.ru>). Следует отметить, что система постоянно развивается с целью обеспечить возможности для пользователей удобного и быстрого доступа к необходимой информации.

ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КРАТКОСРОЧНЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ РАДИОТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СИСТЕМЫ ОКЕАН – АТМОСФЕРА НА БАЗЕ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ “STREAM HANDLER”

Д.М. Ермаков^{1,2}, *А.П. Чернушич*¹, *Е.А. Шарков*², *Я.Н. Шрамков*²

¹ Фрязинский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

² Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: dima@ire.rssi.ru

Исследования, проводимые в ИКИ РАН, показывают, что для изучения процессов тропического циклогенеза необходимо строго систематическое (без информационных «лакун») глобальное покрытие Мирового океана микроволновыми радиотепловыми спутниковыми измерениями с временным разрешением не хуже 6 ч. Дистанционные измерения такого масштаба критически важны для исследования как начальных стадий формирования тропического циклона, при его резком развитии из неустойчивой фазы, так и сложных траекторных особенностей эволюции тропических циклонов.

Однако к настоящему времени, ввиду навигационно-баллистических проблем не существует единого комплекса спутниковых приборов, способных обеспечить подобные микроволновые радиотепловые глобальные измерения. Так, беспрецедентные по надежности и стабильности приборы SSM/I (миссия DMSP) обеспечивают глобальное покрытие Земли лишь за интервал в трое суток. Простое комбинирование данных нескольких приборов SSM/I, установленных на разные спутники серии DMSP, имеет свои недостатки, так как не компенсирует неоднородности данных, связанной, прежде всего, с разностью времени между пролетами разных приборов над близкими участками Земли, а также вариаций условий наблюдения.

Для преодоления этой трудности авторами предлагается своеобразная методика интерполяции имеющихся спутниковых данных. В первом, линейном приближении методика использует известный из смежной области (компьютерное зрение) формальный подход к пространственно-временной интерполяции последовательности изображений, характеризующих «кинематику» наблюдаемого процесса без учёта природы определяющих его явлений. Авторами исследована, в частности, адекватность этого приближения задаче восстановления и трассировки характерных ярких контрастов, соответствующих разным фазам зарождения и развития тропического циклона. Контроль качества интерполяции осуществлен с помощью созданной и поддерживаемой в ИКИ РАН базы данных по тропическим циклонам «Глобал-ТЦ», обеспечивающей глобальную многолетнюю информацию по фактически наблюдавшимся тропическим циклонам (и неразвившимся начальным фазам) с достаточным временным разрешением.

В докладе приведены примеры интерполяции спутниковых данных прибора SSM/I, образующие длительные непрерывные ряды, в сопоставлении с данными «Глобал-ТЦ» за те же периоды времени. Математическая обработка и совместный анализ данных выполнены на базе программной платформы Stream Handler израильской компании File X Ltd. с помощью специально разработанных авторами модулей пространственно-временной интерполяции.

Работа частично поддержана РФФИ (проект № 09-05-01019-а).

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АЛЬБЕДО СНЕЖНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ — АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Л.М. Кутаев, Т.Б. Туткова
Институт географии РАН, Москва

Основная задача исследования состоит в оценке пространственно-временных изменений альbedo зимнего периода в связи с изменениями снежного покрова. Анализируются данные наземных измерений высоты снежного покрова и альbedo, рассчитанное по спутниковой информации.

Исходные значения альbedo пересчитаны по данным прибора MODIS NASA с помощью модели MCD43 C3 версии 005 (находятся в свободном доступе). Для модельных расчётов использованы семь диапазонов с длиной волны от 0,47 до 1,24 мкм, точность полученных значений альbedo оценена с использованием данных небольшого количества независимых измерений, характерных по местоположению и периодам времени. Для анализа высоты снежного покрова и спутниковые значения альbedo интерполированы в узлы регулярной сетки $1 \times 1^\circ$ и осреднены для периодов 2000–2004 и 2005–2009 гг. на последнюю дату ноября, декабря, января и февраля. Исследуемая территория — Восточно-Европейская равнина.

Оценен характер пространственного распределения высоты снежного покрова и альbedo. Для всех месяцев обоих периодов выявлена тесная связь пространственного распределения показателей: коэффициент корреляции изменится в интервале 0,70–0,85. Это может говорить о существенной роли снеготазов в пространственном распределении альbedo. Вместе с тем не удалось обнаружить тесной связи между изменчивостью показателей по долготе и широте — для примера рассчитывались коэффициенты корреляции между значениями альbedo и высотой снежного покрова с шагом 1° по 45-му меридиану и 55-й параллели. На фоне увеличения высоты снежного покрова от декабря к февралю значения альbedo уменьшаются. В этом случае, по-видимому, сказывается изменение структуры снега (зернистости), шероховатости его поверхности и загрязнения. Проведена оценка влияния на изменения вегетационного индекса (NDVI, AVHRR NOAA) на распределение альbedo в зимних условиях — путем анализа множественной регрессии и типизация зависимостей альbedo, высоты снежного покрова и NDVI.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТА ГПБЗ «КЕРЖЕНСКИЙ» НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е.М. Семёнычева, Т.О. Ерискина, Н.А. Кащенко
ГОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
E-mail: semenicheva_elena@mail.ru

Ландшафт государственного природного биосферного заповедника «Керженский» является результатом совместного воздействия природы и человека.

Анализ исторических этапов эволюции ландшафта, где в настоящее время расположен Керженский заповедник, по Ю.А. Веденину выявил основные временные интервалы смены типов исторической деятельности и функций ландшафта, определившие специфические социокультурные

особенности его развития. Анализируемый ландшафт приобрел статус антропогенного с начала XX в. в связи с активной разработкой лесов и заселением территории. До XX в. элементы, присущие процессу формирования ландшафта, позволяли дать ему характеристику культурного. После того как ресурсы были истощены, лесосырьевая база свернута, а территория окончательно заброшена после пожаров 1972 г., изучаемый ландшафт приобрел характеристики акультурного антропогенного ландшафта.

С 1993 г. — года создания заповедника — в характеристиках изучаемого ландшафта преобладают элементы заповедного типа, по качеству антропогенного воздействия в процессе ландшафтоформирования вновь становится ведущим природный фактор, но данный процесс остается контролируемым сотрудниками заповедника. Таким образом для исследуемой территории свойственен культурный заповедный ландшафт. Большая часть земель заповедника занята объектами гидрографии, обуславливающими основные черты ландшафта. Русло и пойма р. Керженец — самые динамичные природные комплексы, представляющие особый интерес. По оси меандрирующего русла р. Керженец проходит западная граница заповедника.

Анализ методов мониторинга формирования ландшафта заповедной территории выявил ряд преимуществ использования данных дистанционного зондирования, оптимально учитывающих особенности характеристик заповедной территории. При анализе возможностей наблюдения процесса меандрирования р. Керженец рассчитан минимальный эффективный интервал проведения туров мониторинга по космическим снимкам с учётом величины размыва берегов и разрешения снимков. Например, при использовании снимков WorldView с разрешением 0,5 м/пиксел возможно проведение туров мониторинга 1 раз в год, а при использовании снимков LANDSAT с разрешением 15 м/пиксел — 1 раз в 30 лет. При этом если учесть ошибку однозначного определения положения контура береговой линии, возникающую в процессе цифрования, и принять её равной 1 пикселу, то временной интервал проведения туров мониторинга следует удвоить.

Для целей наблюдения процесса меандрирования р. Керженец выбраны космические снимки с разрешением 0,5–3,0 м/пиксел, чтобы обеспечить проведение туров мониторинга минимум 1 раз в 6 лет. При этом эффективно использовать материалы съёмки по годам с высоким уровнем половодья, характеризующимся максимальными размывами береговой линии. При оцифровке одиночных снимков имеет место ряд погрешностей. Поэтому для целей наблюдения процесса меандрирования русла р. Керженец предлагается создание серии трёхмерных моделей поймы реки и прилегающих территорий с наиболее сложным рельефом. В ходе работы создана трёхмерная модель части поймы р. Керженец и прилегающей территории (по состоянию на 2001 г.).

Рекомендуется создание моделей (с интервалом в 6 лет) на основе данных о рельефе местности, полученных путем совместного использования материалов лазерно-локационной и аэрофотосъёмки, что позволит исключить ошибки, возникающие при их раздельном использовании.

Мониторинг процесса размыва берегов осуществляется научными сотрудниками заповедника методами пробных стационарных площадок и маршрутного исследования русла реки. Использование серии трёхмерных моделей позволит повысить эффективность мониторинговых работ.

Для наблюдения процесса эволюции культурного ландшафта заповедника «Керженский» под воздействием социальных факторов целесообразно использовать космические снимки с разрешением 30 м/пиксел и более. По ним хорошо прослеживается процесс зарастания вырубок, гарей и неис-

пользуемой дорожно-тропиночной сети. Это позволяет выявить участки ландшафта, формирование которых обусловлено антропогенным воздействием.

ИНТЕГРАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И НАЗЕМНЫХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

В.А. Дубина, В.К. Фищенко, О.Г. Константинов, Л.М. Митник
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток
E-mail: dubina@poi.dvo.ru

Для эффективного контроля и управления ресурсами прибрежной зоны используются спутниковые данные высокого (10–100 м) и сверхвысокого (<2 м) пространственного разрешения. Порядок стоимости минимального по площади заказа (~10×10 км) спутниковой съёмки сверхвысокого разрешения составляет 100 тыс. р., а возможная периодичность зондирования не превышает сутки. Но для мониторинга быстроизменяющихся процессов в системе океан – атмосфера требуются высокочастотные или даже непрерывные наблюдения. В настоящее время неотъемлемой составляющей современных геоинформационных сервисов и ресурсов (геоинтерфейсов) стали фото- и видеоматериалы, полученные с поверхности Земли. Видеосъёмка морской поверхности позволяет обнаруживать и следить за плавсредствами, людьми, морскими млекопитающими; регистрировать и получать количественную информацию о нефтяном загрязнении, речном стоке, ледяном покрове, внутренних и ветровых волнах, мезомасштабных вихрях. Видеоданные могут представлять собой пространственно-ориентированные ракурсные «статичные» фотографии и панорамные изображения; изображения, трансформированные на поверхность Земли, а также для расчёта скорости и направления распространения маркеров на видеоизображении. Интеграция спутниковых измерений и наземного видеонаблюдения морской поверхности повышает надёжность алгоритмов интерпретации спутниковых данных, снижает стоимость спутниковой части системы мониторинга за счёт сокращения объёма спутниковых данных высокого разрешения и позволяет более полно анализировать пространственно-временную изменчивость мезомасштабных процессов. Плодотворность такого подхода демонстрируется на примере мониторинга залива Петра Великого Японского моря. К традиционным гидрометеорологическим измерениям в заливе в настоящее время добавились панорамные видеонаблюдения, которые осуществляются дистанционно управляемыми веб-камерами. Видеоинформация о состоянии поверхности прибрежных вод в реальном режиме времени, благодаря существующей телекоммуникационной инфраструктуре (беспроводной Интернет), поступает в океанологическую информационно-аналитическую систему. На основе спутниковых и наземных дистанционных и контактных измерений проводится комплексный анализ процессов, оказывающих существенное влияние на прибрежные экосистемы.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ
И РИСКА ЗАСУХИ ПО СПУТНИКОВЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ***Ю.А. Грипич, А.Н. Кравченко, Н.Н. Куссуль*

Институт космических исследований НАНУ и НКАУ, Киев, Украина

E-mail: inform@ikd.kiev.ua

Важным этапом прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур является оценка посевных территорий. Для получения объективной информации о засеянных сельскохозяйственных культурах целесообразно использовать спутниковые данные как источник объективной информации. Однако для обеспечения точности полученных результатов требуется их наземное подтверждение и использование модели регрессии.

Широкие возможности классификации предоставляют нейросетевые технологии, с помощью которых можно не только строить дискриминантные классификаторы, но и оценивать статистическую погрешность классификации. В докладе исследованы возможности применения различных нейросетевых архитектур для решения задач классификации посевов. Результаты классификации подтверждены наземными измерениями, полученными на статистически обоснованной сети сегментов и при маршрутных обследованиях по трем областям Украины: Киевской, Хмельницкой и Житомирской.

Проанализированы возможности обобщения полигонных исследований на новые территории, данные которых не использовались при настройке классификатора.

Предложена методология оценки рисков засухи на основе совместного использования данных из разных источников.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОРОНОК ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА, СОЧЕТАНИЕ
ДИСТАНЦИОННЫХ И ЭКСПЕДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ***В.А. Алексеев, Н.Г. Алексеева, С.Ю. Желтов, В.В. Копейкин, Л.Г. Пелехань,
В.А. Рукавичников, Э.Я. Фальков, В.А. Чечин*

ГНЦ РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ)

E-mail: ANITU@mail.ru

На космических снимках высокого разрешения видны два резких «хвоста», тянувшихся наружу от задней границы области, и выступ на её передней границе. Ещё 4–5 слабо выраженных фрагментов «хвостов»-лучей отходило от боковой поверхности. Эта конфигурация может свидетельствовать, что космическое тело в период, непосредственно предшествующий катастрофе, двигалось в атмосфере со сверхзвуковой скоростью и, благодаря трению, было окружено оболочкой горячей плазмы. Передний выступ мы объясняем действием мощной кумуляционной струи. Более слабые струи такого рода могут формировать лучистую структуру вывала леса.

Крупномасштабная стереоаэрофотосъёмка района Тунгусской катастрофы (ТК) с последующим применением трёхмерных моделей позволила выделить возможные места падения крупных фрагментов Тунгусского космического тела (ТКТ). Некоторые из этих мест были выделены ещё Л.А. Куликом, который построил схемы вывала деревьев, вокруг Клюквенной воронки, на Южном болоте, чтобы выяснить, где могли находиться осколки метеорита. Мы сравнили картину вывала и распределения

воронки Тунгусского метеорита и распределение воронок на Сихотэ-Алине. Распределение воронок и осколков в воронках на Сихотэ-Алине не случайны, а подчинены строгим закономерностям.

Структура разрушений, произведенных ТКТ на месте падения, если проанализировать её с позиции современной инженерной физики, позволяет получить качественно новую информацию о катастрофе 1908 г. Воздушный взрыв ТКТ образовал вывал деревьев на площади 2150 км². Конфигурация отраженной сверхзвуковой ударной волны могла иметь форму шляпы. Такую форму образуют сверхзвуковые радиальные струи после удара потока газов (Ag) со звуковой скоростью в круглую металлическую поверхность. Распределение плотности потока газов имеет форму шляпы.

Тунгусское тело летело со сверхзвуковой скоростью. При взрыве образовалась сверхзвуковая ударная волна. Отражаясь от земли, она валила деревья, отсекала верхушки и опаляла их. Данные, полученные КСЭ, показали, что вокруг стоячих обтесанных деревьев образовалось кольцо из лежащих деформированных деревьев с вертикальными трещинами и обожженной корой, обращенными в сторону Северного и Южного болота. Определены направления трещин и ожогов деревьев.

В 4 км от изб Кулика было найдено дерево с трещиной, где были обнаружены круглые частицы и следы их траекторий в смоле. Дерево раскололось сверху донизу на фазе разряжения ударной волны.

В экспедициях 2009–2010 гг. проведены исследования воронок Тунгусского метеорита. Изучены структуры воронок с помощью георадара «Лоза», просвечивающего землю до глубины 40 м. Воронки, выбранные как импактные, сохранили свою форму благодаря вечной мерзлоте, имеют форму конуса, пересекающего болото до глубины примерно 40 м. В структуре воронок просматриваются: 1) верхние слои современной вечной мерзлоты; 2) нижележащие разрушенные слои и 3) предполагаемые фрагменты разрушенного космического тела, которые необходимо исследовать с помощью бурения.

Было найдено и обследовано более 50 воронок. Их выделили визуально по аномальной морфологии болот, торфяных валов и воронок среди леса. Для изучения воронок через их центр прокладывались доски, измерения георадаром проводились с шагом 10 см в крест север-юг, запад-восток. На семи воронках проведено бурение, отобраны образцы слоев болотных отложений, содержащих твердые включения, которые анализируются.

КАЛИБРОВКА И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ЗАТОПЛЕНИЯ РЕЧНЫХ ДОЛИН НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

И.Н. Крыленко

МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: krylenko_i@mail.ru

Основой для моделирования затопления территории при наводнениях на реках являются одномерные и двумерные модели движения водных потоков, в основу которых положено решение уравнений Сен-Венана в одномерной и двумерной схематизации соответственно. В качестве исходных данных для рассматриваемых моделей необходима детальная информация о рельефе русел и пойм. Для одномерной модели она представляется в виде поперечных профилей через долину реки, для двумерной — в виде поля точек. При моделировании во входных створах задаются расходы воды, в замыкающем створе — уровни воды. Результатами расчётов по одномерной

модели являются ход уровней водной поверхности и расход воды по времени в пределах расчётного участка. Двумерные модели дают более детальную картину затопления — плановую картину распределения скоростей течения, уровней и глубин воды в пределах расчётной области.

Обычно калибровка моделей движения водных потоков выполняется путем подбора коэффициентов шероховатости русел и пойм на основе данных об уровнях воды, а для двумерных моделей также об измеренных скоростях течения. Верификация — проверка модели на независимом материале — проводится также на основе сопоставления расчётных и фактических данных об уровнях воды и скоростях течения, не использовавшихся при калибровке.

Автором разработан и используется дополнительный способ калибровки и верификации гидродинамических моделей — по данным о границах затопления с космических снимков. При наличии космических снимков среднего и высокого разрешения (выше 30 м) и входной гидрологической информации для модели за те же даты появляется возможность сопоставить расчётные и реально наблюдавшиеся (полученные с космических снимков) границы затопления территории. По результатам сопоставления проводится оценка того, насколько близка полученная по модели картина затопления к реальной, и, при необходимости, уточняются высотные отметки и границы отдельных проток и участков пойм, информации о которых недостаточно на топографических картах.

При верификации двумерных моделей затопления речных долин в узле слияния рек Сухоны и Юга (Великий Устюг) и поймы р. Оби у г. Колпашево, разработанных на основе программного комплекса River (авт. Беликов В. В. и др.), было выявлено, что при высоких уровнях воды совпадение рассчитанных по модели и полученных с космических снимков площадей затопления очень хорошее — погрешность около 10 %. При более низких уровнях воды на снимках четко прослеживается сложный гривистый рельеф поймы, информации о котором нет даже на крупномасштабных топографических картах, поэтому модель завышает площади затопленных участков там, где над водой выступают узкие гривы, не отраженные в картографической информации, при этом хорошо отражает общие контуры затопления.

Для определения границ затопления при использовании одномерной модели MIKE11 для Горьковского и Чебоксарского водохранилищ р. Волги проводилось сопоставление смоделированных отметок водной поверхности и фактических отметок дна, уровни воды на каждом расчётном профиле принимались постоянными, а между профилями определялись путем интерполяции. Сравнение рассчитанных по модели и фактических границ затопления показало, что даже в рамках одномерного гидродинамического моделирования для протяженных участков реки, при наличии информации о рельефе речных долин, возможно получить близкую к реальной картину затопления. Различие рассчитанных по модели и полученных по космическим снимкам площадей затопления составляет 5–11 %.

Приведённый опыт использования космических снимков показывает, что они могут служить мощным дополнительным инструментом при моделировании затопления территории, позволяющем повысить надежность расчётов по гидродинамической модели.

Исследование выполнено по гранту Президента РФ для поддержки молодых ученых МК-7722.2010.5

МЕТОД ОЦЕНКИ ОБЪЁМОВ СЖИГАНИЯ ПОПУТНОГО ГАЗА ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ НОЧНЫХ ОГНЕЙ

*А.И. Годунов*¹, *М.Н. Жижин*²

¹ РГУ нефти и газа им И.М. Губкина, Москва

² Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: jjn@wdcb.ru

В работе предложен новый метод оценки объёмов сжигаемого попутного газа по данным дистанционного зондирования Земли со спутников DMSP. Исходной являлась база данных статистики ночных огней с 1992 по 2009 г., полученная с помощью осреднения за год изображений безоблачной части Земли в ночное время. В результате такого осреднения изображения газовых факелов имеют форму ярких округлых пятен. В работе предложен алгоритм автоматического распознавания факелов на изображениях. Минимизируя невязку, определяющую расхождение между световыми пятнами от факелов и моделью горения, можно оценить различные параметры факела, такие как его яркость, площадь, продолжительность горения, и тем самым косвенно объём сжигаемого газа. Результаты анализа визуализируются совместно с исходными данными на платформе “Google Maps”, при этом результаты детектирования обозначаются значками, выбирая которые, можно проследить историю горения факела и оценить объём сожжённого попутного газа.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ АГРОТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА И ЕГО ИЗМЕНЕНИЙ В ПЕРИОД 2000–2009 гг. ПО ДАННЫМ MODIS

А.Г. Терехов

Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики
Казахстан, Алматы

E-mail: aterekhov1@yandex.ru

Яровые зерновые культуры Северного Казахстана (пшеница и ячмень) являются главной экспортной культурой и основой растениеводства Республики. Государство вкладывает значительные финансовые ресурсы в развитие сельского хозяйства. В связи с этим, оценки агротехнического уровня возделывания культуры и его долговременные изменения представляют значительный интерес для мониторинга экономического развития сельских территорий. Костанайская область является крупнейшим производителем зерна в Северном Казахстане. Около 5 млн га пахотных земель области используются для выращивания яровых зерновых культур. Крупные и компактные группы полей со средним размером около 400 га, расположенные в степном ландшафте, создают хорошие предпосылки для использования ДДЗ. Спутниковые данные MODIS периода 2000–2009 гг., в виде продукта MOD09Q1 — восьмидневного композита коэффициентов отражения 1,2 канала с разрешением 250 м, использовались для дешифрирования основных классов землепользования и мониторинга развития растительности в течение вегетационного сезона с помощью индекса NDVI.

Для оценки агротехнического уровня выращивания зерновых культур привлекалась линейно-регрессионная модель, состоящая из комбинации двух компонентов: базовой зависимости и тренда её изменения. Эмпирические коэффициенты, отвечающие за базовую зависимость (K1), и тренд изменений (K2) подбирались таким образом, чтобы максимали-

зировать величину R_2 в линейной регрессии [районная продуктивность — NDVI(сезонный максимум)].

Параметр (K_1) характеризовал уровень эффективности агротехники, под которым понималось отношение между урожайностью зерновых культур и сезонным максимумом вегетационного индекса, т. е. чем выше урожайность зерновых и ниже величина NDVI на фазу цветения, тем лучше агротехника. Высокий уровень NDVI и низкая урожайность указывали на низкую эффективность сельскохозяйственного производства. Изменение агротехнического уровня описывалось коэффициентом (K_2), положительные значения которого говорили об улучшении агротехники, отрицательные — об её ухудшении, нуль — стабильность условий.

На примере 16 районов Костанайской области были проанализированы официальные данные по урожайности зерновых культур в период 2000—2009 гг. и соответствующие величины вегетационных индексов для посевов на фазу колошения — цветения (вторая половина июля). Введение дополнительного компонента, ответственного за временной тренд изменений, заметно повысило величины R_2 в зависимости урожайности от сезонного максимума NDVI, в среднем для области, от 0,43 до 0,66. Но для отдельных районов улучшение было более существенным, например для Мендыкаринского района: от 0,11 до 0,82; для Сарыкольского: от 0,23 до 0,85; для Тарановского: от 0,29 до 0,77. Спутниковые оценки состояния агротехники в период 2000—2009 гг. в районах Костанайской области характеризовались величинами (K_1) в диапазоне 15—22 (для области в целом 17,7). Во всех районах регистрировалось улучшение уровня агротехники, величины (K_2) от 0,005 до 0,19 (для области 0,07).

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ

*Н.Н. Куссуль*¹, *С.Л. Янчевский*²

¹ Институт космических исследований НАНУ и НКАУ, Киев, Украина

² Киевский оперативный центр НЦУИКС НКАУ

E-mail: inform@ikd.kiev.ua

Темпы увеличения количества новой информации на сегодня составляют до 60 % в год. Украинский перспективный КА ДЗЗ МС-2-8 космической системы «Сичь-2» будет иметь производительность от 53 100 до 214 500 км² в сутки. Приблизительный информационный объём стандартной отснятой полосы, которая может сниматься КА МС-2-8, составляет до 1,3 Гбайт, т. е. при полноценной работе аппарата за 3 года гарантированной трудоспособности будет отснято больше 28 Тбайт информации, а за 5 лет — свыше 46,8 Тбайт. Таким образом, с математической точки зрения задача структурирования и обработки в реальном времени получаемых массивов данных является задачей трансвычислительной сложности [Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. Киев: Наукова думка, 2005. 744 с], а значит, нуждается в использовании методологии системного анализа. Для оптимизации плана съёмки необходимо учитывать интересы всех профильных ведомств, которые могут не только не совпадать, но и противоречить друг другу. Поэтому задача оптимизации распределения информационного ресурса сводится к задаче многокритериальной оптимизации и поиска схемы компромиссов.

В докладе будут приведены: методология распределения информационного ресурса систем ДЗЗ под потребности органов государственного

управления ещё на этапе создания системы, математическая постановка задачи и формальный аппарат многокритериальной оптимизации распределения информационных ресурсов космических аппаратов, альтернативные подходы к организации более рационального долгосрочного планирования для оптимизации использования информационного ресурса космических систем ДЗЗ.

С помощью таких подходов можно будет обеспечить реальные потребности министерств и ведомств Украины в информации ДЗЗ, выработать механизм распределения приоритетов и сформировать согласованные заявки в зависимости от нужд и задач государственных и коммерческих учреждений, а также более рационально и эффективно использовать бортовой ресурс национальных систем ДЗЗ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА ДЛЯ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

М.В. Александрович

Институт водных проблем РАН, Москва

E-mail: m-indigo@yandex.ru

Разработана методика построения полей характеристик снежного покрова для крупных территорий, основанная на совместном использовании физико-математической модели формирования снежного покрова и снеготаяния, спутниковых данных и материалов наземных наблюдений. Исследования выполнялись для находящейся в лесостепной зоне и включающей часть бассейна р. Дон территории площадью около 330 тыс. км². Особенности рельефа и залесенность территории определялись по данным измерений радиометра AVHRR/NOAA. Суточные значения запасов воды в снежном покрове, использованные для задания начальных условий при расчётах по упомянутой модели, были получены по данным радиометра AMSR-E/Aqua. Суточные карты покрытости территории снегом, использованные для оценки точности расчётов по модели, были составлены по результатам обработки данных измерений радиометра MODIS/Terra. Для задания входной метеорологической информации в модели формирования снежного покрова и снеготаяния использовались наземные срочные шестичасовые (2002–2004) и трёхчасовые (2008–2009) данные измерений на 42 метеостанциях, расположенных на исследуемой территории. Калибровка параметров модели производилась по данным измерений высоты снежного покрова на этих метеостанциях.

При моделировании пространственного распределения характеристик снежного покрова исследуемая территория покрывалась расчётной сеткой с ячейками 1×1 км. Для задания входной метеорологической информации в узлах расчётной сетки были усовершенствованы стандартные алгоритмы интерполяции данных измерений на имеющейся сети метеостанций с учётом спутниковых данных об облачности. С помощью разработанной методики произведены расчёты покрытости территории снегом, запасов воды в снежном покрове, высоты и плотности снежного покрова в их динамике за сезоны весеннего снеготаяния 2002–2004 гг. и 2008–2009 гг. Исследованы возможности различных критериев оценки точности расчётных пространственных полей характеристик снежного покрова с использованием спутниковых данных о покрытости территории снегом. Показано, что с помощью

предложенной методики удалось с удовлетворительной точностью воспроизвести динамику полей снежного покрова на исследуемой территории.

МОНИТОРИНГ ВЫГОРЕВШИХ ТЕРРИТОРИЙ В СУХОСТЕПНЫХ И ПОЛУПУСТЫННЫХ ЗОНАХ ЕВРАЗИИ ПО ДАННЫМ MODIS И LANDSAT

А.Г. Терехов, И.С. Витковская, М.Ж. Батырбаева

Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики

Казахстан, Алматы

E-mail: aterekhov1@yandex.ru

Степные пожары — типичное явление для травяных покровов. В зависимости от степени увлажнения вегетационного сезона, наличия и продолжительности сухого периода частота выгорания территории может сильно варьироваться, от нескольких раз в год до одного раза в течение нескольких десятилетий и реже. Сухостепные и полупустынные зоны обычно продуцируют относительно небольшое количество растительной биомассы, что препятствует возникновению и распространению огня, несмотря на высокие температуры воздуха и малое количество осадков. Растительный покров сухих территорий представлен двумя основными группами конкурирующих растительных форм: травами и кустарничками (низкорослые древесные виды). Кустарнички более устойчивы к недостатку увлажнения, но им требуется длительный период (от 3–4 лет и более) для заселения территории. Травы исключительно быстро и легко распространяются, но требуется больше влаги (особенно поверхностной) для роста и полноценного развития. Рассматривая в широтном направлении баланс между травяными и древесными формами растительности Евразии, можно отметить, что древесные формы растительности широко распространены на севере (бореальные леса). В центрально-азиатских полупустынях древесные виды представлены кустарничковыми сообществами. Между этими зонами расположены степи. Фактором, регулирующим границы полного доминирования трав, очевидно, является частота и интенсивность пожаров. Высокая частота выгорания дает решающее преимущество травяным формам растительности.

Особенностью сухостепных и полупустынных пожаров является значительное и многолетнее изменение спектральных характеристик выгоревших территорий, связанное с временным нарушением баланса между древесными и травяными формами растительности. Выгорание кустарничковой растительности и сопутствующих ему элементов (опада, подстилки и пр.) существенно изменяет систему проективного покрытия почвы растительным материалом. Долговременные изменения архитектоники растительного покрова и объёма растительных остатков на почве выявляют гари, а характерные геометрические формы пожарищ позволяют проводить экспертное картирование выгоревших территорий в этой зоне на основе однократного покрытия спутниковыми данными в осенний период.

Мониторинг степных пожаров сухостепной и полупустынной зоны Евразии представляет особый интерес как индикатор долговременных погодных тенденций — режимов увлажнения сухих территорий. Выделение территорий, подверженных сухостепным и полупустынным пожарам, проводилось по данным Google-Earth. Продукт MOD09Q1 (коэффициенты отражения в двух каналах: 620–670 и 841–876 нм, с разрешением 250 м) в период 2000–2009 гг. использовался для экспертного дешифрирования и картирования выгоревших территорий сухостепной зоны Казахстана и России. Время полного восстановления спектральных характеристик рас-

тительного покрова после выгорания оценивалось по историческим данным LANDSAT (1984–2007).

Таким образом, сухостепные и полупустынные зоны Евразии, подверженные пожарам, в основном сконцентрированы в центральной части Казахстана и на юге России (Калмыкия, Астраханская область). Незначительные по площади пожары также наблюдаются на востоке Монголии. На остальной территории Евразии регулярные пожары этого типа не зарегистрированы.

Период полного восстановления кустарничковой растительности сухих степей и полупустынь после выгорания для центральной части Казахстана составляет 15–20 лет. В течение последних 10 лет погодные условия сухостепной и полупустынной зоны Казахстана и России способствовали высокой активности степных пожаров, что привело к деградации кустарничковой полупустынной растительности и оstepнению примерно 30 млн га. Длительный период восстановления баланса растительных форм, фиксируемый по спутниковым снимкам, позволяет регистрировать старые следы пожаров и соответственно, давать оценки интенсивности пожаров в течение времени, не превышающего период спутникового мониторинга. Можно отметить, что пожарная активность последних 10 лет по своей интенсивности не имела аналога в течение последних 50 лет.

МОНИТОРИНГ ПОДТОПЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ АВИАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АКДЗ-30

В.Н. Цымбал¹, С.Е. Яцевич², Д.М. Бычков¹, А.Я. Матвеев¹, А.В. Кабанов¹

¹ Центр радиофизического зондирования Земли им. А.И. Калмыкова НАНУ и НКАН, Харьков, Украина

² Институт радиофизики и электроники НАНУ, Харьков, Украина
E-mail: sey@ire.kharkov.ua

Анализируются теоретические подходы и результаты комплексного мониторинга проявлений подтоплений территорий радиолокатором бокового обзора 8-мм диапазона, аэрофотоаппаратом и сканером ИК-диапазона авиационного комплекса дистанционного зондирования АКДЗ-30, проведенного в дневное и ночное время в различные сезоны. Исследуемый тестовый район характеризуется наличием разнообразных проявлений подтоплений грунта и заболоченности, развивающихся из-за плохого состояния ирригационной системы (хорошо видны на дистанционных изображениях во всех диапазонах).

Проведенное исследование проявлений поверхностной воды и подтоплений почвы с помощью авиационного дистанционного зондирования и наземной калибровки убедительно подтвердило эффективность использования для этого комбинации радиолокационно-инфракрасного дистанционного зондирования. При этом радиолокационные средства позволяют независимо от условий освещенности, облачности и тому подобное обнаруживать и картографировать распространение воды на поверхности суши (например, в результате наводнения), решая задачу оперативного мониторинга паводковых процессов. Инфракрасные данные дистанционного зондирования при условиях проведения дневной и ночной съемки тех же территорий позволяют обнаружить и картографировать проявления как поверхностной воды, так и подповерхностного увлажнения (подтоплений) почв. Тепловые контрасты изображений зон подтоплений на ИК-изображениях достигают 4–50 °С относительно неувлажненных участков, что

позволяет с высокой надежностью их отличать от других образований. С помощью радиолокационной информации РБО (8-мм диапазона радиоволн, которые достаточно чувствительны к полевой растительности) возможно нормировать ИК-изображение зон подтоплений, уменьшая при этом маскирующее влияние поверхностной растительности, что значительно повышает достоверность получаемых данных.

Результаты проведенного наземного тестирования подтверждают информацию об участках подтоплений, которые были обнаружены при дистанционном авиационном зондировании.

Таким образом, результаты работы убедительно показали эффективность методики сезонного комбинированного оптико-радиолокационно-инфракрасного дистанционного зондирования паводковых явлений и подтоплений, а также необходимость проведения последующих исследований, направленных не только на отработку методов качественного выявления подтоплений, но и на создание и отработку методов количественного анализа, т. е. оценивание степени поверхностной и подповерхностной увлажненности почв на больших площадях, что чрезвычайно важно для прогнозирования состояния озимых посевов и предупреждения критических ситуаций и катастроф (что вызвано наводнениями и подтоплениями).

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В КАЗАХСТАНЕ

О.П. Архипкин, Л.Ф. Спивак, Г.Н. Сагатдинова

Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики

Казахстан, Алматы

E-mail: mkmikiz@rambler.ru

Текущий год для многих регионов Казахстана был напряженным или по паводкам, или по пожарам, или по тому, и по другому. Что касается паводков, то в последние годы для основных регионов Казахстана, кроме среднего течения Сырдарьи, отмечались в целом слабые паводки. Наблюдавшиеся в этот период затопления населенных пунктов были вызваны не прохождением паводковых вод, а аномальными для этого периода ливневыми дождями, которые выпадали на замерзшую землю. Обилие осадков в зимний период и особенности хода процесса снеготаяния привели к тому, что в 2010 г. паводки представляли серьезную проблему для большинства речных регионов. Особенно остро ситуация складывалась в Восточно-Казахстанской области, где были существенные затопления населенных пунктов, и в Алматинской области, где из-за прорыва плотины были человеческие жертвы.

Для дистанционного контроля ситуации ИКИ осуществлял оперативный и обзорный космический мониторинг паводков. Результаты оперативного мониторинга отражали текущее состояние, получаемое в результате оперативной обработки ежедневных космических снимков, и включали информацию о территориях, свободных от снежного покрова, покрытых облачным покровом, снежным покровом, чистой водной поверхностью, покрытой льдом водной поверхностью. Для снежного и ледяного покровов выделялись зоны активного таяния с поверхностной температурой выше нуля, а для водных поверхностей — зоны затопления. Эта информация оперативно передавалась областным и районным органам управления и чрезвычайных ситуаций, а также в созданные на период прохождения паводков кризисные центры.

Обзорный мониторинг характеризуется развитием паводковой ситуации в течение какого-либо временного периода. Декадные карты зон затопления строятся в ГИС-среде на основе ежедневных данных о зонах затопления, получаемых в процессе оперативного мониторинга. Они представляют собой суммарные зоны затопления за декадный период прохождения паводков и наводнений на исследуемой территории. На основе декадных данных аналогичным образом формируются месячные карты зон затопления, а на их основе — сезонные (сводные). Сводные карты представлены как для региона в целом, так и для отдельных районов с наибольшей долей затопленных территорий. Все сформированные обзорные карты и диаграммы передавались в кризисный центр МЧС Республики Казахстан.

Интенсивность пожаров в 2010 г. была также значительно выше по сравнению с 2009 г., и для большинства регионов максимальной за последние четыре года. Зона наибольшей интенсивности пожаров представляла собой дугу, протянувшуюся от северо-западной до северо-восточной границы с Россией. Она включала: Западно-Казахстанскую, Актюбинскую, южную часть Кустанайской, Акмолинскую, северную часть Карагандинской, юго-восточную часть Северо-Казахстанской и Павлодарскую области. При этом следует отметить, что в Восточно-Казахстанской области второй год подряд интенсивность пожаров очень низкая, близкая к нулю.

Как и для паводков, ИКИ осуществлял оперативный и обзорный космический мониторинг пожаров.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ОПЕРАТИВНОГО КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

М.А. Элердова

«Совзонд», Москва

E-mail: sovzond@sovzond.ru

Космический мониторинг заключается в непрерывном многократном получении информации о качественных и количественных характеристиках природных и антропогенных объектов и процессов с точной географической привязкой за счёт обработки данных, получаемых со спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Космический мониторинг позволяет получать однородную и сравнимую по качеству информацию одновременно для обширных территорий, что практически не достижимо при любых наземных обследованиях.

Исходя из этого определения, можно выделить ряд принципиальных требований к космическому мониторингу:

- возможность наблюдения за большими площадями и протяженными объектами;
- высокое пространственное разрешение (до 50 см) и точность, в том числе без наземных точек привязки;
- высокая периодичность съёмки, оперативность получения исходных и обработанных данных ДЗЗ;
- возможность построения цифровых моделей рельефа (ЦМР) и местности (ЦММ) по стереосъёмке с космических аппаратов (КА) ДЗЗ;
- возможность выполнения съёмки в большом количестве спектральных каналов;
- возможность использования материалов космического мониторинга напрямую во всех стандартных ГИС.

Есть разные варианты получения данных ДЗЗ при осуществлении космического мониторинга. Среди них наибольшее распространение получили два подхода: заказ через дистрибьютора необходимых данных ДЗЗ у оператора КА и установка собственной станции приёма, получение лицензии и приём данных ДЗЗ непосредственно с КА. Заказ необходимых данных ДЗЗ через дистрибьютора — наиболее распространенный способ получения необходимой информации для космического мониторинга. Установка собственных станций приёма и получение данных непосредственно с космических аппаратов, на первый взгляд, кажутся наиболее эффективными, однако анализ преимуществ и недостатков говорит об обратном.

Станции приёма позволяют принимать данные ДЗЗ только с некоторых спутников (в основном, среднего и низкого разрешения), поэтому их применение эффективно для организаций (компаний), решающих, например, мониторинговые задачи с применением радарных данных или работающих с метеоданными ДЗЗ. Для пользователей, которым космические снимки нужны в качестве средства для решения практических задач, таких, например, как экологический и сельскохозяйственный мониторинг, крупномасштабное картографирование и многие другие, собственные станции приёма вряд ли могут быть полезны, а затраты на их приобретение представляются чрезмерными.

В мире персональные станции были актуальны 10–12 лет назад, когда не было нынешних технологий скоростной передачи данных, бортовые запоминающие устройства (ЗУ) имели ограниченный объём, что предполагало регулярный сброс накопленных данных на наземный сегмент во избежание переполнения ЗУ и потери части данных.

В настоящее время ведущие мировые операторы работают по совершенно другим схемам: данные с современных КА сбрасываются на одну-две станции оператора и доводятся до потребителя посредством высокоскоростных каналов связи с использованием сетевых технологий. Сейчас на персональные станции можно принимать, как правило, данные с морально (да и физически) устаревших КА. Данные с самых современных КА ДЗЗ (WorldView-1,2, GeoEye-1, RapidEye, ALOS, TerraSAR-X и др.) на персональные станции приёма не передаются, а операторы этих спутников не предусматривают такой возможности и в будущем. Во всем мире государственные организации и агентства (а они, как правило, и являются главными пользователями станций приёма) отказываются от использования персональных станций приёма, и переходят к заказу съёмки операторам КА ДЗЗ и получению данных непосредственно от них (или через дистрибьюторов).

Бурное революционное развитие отрасли ДЗЗ привело к тому, что оба традиционных подхода уже не могут обеспечить современный уровень задач космического мониторинга. Всё это требует пересмотра традиционных подходов к космическому мониторингу. Новый подход, предлагаемый компанией «Совзонд», предполагает активное использование виртуальных инструментов получения данных. В этом случае традиционные дистрибьюторы (поставщики данных ДЗЗ) уступают место системным интеграторам.

При использовании нового подхода заказчику обеспечивается возможность доступа к данным ДЗЗ посредством геопорталов и геосерверов. Отметим главные предпосылки, дающие преимущество станциям прямого доступа:

- появление широкополосных каналов передачи данных (увеличение скоростей, объёмов, устойчивости, качества передачи данных, снижение стоимости);

- появление КА новейшего поколения (сверхвысокого разрешения, высокого разрешения картографического назначения, высокого разрешения природоресурсного мониторингового назначения, радарных сверхвысокого разрешения);
- развертывание на орбите отечественной навигационной системы ГЛОНАСС;
- появление технологий высокопроизводительной потоковой обработки данных ДЗЗ, в том числе большого числа спектральных каналов и стереосъемки даже без наземных опорных точек;
- появление новейших систем визуализации геопространственной информации и поддержки принятия решений.

Новый подход получения данных ДЗЗ (виртуальный приём, минуя дистрибьютора) делает космический мониторинг особенно перспективным в качестве информационно-аналитической основы ситуационных центров различного уровня. Космический мониторинг обеспечит наблюдение за теми или иными видами природных ресурсов, промышленными, транспортными объектами. Виртуальный приём — главная гарантия оперативного получения пространственной информации в ситуациях требующих принятия безотлагательных решений: экологические проблемы, чрезвычайные ситуации.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ МЕТОДОМ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

А.В. Филатов, А.В. Евтюшкин

Югорский НИИ информационных технологий, Ханты-Мансийск
E-mail: fav@uriiit.ru

Разработка запасов нефти и газа на территории Западной Сибири ведется в зоне сплошной или очаговой вечной мерзлоты, торфяных болот, промерзающих полностью зимой мелководных озёр, термокарстовых провинциях, районах развития овражной эрозии в результате техногенного нарушения почвенного покрова. Негативные геодинамические процессы вызывают разрывы труб на различных глубинах в скважинах на действующих нефтегазовых месторождениях, наземных внутрипромысловых и магистральных трубопроводах. Спутниковая радиолокационная интерферометрия является единственным методом дистанционного зондирования, обеспечивающим высокую точность определения высот и смещений за счёт использования фазовой компоненты сигнала.

В работе использованы 39 сцен, снятых радиолокатором ALOS/PALSAR за 2007–2010 гг. Снимки покрывают территорию Самотлора и прилегающих лицензионных участков, что позволяет оценить влияние разработки соседних месторождений на формирование мульды оседания.

В докладе представлены результаты интерферометрической обработки спутниковых радиолокационных измерений, выполненной в программном пакете SARscape. Использован метод площадной интерферометрии с анализом отдельных точек интерферограммы с высокой когерентностью, а также обработка многопроходной радарной съёмки с повторных орбит. Технология обработки многопроходной радарной съёмки позволяет достичь высокой точности при измерении вертикальных смещений отдельных техногенных объектов.

В результате интерферометрической обработки построены цифровая модель местности и карты смещений, отражающие подвижки земной по-

верхности Самотлорского месторождения и прилегающих территорий за 2007–2010 гг. Выполненная экспериментальная работа по использованию материалов радарной съёмки указывает, что данный вид дистанционного зондирования может быть использован в комплексе проведения геодинамического мониторинга территорий эксплуатируемых месторождений при наличии повышенных точностных характеристик съёмки.

Работы проводятся при поддержке проекта 07/JAXA/ASP No. 0704001.

ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ КОЛОНИЙ БОЛЬШОЙ ПЕСЧАНКИ (*RHOMVOMYS OPIMUS*) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ОЧАГАХ ЧУМЫ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

*В.М. Дубянский*¹, *Л.А. Бурделов*²

¹ ФГУЗ «Ставропольский противочумный институт»

² Казахский НЦ карантинных и зоонозных инфекций им. М. Айкимбаева, Алматы

E-mail: dvmplague@rambler.ru

Знание режима использования нор-колоний большой песчанкой имеет большое значение при изучении эпизоотологии чумы в пустынях Казахстана. До сих пор для подобных наблюдений использовали долговременные стационарные площадки. Однако метод наземного учёта трудоёмок, а стационары могут разрушаться в результате природных и техногенных воздействий. Известно, что колонии больших песчанок хорошо различимы на космических снимках высокого разрешения. Мы использовали доступный в сервисе Google Earth архив снимков за 2002, 2005 и 2006 гг. для наблюдения за состоянием колоний больших песчанок в Приаральско-Каракумском очаге чумы. Всего на снимках было зафиксировано положение 50 колоний.

В ходе изучения снимков разных лет установлено, что зона выедания 30 колоний в 2005 и 2006 гг. смещались на 16–30 м от предшествующего положения. Такое смещение, по нашему мнению, означает, что колония была обитаемой относительно долго со времени предшествующей съёмки. У 17 колоний местоположение зон выедания в 2005 г. не изменилось, но оно изменилось в 2006 г. Лишь у одной колонии местоположение не изменилось на всех трёх снимках. Кроме того, в 2005 г. на участке появились две новые колонии. Численность большой песчанки на территории очага (особей на 1 км²) в 2002 и 2006 гг. была примерно на одном уровне, а в 2005 г. ниже на 14 %. Если характер изменения численности на участке съёмки был таким же, то можно предположить, что те колонии, на которых зоны выедания не передвигались, были либо необитаемыми, либо обитаемыми в течение короткого времени. После повышения численности к 2006 г., колонии интенсивно использовались, и это вызвало смещение экологических центров и появление новых колоний. Колония, не изменявшая своей конфигурации, могла быть необитаемой в 2002–2006 гг. Как свидетельствуют литературные и наши данные, необитаемые колонии могут сохраняться и быть видимыми на снимках от 2–3 лет в песчаных местообитаниях до 6–8 лет на глинистых и суглинистых почвах.

Таким образом, сопоставление космических снимков одного и того же участка земной поверхности разных лет показало, что мониторинг с помощью дистанционного зондирования характера использования колоний большими песчанками на основе изменений дислокации зон выедания позволяет хотя бы ориентировочно судить о длительности их использования зёрнами. Можно предполагать также, что колонии с неизменными ко-

ординатами зон выедания использовались менее интенсивно и чаще были необитаемыми. Естественно, что высказанные предположения нуждаются в проверке с проведением наземных наблюдений в периоды между съёмками земной поверхности.

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА В ГЛОБАЛЬНОМ ПОЛЕ ВОДЯНОГО ПАРА

Я.Н. Шрамков, Е.А. Шарков, И.В. Покровская, М.Д. Раев
Институт космических исследований РАН
E-mail: cinlun23@gmail.com

Процесс первоначального циклогенеза — один из важнейших вопросов, возникающих при исследовании эволюции тропических циклонов. Тщательной проверки требует теория о том, что малоинерциальным источником энергии, за счёт которого происходит формирования зрелых форм тайфунов, является область водяного пара повышенной концентрации. Такая проверка может быть осуществлена благодаря современным компьютерным технологиям, позволяющим обнаруживать корреляцию между двумя различными процессами по пространственно-временным, структурным и масштабным характеристикам, а именно тропического циклогенеза и вариабельного поля водяного пара. В докладе представлена связь областей водяного пара повышенной концентрации и тропического циклогенеза, которая стала очевидной при применении объектно-реляционных технологий, и приведён программный комплекс EVA-00, разработанный с помощью программного обеспечения Microsoft Visual Studio 2008, программного комплекса ENVI 4.3 и языка IDL, и библиотек фирмы MathWorks Inc. Также в докладе представлен анимационный ролик, наглядно показывающий связь генезиса тропических циклонов и глобального поля водяного пара, и продемонстрированы возможности комплекса по получению детализированных фрагментов полей водяного пара, что даёт возможность исследовать локальные особенности циклогенеза в зоне тропической конвергенции.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

*И.В. Балашов, М.А. Бурцев, В.Ю. Ефремов, А.А. Мазуров-мл., А.С. Мамаев,
А.М. Матвеев, А.А. Прошин, Е.В. Флитман*
Институт космических исследований РАН, Москва

Распределенные системы дистанционного мониторинга являются сложными программно-аппаратными комплексами, в работе которых задействовано большое число территориально разнесенных компьютеров, на которых в автоматическом режиме выполняется большое число программ различного назначения. Поэтому для надежного функционирования таких систем необходима высокоэффективная система контроля, позволяющая своевременно детектировать различные сбои в работе комплекса и информировать о них специалистов, осуществляющих поддержку системы, а также документировать возникающие сбойные ситуации и работы по их устранению.

В настоящем докладе на основе многолетнего опыта разработки и эксплуатации различных систем дистанционного мониторинга, накопленного

в ИКИ РАН, анализируются особенности организации контроля за функционированием таких систем.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СТРУКТУРЫ СЕЛЬХОЗУГОДИЙ И СОСТОЯНИЯ ОСНОВНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В.И. Повх, Е.А. Воробейчик, Л.А. Шляхова

«Южный региональный информационно-аналитический центр»,

Ростов-на-Дону

E-mail: dzz@dzz.ru

На современном этапе использования данных ДЗЗ в АПК РФ актуальной проблемой является контроль за соблюдением севооборотов. Нарушение севооборотов приводит к истощению почвы, чрезмерному использованию удобрений, ухудшению экологии и качества продуктов сельского хозяйства.

Для решения этой проблемы на основании объективных данных ДЗЗ необходимо создание комплексного методологического обеспечения для всего периода вегетации с/х культур (практически круглогодично). Предлагаемое методологическое обеспечение состоит из трёх частей: анализ структуры площадей сельхозугодий, оценка состояния посевов озимых зерновых в период «посев – кушение/выход в трубку», оценка урожайности озимых зерновых культур. Каждая из частей строится по единой логике: сбор и анализ априорной информации о сельскохозяйственных угодьях и культурах, сбор опорной информации путем проведения наземных спектрометрических измерений и визуального выбора эталонных и тестовых объектов, обработка и анализ данных ДЗЗ, построение ГИС-проектов для представления тематических планов-схем и геометрических характеристик объектов на территории интереса.

Анализ структуры площадей сельхозугодий (пашни, сенокосы, пастбища, залежи, многолетние насаждения) на основе данных дистанционного зондирования позволяет определить тип, пространственное размещение и площади составляющих в составе земель сельскохозяйственного назначения на основании данных ДЗЗ высокого и детального пространственного разрешения. Для полноценных результатов необходимо использование опорной (материалы полевых визуальных, навигационных, спектрометрических обследований) и априорной информации по территории интереса. Особую значимость имеет применение методики для выявления структуры пашни, поскольку на ней выращиваются основные сельскохозяйственные культуры.

Экспертные оценки достоверности составляют:

- для структуры площадей сельскохозяйственных культур пашни — диапазон 83–100 %;
- для структуры площадей пашня, сенокосы, пастбища, залежи, многолетние насаждения — около 100 %.

Оценка состояния посевов озимых зерновых в период «посев – кушение/выход в трубку», позволяет определить качественный уровень развития озимых на основании данных ДЗЗ высокого и среднего пространственного разрешения.

Обработка данных ДЗЗ позволяет:

- получить наборы спектральных характеристик, для выбора информативных каналов цифровых изображений;
- синтезировать цифровые изображения из информативных каналов;

- сформировать цифровые изображения вегетационных индексов, в частности, NDVI.
Экспертные оценки достоверности составляют:
 - для структуры полей озимых диапазон 87–95 %;
 - площадей озимых (для территории муниципальных районов) 84–98 %.
- Оценка урожайности озимых зерновых культур позволяет определить урожайность озимых в масштабе официальной отчетности на основании данных ДЗЗ высокого и среднего пространственного разрешения.
- Оценка урожайности озимых производится в такой последовательности:
- выделение классов качества озимых по уровню вегетационного индекса (например, хорошее, удовлетворительное); регистрация площадей классов качества озимых и среднего значения вегетационного индекса по области каждого класса;
 - вычисление оценки средней урожайности озимых для каждого класса с помощью уравнения регрессии, полученного по статистике предыдущих лет;
 - вычисление оценки (прогноза) средней урожайности озимых для территории интереса как взвешенной (по площадям классов) суммы средней урожайности по каждому классу.
- Относительная разница между официальными данными и оценкой урожайности по методике находится в диапазоне 10–15 %.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ СПУТНИКОВОМ МОНИТОРИНГЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

А.А. Тронин, С.Г. Крицук

Санкт-Петербургский НИЦ экологической безопасности РАН
E-mail: a.a.tronin@ecosafety-spb.ru

Спутниковые данные могут служить эффективным и независимым инструментом для мониторинга растительности в городских условиях. При этом возникают вопросы оценки погрешностей измерения площадей зелёных насаждений. В качестве тестового полигона была выбрана центральная и северная части Санкт-Петербурга, имеющие значительные площади внутриквартальных зелёных насаждений, парков, лесопарков. Для анализа использовались 38 сцен LANDSAT (TM5, ETM) за период 1986–2009 гг. Исходные данные были калиброваны, проведена атмосферная коррекция, рассчитан NDVI, выполнена классификация методом максимального правдоподобия с использованием обучающей выборки. В результате классификации и объединения классов были построены карты трёх классов — «парки» — древесно-кустарничковая растительность, «газоны» — травянистая растительность, зоны застройки. Оценка точности определения площади проводилась на территории Петроградского района, где располагаются Приморский парк Победы, Центральный парк культуры и отдыха, парковая зона Каменного острова. Погрешности определения площади зелёных насаждений составляют 8–10 %. Анализ изменения площади зелёных насаждений во времени, учитывая полученную оценку погрешности, показал, что с 1986 по 2003 г. ситуация была относительно стабильной. С 2003 г. началось уменьшение площади зелёных насаждений, которое к 2009 г. достигло 25 %. Кроме методов классификации для мониторинга растительности был использован NDVI, что является несколько более сложной задачей, поскольку необходимо учитывать фенологические фазы растительности. Также были

привлечены данные MODIS для изучения возможностей мониторинга городской растительности по NDVI. Результаты измерения NDVI, полученные как по данным LANDSAT, так и MODIS, показали закономерное снижение вегетационного индекса в 2000-х гг.

ОЦЕНКА РИСКОВ НА ОСНОВЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНСАМБЛЕВОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ И ТЕХНОЛОГИЙ СЛИЯНИЯ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ

Н.Н. Куссуль, Я.И. Зельк, С.В. Скакун, А.Ю. Шелестов

Институт космических исследований НАНУ и НКАУ, Киев, Украина
E-mail: inform@ikd.kiev.ua

При принятии решений, касающихся защиты от воздействия стихийных бедствий на население, социально-экономические объекты и среду, возникает проблема оценивания рисков неблагоприятных последствий от воздействия различных факторов окружающей среды на значительных территориях. Исходная информация для решения проблемы оценивания такого рода рисков содержится в разнородных геопространственных данных (спутниковых, наземных данных моделирования), касающихся конкретного региона, различных характеристик территории, объектов и факторов внешней среды. Мера риска пропорциональна ожидаемым потерям, которые могут быть причинены рисковому событием, и вероятности этого события. В настоящее время в мире существуют системы оценки рисков в операционном режиме. Однако используемые в таких операционных системах методы оценки рисков зачастую являются слишком упрощенными, и не опираются на достаточно развитый математический аппарат оценки среднего риска по эмпирическим данным, разработанный для задач оценивания качества восстановления функциональных зависимостей на основе эмпирических данных, который применяется в статистической теории обучения.

Поставлена задача оценки рисков, связанных со стихийными бедствиями, на основе разнородной геопространственной информации, предложен и обоснован метод её решения. Введено понятие совокупного ожидаемого риска последствий стихийного бедствия (совокупных ожидаемых потерь) в некоторой области, который определяется в результате интегрирования по всей области локального риска в каждой её точке. Локальный ожидаемый риск последствий стихийного бедствия в некоторой точке области вычисляется как значение функционала среднего риска, который представляет собой математическое ожидание функции ущерба последствий бедствия в этой позиции. Незвестная плотность вероятностей стихийного бедствия в точке зависит от различных факторов окружающей среды, которые могут быть прямо или косвенно измерены с помощью наземных средств и дистанционных методов, либо получены с помощью моделирования. Восстанавливаемая плотность вероятности параметризована и для её оценивания могут быть использованы различные методы параметрических статистик: метод максимального правдоподобия, метод Байесовых оценок и др. Для оценки плотности вероятности стихийного бедствия анализируется (классифицируется) информация, поступающая из различных источников с различным временным и пространственным разрешением. Совместный анализ такой информации выполняется с применением ансамблевого подхода и реализацией методов и технологий слияния данных (data fusion).

Система для оценивания плотности вероятности стихийного бедствия состоит из ансамбля отдельных («слабых») классификаторов (решающих

правил), каждый из которых обеспечивает результат анализа данных одного или нескольких источников. Агрегированные в систему ансамблевой обработки данных, отдельные классификаторы составляют ансамбль экспертов («сильный» классификатор), «мнения» которых с соответствующими весами учитываются в блоке слияния, на выходе которого в результате реализации машинного обучения получается с высокой точностью оценка плотности вероятности стихийного бедствия. Преимуществом ансамблевого метода классификации является возможность повышения точности классификации за счёт приёма «усиления» (boosting), который сводится к оценке функции потерь (ошибки классификации) и минимизации этой функции путем добавления новых компонентных классификаторов до тех пор, пока очередное добавление не снижает значение функции потерь. В качестве классификаторов могут использоваться следующие обработчики данных: нейронные сети, прогнозирующие математические модели процессов (в зависимости от предметной области), классификаторы по принципу максимума правдоподобия, классификаторы на основе Байесовых оценок и др.

В докладе рассматривается пример практического применения предложенного подхода к оценке риска затоплений в Намибии.

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА РЫБОЛОВСТВА

В.В. Марченков¹, В.Н. Пырков¹, В.Н. Черных¹, В.В. Ермаков², М.В. Фомичев², О.В. Бажутин²

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² «Камчатские системы связи и мониторинга», Петропавловск-Камчатский
E-mail: vpyrkov@d902.iki.rssi.ru; wwe@mail.ru

Работа посвящена вопросам повышения достоверности данных Отраслевой системы мониторинга рыболовства (ОСМ) России за счёт комплексного внедрения технологий AIS, самоорганизующихся сетей, спутниковых коммуникаций, оптимизации хранения и передачи данных, а также SATAIS.

На основе реальных данных ОСМ о треках движения судов, их промывочных и транспортных мощностей, а также имеющегося коммуникационного оборудования в работе проведено моделирование создания самоорганизующихся информационно-коммуникационных сетей на основе протокола AIS. Рассмотрены алгоритмы хранения и передачи данных по спутниковым каналам связи в центр мониторинга ОСМ. Приведены экономические оценки использования вышеуказанных алгоритмов.

При разработке алгоритмов организации сети терминалов AIS и связи данных сетей с ОСМ рассмотрена возможность внедрения технологии SATAIS, представлено современное состояние данной технологии.

В работе показано, что комплексное внедрение вышеуказанных технологий обеспечит принципиально новую возможность повышения достоверности данных ОСМ за счёт взаимного контроля судов.

**ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
РЫБОЛОВСТВА**

*В.Е. Кривоножко*¹, *А.В. Лычёв*¹, *В.Н. Пырков*², *А.А. Нестеренко*²

¹ НИТУ «МИСиС»

² Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: KrvonozhkoVE@mail.ru; vpyrkov@d902.iki.rssi.ru

Работа посвящена вопросам повышения возможностей поддержки управленческих решений Отраслевой системы мониторинга рыболовства (ОСМ) России за счёт внедрения технологий анализа экономической эффективности деятельности судов.

На основе реальных данных ОСМ о треках движения судов, их промысловых и транспортных мощностей, отчётов о вылове, переработке и транспортных операциях в работе проведен анализ и сопоставление экономической эффективности деятельности судов для Дальневосточного и Беломоро-Балтийского бассейнов.

В реальной экономической жизни руководство часто принимает решения, основываясь лишь на таблицах данных, простых графиках и диаграммах, без соответствующего интеллектуального инструментария, хотя такое руководство часто несет ответственность за громадные людские и материальные ресурсы.

В нашей работе для анализа деятельности предприятий использовалась методология «Анализа среды функционирования» и разработанный на её основе программный комплекс FrontierVision, который дает возможность визуализировать объёмное многомерное экономическое пространство, моделировать возможные ситуации развития событий в нем и, тем самым, определять оптимальные тактические и стратегические пути дальнейшего развития событий.

С помощью методологии АСФ были проанализированы данные минтаевой путины и промысла трески.

В работе показано, что внедрение вышеуказанной методологии, обеспечит принципиально новую возможность на основе данных ОСМ делать конкретные заключения о недостоверности отчётности предприятий и капитанов.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ
И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ДАННЫХ РОССИЙСКИХ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРОВ
С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ**

А.А. Феоктистов, Н.Н. Новикова, А.И. Захаров, П.В. Денисов

НЦ оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы», Москва

ОАО «Российские космические системы», Москва

E-mail: alexey.a.feoktistov@ntsomz.ru

В настоящее время в Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) ОАО «Российские космические системы» начаты работы по созданию и отработке полного технологического цикла обработки данных перспективных российских радиолокаторов с синтезированной апертурой

(РСА) «КОНДОР-Э», «Метеор-М» № 3, «АРКОН-2М». Основное внимание в рамках проводимых работ уделяется вопросам интерферометрической и дифференциально-интерферометрической обработки. Исследуются практические возможности использования данных разных диапазонов для построения цифровых моделей местности (ЦММ) и цифровых карт смещений (ЦКС) подстилающей поверхности для разных регионов Российской Федерации и стран СНГ и выбора оптимальных наборов методов фильтрации и развертки фазы. Анализируются практические возможности учёта погодно-климатических условий съёмки. Программно-алгоритмическую основу обработки данных должны составить программные пакеты Photomod Radar (фирма «Ракурс», Россия) и SARscape (компания SARmap, Швейцария). При проведении отработки создаваемой технологии планируется использовать данные с функционирующих в настоящее время зарубежных космических РСА ERS-2, RADARSAT-1,2, ENVISAT, ALOS PALSAR, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed и общедоступные ЦММ GTOPO30 и SRTM.

Сообщается о первых результатах анализа оползневых и карстовых процессов и тектоники рельефа в рамках многопроходной дифференциальной интерферометрической обработки данных ALOS PALSAR по территории семи районов Российской Федерации.

ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА БАЗЕ ЦЕНТРА АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ БЕЛГОСУНИВЕРСИТЕТА

Е.В. Верхотурова¹, В.Р. Ермакович¹, А.И. Жук², О.Л. Жук¹, С.В. Лешкевич¹, В.В. Понарядов¹, В.А. Саечников¹, М.И. Хомич¹, Э.А. Чернявская¹

¹ Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

² Министерство образования Республики Беларусь, Минск

E-mail: everkhoturova@bsu.by

Создание и развитие Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли является одной из стратегических задач Республики Беларусь. Подготовка и переподготовка кадров — необходимый для обеспечения полноценного функционирования компонент системы. Для координации деятельности системы подготовки и переподготовки кадров на базе Белорусского государственного университета был создан Центр аэрокосмического образования. Центр в настоящее время сертифицируется как авторизованный для подготовки специалистов в области геоинформационных технологий и обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Центр аэрокосмического образования позволяет обеспечить как повышение квалификации, переподготовку кадров, так и профильную подготовку студентов по специальностям, связанным с космическими технологиями и использованием данных ДЗЗ. Так, на факультете радиофизики и электроники Белгосуниверситета в рамках специальности «радиофизика» была начата подготовка студентов по специализации «Спутниковые информационные системы и технологии», а также открыта новая специальность «аэрокосмические радиоэлектронные и информационные системы и технологии».

В образовательном процессе Центр аэрокосмического образования старается решать задачи по трём направлениям: образовательные, научные и технические. Для решения научных и технических задач привлекается ши-

рокий слой профильных специалистов. Для решения образовательных задач создается современная система обучения, основанная на интерактивном познании окружающей действительности, использовании самых современных технологий. Научно-методическое, программно-аппаратное и информационное обеспечение подготовки и переподготовки кадров по приёму, первичной и тематической обработке данных космического зондирования является одной из ключевых задач Центра. Учебно-методическое обеспечение включает в себя учебные и рабочие планы, программы, методические пособия для лекционных и практических занятий, которые предусматривают знакомство студентов и слушателей с полным циклом процесса реализации научных программ микроспутников, с их проектированием, изготовлением, запуском на орбиту, планированием, разработкой и проведением научных экспериментов, управлением, приёмом и обработкой телеметрии и научной информации.

В перечень образовательных программ, разрабатываемых в Центре аэрокосмического образования, входят следующие группы программ:

1. Программа по учебным дисциплинам «Физика».
2. Программа подготовки и переподготовки специалистов по многоцелевой тематической обработке комплексной информации, полученной с научно-образовательных микроспутников.
3. Программа по проектированию малых космических аппаратов (МКА) и их бортовых систем.
4. Программы подготовки специалистов по управлению на этапе вывода и летной эксплуатации МКА. Сюда входит обучение методам:
 - анализа телеметрической информации о состоянии бортовых систем;
 - обработки навигационной, научной информации и прогнозирования орбиты МКА;
 - планирования работы бортовой аппаратуры на этапе эксплуатации МКА.
5. Программа подготовки специалистов по космической связи.
6. Программа подготовки по интерпретации космических снимков в видимом, ИК- и радиолокационном диапазонах.
7. Программа подготовки специалистов по экономике регионов и менеджеров по использованию космической информации в интересах управления хозяйством.

Кроме того, студенты и слушатели принимают практическое участие в получении, обработке и интерпретации научной и служебной информации с борта микроспутников, используя наземный комплекс приёма и обработки данных целевой аппаратуры образовательных микроспутников, работающих в радиолокационном диапазоне частот 144–430 МГц и диапазоне частот 1650–1750 МГц.

Центр аэрокосмического образования поддерживает партнерские отношения с Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Московским государственным техническим университетом им. Н.Э. Баумана, Институтом информационных технологий, Московским физико-техническим институтом, НИИ космических систем ГКНПЦ им. В.М. Хруничева, Национальным центром аэрокосмического образования молодежи Украины им. А.М. Макарова, Национальным Евразийским университетом им. Л.Н. Гумилева и Центром инжиниринга технологий (Казахстан).

Студенты выезжают в вузы-партнеры на недельные практики, а ведущие специалисты партнерских организаций проводят в Центре аэрокосми-

ческого образования семинары, курсы повышения квалификации, практические занятия.

ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ РАБОТЫ СО СПУТНИКОВЫМИ ДАННЫМИ И РЕЗУЛЬТАТАМИ ИХ ОБРАБОТКИ В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

В.Ю. Ефремов, И.В. Балашов, М.А. Бурцев, Е.А. Луян, А.А. Прошин, В.А. Толпин

Институт космических исследований РАН, Москва

Настоящий доклад посвящен задаче построения комплексных картографических веб-интерфейсов для одновременной работы со спутниковыми данными разных типов и пространственного разрешения.

Опыт построения картографических веб-интерфейсов для доступа к спутниковым данным в различных системах дистанционного мониторинга показывает, что пользователям удобнее получать доступ ко всем интересующим его типам данных, в том числе разного пространственного разрешения, в рамках одного единого веб-интерфейса. Такой подход в отличие от использования специализированных веб-интерфейсов для доступа к различным типам спутниковых данных, позволяет также производить сопоставление данных различных типов и пространственного разрешения, что часто бывает полезно при решении самых разных прикладных задач спутникового мониторинга.

В заключении приводятся примеры реализованных в настоящее время комплексных картографических интерфейсов для доступа к спутниковым данным.

ПОСТРОЕНИЕ РЯДОВ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ СЕЛЬХОЗПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ РАЗЛИЧНОГО РАЗРЕШЕНИЯ И ВЕКТОРНЫХ КАРТ

А.В. Чернов¹, Н.С. Воробьева¹, А.А. Иванов²

¹ Институт систем обработки изображений РАН, Самара

² Самарский государственный аэрокосмический университет

им. акад. С.П. Королева

E-mail: ache@smr.ru

Задачи распознавания типов сельхозкультур, анализа состояния растительности, прогнозирования урожайности по космическим снимкам решаются на основе анализа зависимости значений вегетационных индексов от времени съемки в течение сезона. Для построения оценок индексов вегетации в подавляющем большинстве случаев используются снимки MODIS разрешения 250 м в силу их доступности и высокой периодичности съемки. При этом возникают следующие сложности:

а) изображения могут быть взаимно неоткалиброваны (даже при использовании данных высокой степени обработки MOD-09) из-за поглощения сигнала атмосферой и других неопределяемых параметров искажений;

б) в значении пикселя разрешения 250 м смешиваются данные с соседних сельхозполей и иных земельных угодий со своей спектральной отражающей способностью в силу значительного радиуса функции рассеяния

точки (импульсной характеристики) оптико-электронного тракта: около 4 пикселей — 1000 м, наличия шумов, а также малых размеров полей, сравнимых или всего в несколько раз превышающих разрешение снимка. Все это приводит к снижению точности оценки индекса вегетации для конкретных полей и его зависимости от рядов расположенных объектов.

В то же время, практически всегда есть возможность привлечь дополнительные данные в виде схемы типов земельных угодий (вода, лес, сельхозугодья) с цифровых карт масштаба 1:10 000 — 1:50 000, тематических карт границ сельхозполей, а также относительно редкой, но высокодетальной съёмки среднего разрешения с КА Spot-4, LANDSAT-5/7 и др.

В докладе рассматриваются следующие вопросы, касающиеся построения уточненных рядов вегетационных индексов:

- а) совместная калибровка снимков низкого разрешения;
- б) методы фильтрации рядов вегетационных индексов и сравнение с методом недельных композитов с максимальным значением;
- в) устранение влияния соседних объектов на основе информации цифровых карт и снимков среднего разрешения;
- г) перспективы применения этих и других методов обработки ДДЗ в задачах регионального управления, в частности, при создании ГИС агропромышленного комплекса Самарской области.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ РАБОТЫ С ИНФОРМАЦИЕЙ О ДЕЙСТВУЮЩИХ ПОЖАРАХ, ПОЛУЧАЕМОЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПРИБОРА MODIS

*Е.В. Флитман*¹, *А.А. Галеев*¹, *И.В. Балашов*¹, *Д.В. Ершов*², *В.Ю. Ефремов*¹,
*Р.В. Котельников*³

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

³ ФГУ «Авиалесоохрана», Пушкино Московской обл.

E-mail: eflitman@gmail.com

В докладе описывается архитектура распределенной системы мониторинга лесных пожаров на основе данных прибора MODIS, реализованная в ИСДМ-Рослесхоз. Особенностью системы является то, что процесс оперативного мониторинга пожаров по данным прибора MODIS осуществляется в полностью автоматическом режиме.

В докладе описываются несколько подсистем, обеспечивающих автоматическое проведение мониторинга:

- система обработки первичных данных и оперативного детектирования пожаров;
- система привязки и атрибуции пожаров, детектированных по данным MODIS;
- система хранения информации о пожарах;
- система доступа пользователей к результатам обработки на базе веб-интерфейсов.

Система обработки первичных данных и оперативного детектирования обеспечивает весь процесс автоматической обработки данных, начиная с получения исходных спутниковых снимков, включая детектирование «горячих точек», объединение их в пожары и прослеживание динамики пожаров во времени. Описаны архитектура построения системы и особенности её реализации в условиях распределенных источников спутниковых данных.

Система привязки и атрибуции выполняет привязку пожаров к географическим объектам и территориям, рассчитывает пройденные огнем

площади и различные атрибуты детектированных пожаров. Система обеспечивает формирование информации о пожарах в виде, пригодном для представления конечному пользователю. Рассматривается специфика построения системы автоматической обработки данных в условиях изменяющегося набора характеристик географических покрытий, по которым необходимо проводить привязку и атрибуцию данных.

Система хранения информации представляет собой распределенную систему баз данных, использующихся как для хранения результатов обработки для выдачи пользователям, так и на всех стадиях автоматической обработки. С учётом распределенного характера системы мониторинга система хранения включает в себя подсистему автоматической пересылки данных и механизмы репликации баз данных между узлами системы. Описана реализация системы для поддержки хранения данных мониторинга за различные годы и учёта соответствующих изменений в характеристиках географических покрытий и справочниках.

Система доступа предоставляет пользователю доступ к результатам обработки данных. Система является настройкой над системой хранения данных. В ней реализован модульный программный блок формирования выходной информации на основе данных в БД и широкий набор табличных веб-интерфейсов для представления данных, наиболее удобного для оперативной и аналитической работы конечного пользователя. Данные доступны как в агрегированном виде, так и с максимально детализацией до отдельного пожара.

ПОТРЕБНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В КОСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Т.М. Аюбаев¹, С.Г. Габбасов¹, Л.Ф. Спивак²

¹ Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, Астана

² Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики

Казахстан, Алматы

E-mail: atm@emer.kz

Организация наземно-космического мониторинга чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера очень актуальна для Республики Казахстан. До настоящего момента она проводилась эпизодически, в отдельных регионах и не охватывала полностью все проблемы. В частности актуально развитие современных систем спутникового инженерно-геологического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры на территориях интенсивного роста нефтедобычи, в сейсмоопасных зонах.

Наибольшую заинтересованность Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан и органов управления государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Республики Казахстан вызывают космические снимки:

- оперативного космического мониторинга состояния снежного покрова и зон затопления в период весеннего снеготаяния и прохождения паводковых вод;
- оперативного обнаружения из космоса очагов наиболее крупных пожаров и выгоревших площадей;
- обзорного космического мониторинга выгоревших площадей в степной зоне, лесных массивов с анализом их динамики в разрезе областей;

- районирования зон риска ЧС;
- космического мониторинга нефтяных аварийных выбросов и загрязнений акватории Каспийского моря;
- космического мониторинга динамики заполнения водной поверхности особо важных водохранилищ в разрезе областей;
- наземно-космического геодинамического и геофизического мониторинга зон повышенной сейсмической активности и участков с интенсивной добычей углеводородного сырья на территории Казахстана.

В Казахстане мониторинг чрезвычайных ситуаций с применением средств ДЗЗ начат с 2001 г. в Институте космических исследований Министерства образования и науки (ныне АО «Национальный центр космических исследований и технологий» Национального космического агентства — АО НЦ КИТ). С 2002 г. ведется оперативный космический мониторинг пожаров, в 2003 г. начато наблюдение за паводковой обстановкой в ряде областей республики.

На сегодняшний день на основе договоров АО НЦ КИТ с акиматами областей системой космического мониторинга ЧС ведутся работы:

- по космическому мониторингу прохождения паводковых вод и наводнений в шести областях (Алматинская, Восточно-Казахстанская, Западно-Казахстанская, Карагандинская, Кызылординская и Южно-Казахстанская области);
- оперативному космическому мониторингу пожаров в шести областях (Актюбинская, Алматинская, Атырауская, Восточно-Казахстанская, Западно-Казахстанская, Карагандинская области);
- обзорно-космическому мониторингу крупных пожаров во всех областях республики.

В настоящее время Национальным центром космических исследований и технологий в соответствии с задачами развития космической деятельности в Республике Казахстан на 2009–2020 гг. подготовлен проект: «Развитие системы космического мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории Казахстана». Данный проект направлен на оперативное обнаружение очагов различных чрезвычайных ситуаций, контроль динамики их развития для принятия экстренных мер по их локализации и ликвидации. В результате реализации проекта будут сформированы:

- еженедельные аналитические записки с картами состояния снежного покрова и зон затопления в период весеннего снеготаяния и прохождения паводковых вод; очагов наиболее крупных пожаров и выгоревших площадей;
- обзорные карты выгоревших площадей в степной зоне, лесных массивов с анализом их динамики в разрезе областей;
- карты и диаграммы динамики заполнения водной поверхности особо важных водохранилищ в разрезе областей;
- карты динамики опасных уровней напряженно-деформированного состояния Северного Тянь-Шаня, Джунгарского Алатау и территории интенсивной добычи углеводородного сырья Каспийского региона;
- информационные записки с картами нефтяных загрязнений акватории Каспийского моря (по мере их обнаружения).

Указанные аналитические записки и карты войдут в информационный блок единой системы ситуационно-кризисных центров, создаваемых в исполнение поручения Главы государства.

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ДИНАМИКИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ

Н. Мамедова

Институт географии Национальной академии наук Азербайджана, Баку
E-mail: spaseazer@rambler.ru

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к данным дистанционного зондирования и аэрокосмическим методам исследования поверхности Земли и её ресурсов, что, несомненно, связано с потребностью в пространственно-временной информации и появлением различных проблемно-ориентированных геоинформационных систем (ГИС). Наличие цифровой геоинформации, созданной на основе данных дистанционного зондирования, позволяет моделировать географическое пространство и исследовать явления, происходящие на поверхности Земли. Несомненно, роль данных дистанционного зондирования в создании цифровых картографических моделей географического пространства важна и вносит в этот процесс реальную, объективную пространственно-временную информацию, зафиксированную на носителях памяти. Обработанные соответствующими алгоритмами данные дистанционного зондирования могут составлять временные ряды картографических моделей и быть объектом различных экологических исследований. В данной работе рассматриваются картографические модели дельты р. Кура, составленные по разновременным космическим снимкам 1992, 1998, 2001, 2009 гг. Прослеживается динамика изменения русла реки в результате повышения уровня воды Каспийского моря, а также антропогенной деятельности. Последнее сильное наводнение 2010 г. на р. Кура показали, что процесс заиления русла в дельте реки явился также одной из причин поднятия высокого уровня воды в реке. Заиление и в результате изменение её русла в дельте наблюдались по снимкам 1998 г. По снимкам 2009 г. наблюдается появление мощного накопления при выносе реки в море, по сути, появления нового русла. По данным обработки снимков построены цифровые картографические модели, проанализирована перспективность аэрокосмического мониторинга.

Построение динамических рядов в виде цифровых картографических моделей позволит повысить эффективность мониторинговых экспериментов, выбрать место, сроки и размеры повторных снимков, прогнозировать экологические ситуации.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ

А.С. Подольская, Д.В. Ершов

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва
E-mail: alexandra@ifi.rssi.ru

Работа является продолжением научных исследований по развитию методов оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ-Рослесхоз, предварительные результаты которых докладывались на предыдущих конференциях ИКИ РАН.

В качестве тестовой модели оценки вероятности возникновения пожара использовался детерминированно-вероятностный подход, разработанный Томским государственным университетом. Согласно методике априорные вероятности таких показателей как антропогенная нагрузка,

возникновение пожара вследствие антропогенной нагрузки, наличие сухих гроз и возникновение лесного пожара от молниевых разрядов определяются через частоту событий.

Для расчёта априорных вероятностей исходными данными по антропогенным и природным пожарам служили многолетние архивные данные авиационной службы охраны лесов от пожаров на активно охраняемой авиацией территории. Нахождение природной составляющей проводилось с привлечением данных грозопеленгации, которыми располагает информационная система дистанционного мониторинга (ИСДМ Рослесхоз).

Для оценки вероятности пожара по метеоусловиям вместо физико-математической модели, описывающей время сушки лесных горючих материалов, используются значения индексов пожарной опасности, применяемых в ИСДМ-Рослесхоз по методикам Нестерова В.Г., ПВ-1 и ПВ-2. Все составляющие априорной вероятности рассчитываются по зонам ответственности метеостанций.

Найденные количественные значения антропогенной и природной составляющих могут использоваться для предварительной оценки причины возникновения пожаров в зоне ответственности метеостанции. Это актуально для пожаров, детектированных по спутниковым данным.

В рамках работы проводился сравнительный анализ прогнозных оценок вероятности возникновения пожаров с фактически зарегистрированными очагами пожаров в течение пожароопасного сезона.

Работы выполнялись в рамках проекта по развитию системы дистанционного мониторинга лесных пожаров ИСДМ-Рослесхоз в 2010 г.

ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРНОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ SRTM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЕСОМАГ

Е.Н. Антохина

МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: frishkavook@mail.ru

Последние десятилетие характеризуется развитием нового типа информационного обеспечения в гидрологических моделях — интегрированных информационно-моделирующих систем (ИИМС). Они включают в себя: пространственно распределенные модели геосистем и их программное обеспечение; базы данных и системы управления ими; географические информационные системы.

В Государственном институте прикладной экологии Ю.Г. Мотовиловым был разработан информационно-моделирующий комплекс (ИМК) Ecomag. Он предназначен для расчётов пространственно-временной динамики водности и загрязненности территории на различных уровнях (растительность, снежный покров, земная поверхность, зона аэрации почвогрунтов, грунтовые воды, речной сток), с учётом особенностей топографии, гидрографической сети, пространственного размещения типов почв, растительности, источников загрязнений и гидрометеорологической обстановки.

В данном исследовании ставится задача оценки эффективности моделирования стока с водосборов различной площади (от 100 000 до 300 км²) при использовании ИМК Ecomag на примере бассейнов рек Оки и Москвы.

Характер речного стока зависит главным образом от климатических условий, определяющих режим температуры воздуха, осадков и испарения. Существенное влияние на сток оказывают факторы подстилающей поверх-

ности и в первую очередь рельеф. Основой всех расчётов в рамках ИМК Ecomag является цифровая модель рельефа. Для моделирования процессов гидрологического цикла и стекания воды по склонам водосбора и в русловой сети необходимо провести модельную схематизацию речного бассейна и речной сети, информация о древообразной структуре которых закладывается в модель.

ЦМР строится по данным радарной топографической съёмки (shuttle radar topographic mission) большей части территории земного шара, за исключением самых северных ($>60^\circ$), самых южных широт ($>54^\circ$). С помощью метода, называемого радарной интерферометрией (radar interferometry), двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR было собрано огромное количество информации о рельефе Земли. Данные представлены в виде архивов для областей размером $1 \times 1^\circ$, где каждой ячейке размером 90×90 м присвоено значение высоты.

По данным съёмки в программном комплексе ArcView подготавливается единый грид рельефа с округленным разрешением 2×2 км для бассейна р. Оки. Огрубление ЦМР технически необходимо для моделирования стока с больших по площади водосборов (более $50\,000$ км²). Для перехода к расчётам стока воды с малых водосборных площадей (менее $10\,000$ км²) в бассейне р. Москвы подготавливается единый грид рельефа с максимальным разрешением 90×90 м.

С помощью модуля Ecomag в программе ArcView по полученному гриду рельефа моделируется речная сеть, которая служит базой для дальнейшей подготовки данных в модели. Помимо модельной схематизации речной сети, обязательными исходными данными для модели являются почвенная карта и карта видов использования земель.

Результаты расчётов в бассейне Оки показали, что для получения удовлетворительного результата расчёта при использовании ИМК Ecomag с крупномасштабной схематизацией водосбора (разрешение ячейки грида рельефа 2×2 км) площадь водосбора должна быть не менее $10\,000$ км², иначе результаты моделирования сильно ухудшаются. Применение грида рельефа с разрешением 90×90 м в бассейне р. Москвы доказало, что моделирование стока малых рек должно осуществляться при использовании более подробного грида рельефа и мелкомасштабных карт видов использования земель и типов почв, ввиду местных особенностей формирования стока на водосборах с малой площадью.

Таким образом, ИМК Ecomag позволяет моделировать сток рек, имеющих различные водосборные площади. Основной задачей при расчётах стока является правильный выбор цифровой модели рельефа в зависимости от площади моделируемого водосбора, а также подбор правильного масштаба карт использования земель и типов почв.

Исследование выполнено по гранту Президента РФ для поддержки молодых ученых МК-7722.2010.5

ПРИМЕНЕНИЕ СНИМКОВ LANDSAT И SPOT ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ СИБИРСКИМ ШЕЛКОПРЯДОМ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ ЯКУТИИ

Е.В. Федотова

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

E-mail: elfed@ksc.krasn.ru

На юге Якутии сибирский шелкопряд является одним из самых опасных вредителей произрастающих здесь лиственничных лесов. Как отмечают сотрудники ИБПК СО РАН, вспышка численности шелкопряда, начавшаяся в 1999 г., является самой крупной за время наблюдений. В результате двукратной дефолиации деревья лиственницы гибнут. Обследования, проведенные летом 2001 г., обнаружили усыхание в полностью обесхвоенных очагах как целых массивов, так и отдельных лиственниц, а местами подроста и крупных елей и сосен.

Картирование поврежденных и погибших в результате этой вспышки лиственничников по данным дистанционного зондирования является важной и нетривиальной задачей. Например, по данным MODIS/Terra в ИКИ РАН построены карты поврежденных и погибших лесов на территории Якутии за период с 2002 по 2004 г.

В Институте леса СО РАН имеется опыт картирования поврежденных сибирским шелкопрядом темнохвойных лесов Нижнего Приангарья (вспышка середины 1990-х гг. прошлого века). Темнохвойные леса Сибири, в основном пихтовые, легко идентифицируются на космических снимках. Выделить лиственничные леса от других типов растительного покрова — задача более сложная, тем более на территории южной Якутии, где они сильно нарушены пожарами, а находящиеся рядом с населенными пунктами фрагментарны, по берегам рек перемежаются с сельскохозяйственными угодьями и пр. Поэтому для картирования их повреждений предпочтительно использовать космические снимки среднего и высокого пространственного разрешения, например, LANDSAT. Но проблема такой съемки — отсутствие временной серии качественных данных за один вегетационный период из-за влияния облачности.

Для проведения работы были использованы снимки КА LANDSAT 1992, 1999–2009 гг. на эту территорию, находящиеся в свободном доступе. Только одна сцена 1992 года на очаги сибирского шелкопряда в районе г. Покровка позволила сравнить снимки до и после вспышки, и определить признаки, по которым выделяются повреждения лиственничников в 1999 и 2000 гг. на данной территории. Анализ снимков проводился с помощью модуля DeltaCue ERDAS Imagine. Наиболее приемлемые результаты, позволяющие создать карту поврежденных насаждений, дало использование четвертого канала сканера (БИК-диапазон), на разных очагах он позволяет выделить повреждения с порогом 10–40 % (в зависимости от сомкнутости древостоев и степени дефолиации, растительности нижних ярусов). Затем по аналогии проявления поврежденных насаждений были проанализированы снимки 1999–2000 гг. и выявлены поврежденные насаждения по другим очагам, построены картосхемы поврежденных насаждений на часть территории.

Кроме поврежденных шелкопрядом, на юге Якутии, очень много лесов, пострадавших от пожаров, а также вырубок. Эти повреждения вызывают более сильное снижение NDVI, чем повреждения шелкопрядом, так как повреждается и напочвенный покров. Для определения времени повреждения лиственничников в один вегетационный период необходимы

данные хорошего временного разрешения. Были использованы композиты NDVI SPOT Vegetation за десять дней. Снимки были собраны в изображения за один вегетационный период, с мая по сентябрь 1998–2002 гг. По этим данным определялось время снижения NDVI, т. е. время наступления повреждений насаждений, с помощью построения спектральных профилей в ERDAS Imagine.

Таким образом, по данным LANDSAT получена картосхема, а по данным SPOT — время проявления повреждения и гибели насаждений.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА В СИСТЕМЕ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАЗАХСТАНА

Г.Н. Сагатдинова, Л.Ф. Спивак, О.П. Архипкин
Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики
Казахстан, Алматы
E-mail: mkmikiz@rambler.ru

В последние годы в рамках Республиканской программы 002 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности» ИКИ развивает технологии формирования цифровых моделей рельефа (ЦМР) по ДДЗ высокого разрешения для решения прикладных задач космического мониторинга. Среди этих задач основными являются мониторинг крупных региональных водных систем, бассейнов трансграничных рек, районов прокладки трасс нефте- и газопроводов, районов с повышенной техногенной нагрузкой, включая территории с активной добычей полезных ископаемых.

В текущем году была по данным IRS P5 и ALOS с помощью программного комплекса PCI сформирована ЦМР для одной из важнейших региональных водных систем Казахстана: гидрокомплекса «Чардаринское водохранилище — Коксарайский противопаводковый контррегулятор» (Гидрокомплекс). Необходимость создания гидрокомплекса и его важнейшее значение для Казахстана обусловлено следующими обстоятельствами. В последние годы в среднем течении р. Сырдарья постоянно возникают проблемы зимне-весенних наводнений, причиной которых является спуск воды с Токтагульского водохранилища в Киргизии. Одним из вариантов решения возникшей проблемы является накопление излишней воды в зимне-весенний период в строящемся Коксарайском противопаводковом контррегуляторе. Летом это водохранилище будет подпитываться водой Сырдарью и Малый Арал.

Полученная ЦМР будет использоваться в системе космического, геодинамического и геофизического мониторинга гидрокомплекса. Целью проекта является непрерывный контроль Коксарайского гидроузла и региона в целом, включая наблюдение за режимом наполнения и использованием водных ресурсов водохранилища, разработка методики контроля состояния плотины с использованием дистанционных и контактных наблюдений, оценку рисков переполнения водохранилища и угрозы прорыва плотины. В настоящее время происходит процесс его наполнения и ЦМР используется для оценки динамики этого процесса с использованием оперативных ДДЗ.

ЦМР, построенные на основе космических стереоснимков высокого разрешения, используются также во время прохождения паводковых вод для определения уровней затопления и отслеживания динамики развития процесса. Так, в 2010 г. этот процесс наблюдался для долины реки Нура ниже Самаркандской плотины (около г. Темиртау).

**ПРОБЛЕМА РЕГИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ОБСТАНОВКИ
НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ И ЕЁ РЕШЕНИЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Е.П. Минаков, Е.Ф. Чичкова

ГНЦ РФ ЦНИИ робототехники и технической кибернетики,
Санкт-Петербург

E-mail: chichkova@rtc/ru; minakov@rtc.ru

Проблема контроля объектов инфраструктуры и окружающей среды в настоящее время состоит в отсутствии систематического, своевременного и оперативного получения данных региональными органами управления, в их точечном, локальном характере, а также затратах на их добывание и обработку. Контроль стационарных и подвижных объектов, оперативность обнаружения чрезвычайных ситуаций (ЧС), оценка обстановки на прилегающих объектах и территориях, а также своевременность доведения соответствующей информации до региональных органов управления могут быть обеспечены путем комплексного применения космических средств (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позиционирования и связи в рамках региональной автоматизированной системы контроля объектов (РАСКО). Для этого в состав РАСКО КС должен входить наземный комплекс, состоящий из системы приёма/обработки космической информации, базы данных, системы отображения обстановки и датчиковой аппаратуры.

Для создания РАСКО КС необходимо:

- 1) уточнить состав задач регионального контроля, выполнение которых достигается использованием КС, и требования к их решению;
- 2) сформировать облик, сформулировать требования и исследовать пути построения РАСКО КС;
- 3) создать методологическую базу использования имеющихся КС для решения задач контроля объектов инфраструктуры и окружающей среды регионов РФ;
- 4) произвести валидацию алгоритмов определения параметров контролируемых объектов на основе контактных измерений для типовых и специфических объектов регионов;
- 5) разработать состав и порядок применения РАСКО КС для проведения оперативного контроля объектов инфраструктуры и окружающей среды;
- 6) разработать информационные технологии оперативного доступа к результатам регионального контроля объектов инфраструктуры и окружающей среды;
- 7) оценить эффективность решения задач контроля объектов инфраструктуры и окружающей среды с использованием РАСКО КС.

При разработке этой системы необходимо учесть:

- 1) значительный пространственный размах регионов России;
- 2) их слабую освещенность наземными средствами наблюдения;
- 3) необходимость комплексирования применения КС со средствами наземного базирования;
- 4) существующий научно-технический потенциал исследовательских и образовательных учреждений регионов России.

Важнейшим является вопрос оценивания эффективности функционирования РАСКО КС. Основными показателями для этого могут служить:

- 1) результативность обнаружения ЧС на стационарных и подвижных объектах;

- 2) оперативность обнаружения ЧС на объектах контроля и выдачи сигнала об их возникновении;
- 3) периодичность контроля обстановки на стационарных объектах и в их ЗИОК;
- 4) периодичность контроля перемещения объектов в пределах региона и в его ЗИОК;
- 5) оперативность доведения информации о ЧС до региональных органов управления;
- 6) периодичность дистанционного зондирования областей ЧС;
- 7) результативность информационного обеспечения аварийно-спасательных работ.

РАЗРАБОТКА РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ГЛОБАЛЬНОГО ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА

Я.Н. Шрамков, Е.А. Шарков, И.В. Покровская
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: cinlun23@gmail.com

Хронология тропического циклогенеза и его физических характеристик является своеобразным фундаментом любых исследований в этой области. В настоящий момент база данных физических характеристик циклогенеза за 10 лет состоит из 800 текстовых файлов, но, к сожалению, эти файлы имеют определенные особенности в структуре, что затрудняет работу с ними в автоматизированном режиме. Наиболее рациональным средством для хранения этой информации представляется реляционная база данных. Помимо удобного хранения и возможностей создания необходимых запросов, она позволяет облегчить подготовку отчетов и упростить совместимость с другими программными комплексами. Комплекс программ EVA-00, разработанный ранее для изучения глобального циклогенеза и его влияния на климат планеты, представляет собой удобное средство для автоматизации научных исследований. Несомненным преимуществом этого комплекса является возможность исследования не только глобального тропического циклогенеза, но и интегральных полей водяного пара. Но особенностью этого комплекса является работа с каждым файлом циклогенеза по отдельности, что замедляет обработку данных и, в известном смысле, существует возможность ошибки оператора.

В качестве последующего развития этого комплекса в 55 отделе ИКИ РАН разработано хранилище данных (ADAM), которое представляет собой базу данных тропического циклогенеза реляционного типа. Среда разработки Visual Studio 2008 фирмы Microsoft позволила разработать достаточно гибкий продукт, который сравнительно просто интегрируется с другими программными решениями. ADAM в настоящее время используется как самостоятельный программный продукт для поиска закономерностей в поведении тропических циклонов и их особенностях и возможных взаимокорреляциях в их поведении. Но при этом ADAM является своеобразным «каркасом» для программного обеспечения комплекса EVA-01, которая сейчас находится в разработке, обеспечивая ему простоту устройства и быстрое действие.

В докладе представлены преимущества реляционной схемы данных для изучения процессов глобального тропического циклогенеза, особое внимание уделено увеличению производительности обработки данных и их надёжности за счёт применения новой схемы хранения данных. Представлены

результаты статистического анализа поведения тропических циклонов за 10 лет и их особенности, полученные с помощью базы ADAM. Показаны первые результаты от совместного использования реляционной базы тропического циклогенеза и данных о глобальных полях водяного пара.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ КАРЬЕРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОПЕРАТИВНО ПОЛУЧАЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ И ВЫБОРОЧНЫХ НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ

Т.В. Железнова, А.И. Свиридо, М.С. Кудряков, В.А. Сипач

Научно-производственное республиканское унитарное предприятие (УП)

«Космоаэрогеология», Минск, Республика Беларусь

E-mail: kosmoaerogeology@tut.by

Рассмотрены карьеры строительных материалов, технология их идентификации, разновременные космические снимки, данные дистанционного зондирования, промышленные и внутрихозяйственные карьеры.

В современных условиях рыночных отношений разработка месторождений строительных горных пород и наблюдения за изъятием и ведением горных работ в соответствии с проектными и нормативными документам должна базироваться на передовых достижениях науки и производства, внедрении ресурсосберегающих малоотходных природоохранных технологий при комплексном использовании минерального сырья. Этому должны способствовать новые технологии и методы отслеживания состояния работ по добыче, дабы снизить материальные и трудовые затраты и исключить самовольное изъятие полезных ископаемых.

Поэтому в сложившейся ситуации необходимо было найти способ решения данной задачи с минимизацией всех видов затрат. УП «Космоаэрогеология» предложила разработать технологию идентификации карьеров строительных материалов на основе оперативно получаемых космических снимков высокого разрешения, что позволит определять не только месторасположение карьеров, но и их основные метрические параметры (площадь, глубина и объём), при использовании субметровой стереоскопической космической съёмки.

Суть технологии заключается в следующем:

- создается электронная база данных существующих карьеров строительных материалов (промышленных и внутрихозяйственных), на основе данных, получаемых в землеустроительных службах районов;
- подбираются космические снимки высокого разрешения, с пространственным разрешением 2,5–10 м;
- проводится предварительная обработка космических снимков и формирование мозаик на территорию исследования;
- проводится тематическое дешифрирование космических снимков, на основе эталонных выборок, представленных в БД «Карьеры»;
- полученные данные сверяются с данными эталонной базы данных существующих карьеров строительных материалов. Число объектов, которые не входят в базу проверяются в полевых условиях.

На основе разрабатываемой технологии обнаружения и идентификации карьеров строительных материалов по оперативно получаемым космическим снимкам высокого разрешения планируется в дальнейшем создать систему мониторинга действующих карьеров строительных материалов, а также несанкционированных карьеров, позволяя тем самым четко и точ-

но проводить контроль за порядком использования земельных ресурсов Республики Беларусь. Данная технология позволит существенно снизить затраты связанные с контролем за добычей полезных ископаемых, а также повысит оперативность получения информации за осуществлением хозяйственной деятельности землепользователями.

СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ РАБОТЫ С ДАННЫМИ ОБЪЕДИНЕННОГО КАТАЛОГА НЦ ОМЗ

В.Ю. Ефремов¹, М.А. Бурцев¹, К.А. Емельянов², А.А. Мазуров¹, А.А. Прошин¹, В.П. Саворский²

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² НЦ оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы», Москва

В докладе представлена единая система динамических интерфейсов, позволяющая работать с различными каталогами спутниковых данных, расположенных как в НЦ ОМЗ, так и в других организациях. В систему интегрированы не только спутниковые изображения, но и продукты их обработки, а также различная картографическая информация. В системе созданы интерфейсы для взаимного обмена информацией с внешними каталогами. Также в докладе описан блок автоматизированного контроля работоспособности системы, блок учёта данных, блок авторизации, контроля и учёта пользователей системы. Разработан автоматизированный модуль управления картографической информацией, поступающей из различных источников.

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ю.И. Шокин¹, Н.Н. Добрецов¹, В.В. Смирнов¹, А.А. Лагутин², В.Н. Антонов³, А.В. Калашиников³

¹ Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

² Алтайский государственный университет, Барнаул

³ Западно-Сибирский региональный центр приёма и обработки спутниковых данных, Новосибирск

E-mail: valentin.smirnov@gmail.com

В настоящее время в Институте вычислительных технологий СО РАН, в ходе выполнения ряда проектов, направленных на создание современной информационной поддержки и обеспечения данными от различных сенсоров, выполняющих регулярные наблюдения за окружающей средой, развернута автоматизированная система приёма и обработки спутниковых данных, в том числе принимаемых в оперативном режиме. В рамках создаваемой системы, с 2008 г. проводится приём данных с платформы SPOT-2/SPOT-4 (в настоящее время платформа SPOT-2 выведена из эксплуатации). К настоящему времени, в архиве содержится около 300 000 сцен на территорию Сибири и Азиатского региона. Доступ к данным предоставляется сервисами информационной системы спутниковых данных ИВТ СО РАН (<http://catalogue.ict.nsc.ru>). Данными каталога пользуется около 25 институтов Сибирского отделения РАН.

В 2009 г. на базе информационно-вычислительных ресурсов ИВТ СО РАН и инфраструктуры приёма Западно-Сибирского регионального центра приёма и обработки данных, развернут комплекс по приёму и обработке данных, принимаемых с платформ Terra/Aqua. Инфраструктура Западно-Сибирского регионального центра по приёму и обработке данных обеспечивает бесперебойный приём данных в режиме реального времени. Для приёма данных с платформ Terra/Aqua задействованы две приёмные станции MEOS-POLAR, ведущие приём и аппаратную распаковку потока данных в автоматическом режиме. Благодаря расположению приёмного комплекса обеспечивается приём данных, покрывающих Сибирь, часть Дальнего Востока и Якутии, а также территории Урала и Центральной России, включая Московский регион. Северная граница приёма охватывает территорию от Северо-Западных регионов России до дельты Енисея, южная граница приёма включает страны Центрально-Азиатского региона с границей в центральной части Тибета. Имеется возможность приёма данных и с других активных в настоящее время платформ (NOAA, FY, SeaSTAR и др.). Для решения задачи обработки поступающего потока данных, на базе информационно-вычислительной инфраструктуры ИВТ СО РАН, был развернут вычислительный комплекс обработки потока «сырых» данных поступающих в ИВТ СО РАН по выделенному волоконно-оптическому каналу связи, соединяющему институт с приёмным комплексом.

В настоящее время реализована цепь алгоритмов, PGE (Product Generation Executable, NASA DRLab), обеспечивающих обработку «сырых» данных (L0) до продуктов уровня L2G. Сборка и валидация вычислительного комплекса обработки данных MODIS была проведена в Центре космического мониторинга Алтайского государственного университета. При адаптации комплекса сотрудниками Института вычислительных технологий были добавлены программные компоненты для обеспечения режима потоковой обработки, а также компоненты автоматической архивации данных. Для хранения поступающей и генерируемой информации используется система хранения данных ИВТ СО РАН, включающая в себя промышленную систему хранения данных EMC.

Общий объём используемого системой дискового пространства в настоящее время составляет порядка 55 Тбайт. Объём ежедневного «продукта» составляет порядка 25–30 Гбайт информации. Работа комплекса полностью автоматизирована и не требует вмешательства оператора, за исключением функций управления расписанием приёма, корректировки параметров алгоритмов и контроля работы комплекса. Кроме стандартных продуктов уровней L1B/L2/L2G, комплекс позволяет получать ряд дополнительных продуктов, например файловое покрытие зоны приёма в формате Google KML/KMZ, конвертированные в GeoTiff данные «солнечных» каналов прошедших атмосферную коррекцию, визуализацию ряда продуктов для их быстрого просмотра.

По мере формирования, все продукты системы доступны на FTP-сервере системы. Среднее время генерации продуктов уровня L1 10–15 мин, продукты уровня L2/L2G доступны на сервере в среднем через 15–25 мин. В настоящее время идут работы по расширению списка обрабатываемых продуктов и по подключению к обработке данных сенсора Aqua/AIRS.

Работа выполнена при поддержке проекта IV.31.2.1, Программы фундаментальных исследований СО РАН на 2010–2012 гг., Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-07-00103), Программы интеграционных фундаментальных исследований Президиума СО РАН (меж-

дисциплинарные проекты № 4, 116, заказной проект № 9), Программы поддержки ведущих научных школ (грант НШ-931.2008.9).

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ КАЗАХСТАНА

*И.Н. Крыленко*¹, *В.В. Беликов*², *О.П. Архипкин*³

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова

² НИИ энергетических сооружений, Москва

³ Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики
Казахстан, Алматы

E-mail: krylenko_i@mail.ru; belvv@bk.ru; mkmikiz@rambler.ru

При аварийных ситуациях на гидроузлах водохранилищ возникает угроза формирования катастрофического прорывного паводка и затопления местности, во много раз превышающего затопление в естественных условиях. При наличии каскада водохранилищ на реке авария на плотине одного водохранилища может привести к последовательному разрушению нижележащих по течению плотин — так называемой каскадной аварии. Последствия наводнений при возникновении прорывного паводка существенным образом зависят от возможности их прогнозирования, заблаговременного планирования и принятия защитных мер, а для принятия мер по обеспечению безопасности необходим прогноз последствий гипотетической аварии сооружения. Центральным элементом такого прогноза является определение параметров прорывного паводка и оценка зон затопления. Разработанная система моделирования базируется на двумерной гидродинамической модели движения водных потоков БОР (авт. Беликов В.В. и др.), ГИС-технологиях и данных дистанционного зондирования Земли. Применяемая для расчёта движения водного потока численная модель основана на решении двумерных (в плане) уравнений мелкой воды, дискретизированных на треугольных и гибридных (треугольно-четырёхугольных) адаптивных сетках, позволяющих описывать сложные по конфигурации области. Исходными данными для моделирования является детальная информация о рельефе территории. Она может быть получена на основе топографических карт и планов, цифровых моделей рельефа (ЦМР), построенных по ДЗЗ высокого разрешения. При этом желательно уточнить эту информацию с помощью наземных съёмок. Также для расчёта возможных гидрографов прорывного паводка необходима информация о геометрических параметрах плотины, объёме, основных эксплуатационных и морфометрических характеристиках водохранилища. Результатом совместного расчёта прорыва грунтовой плотины и движения водного потока ниже плотины является плановая картина распределения глубин, отметок водной поверхности и скоростей течения воды на затопляемой территории в разные моменты времени после начала аварии. Для оценки возможных ущербов и районирования территории по степени риска в случае возникновения техногенного паводка полученные в результате расчётов карты глубин, скоростей течения, уровней воды и границ затопления для различных сценариев аварии совмещаются с космическими снимками высокого пространственного разрешения, позволяющими получать современную информацию об инфраструктуре и хозяйственном использовании территории. Подобная технология в Казахстане на настоящий момент времени реализована для каскада водохранилищ Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системы (ООС) (Западно-Казахстанская область) и для Самаркандского водохранилища на реке Нура (Карагандинская

область). Урало-Кушумская ООС включает в себя Кушумский канал (рукав р. Урал) и каскад расположенных на нем четырех крупных водохранилищ (Кировское, Битикское, Донгулюкское, Пятимарское) с объёмом более 50 млн м³ каждое. Общая протяженность рассматриваемого участка более 300 км. Под угрозой затопления в случае аварии находятся обширные низменные территории сельскохозяйственного использования в долине р. Кушум. При прорыве плотины Самаркандской ГЭС под угрозой затопления находятся застроенные территории крупного промышленного центра Казахстана — г. Темиртау, прилегающие к р. Нуре населенные пункты и земли сельскохозяйственного освоения ниже по течению, автодорога и мосты через р. Нура. Полученные в результате моделирования гидродинамической аварии на указанных водных объектах зоны затопления, уровни и глубины воды и максимальные скорости течения, а также времена добегания прорывной волны явились основой для составления планов действий МЧС и других ведомств в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОБЛАЧНОГО ПОКРЫТИЯ СТЕПНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА ПО ДАННЫМ NOAA/AVHRR

И.С. Витковская, А.Г. Терехов, Л.Ф. Спивак

Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики
Казахстан, Алматы
E-mail: ivs-iki@rambler.ru

Около 20 млн га пахотных земель в степной и лесостепной зоне на севере Казахстана используются для выращивания яровых зерновых культур. Климатический дефицит увлажнения делает эти территории зонами рискованного земледелия. Урожайность культуры претерпевает существенные вариации в зависимости от увлажненности вегетационного сезона. Например, за последние 20 лет в Костанайской области Северного Казахстана урожайность зерновых варьировалась от 3,4 (1998) до 14,9 ц/га (1999). В связи с этим мониторинг условий вегетации в зонах произрастания зерновых культур Казахстана с помощью спутниковых данных представляет большой практический интерес.

Стандартный подход к решению задачи оценки благоприятности погодных условий для возделывания культуры в зонах рискованного земледелия — это использование спутниковых вегетационных индексов, величины которых связаны с объёмом зеленой биомассы культуры. Применительно к зерновым культурам Северного Казахстана, имеющим разброс в датах сева порядка 30 дней (10 мая — 10 июня), величины вегетационных индексов адекватно отражают региональные условия состояния культуры только в конце июля, когда формируется сезонный максимум зеленой биомассы и разница в датах сева уже не играет существенной роли. Более ранние оценки затруднительны из-за различий в фазах развития, соответственно, естественных вариациях в объёмах зеленой биомассы, не связанных с погодными условиями.

Степная и сухостепная зоны Казахстана расположены примерно на территории с координатами 46–80° E; 49–56° N. В упрощенном варианте динамика облачного покрова этой территории может сводиться к двум стандартным режимам: А) циклональная активность, характеризующаяся сплошным облачным покровом с осадками в течение 2–6 дней; Б) местные процессы, с характерной суточной динамикой облачного покрова: безоблачная ночь; образование за счёт испарения к 10–12 ч утра кучевой облачности;

развитая облачность с локальными осадками в виде отдельных гроз во второй половине дня; распад облачного покрова после захода солнца. Процесс (А) обеспечивает поступление влаги на территорию. Интенсивность процесса (Б) связана с уровнем увлажнения почвенного покрова. Явления засушливости (дефицит поверхностного увлажнения или низкая влажность воздуха) приводят к отсутствию осадков, уменьшению или полному отсутствию облачного покрова в режиме (Б).

Мониторинг облачного покрытия может служить дополнительным источником информации об увлажненности сельскохозяйственных земель, что прямо связано с состоянием зерновых культур в зонах с климатической засушливостью. Дополнительным фактором, сохраняющим зеленую биомассу в условиях дефицита влаги и высоких температур воздуха, является экранирование облачным покровом прямых солнечных лучей. Количественная оценка облачного проективного покрытия в различных временных окнах (декада, месяц, вегетационный сезон), сравнение текущей ситуации с многолетними данными позволяет взвешивать анализируемый облачный покров в шкале встречавшихся ранее ситуаций: влажных (облачных) и сухих (малооблачных) сезонов. При этом, в отличие от спутниковых вегетационных индексов, имеется возможность получения оценок на любых временных масштабах, что позволяет оперативно диагностировать уровень увлажнения сельскохозяйственных территорий в течение критических фаз развития зерновых культур.

Дневные данные NOAA+AVHRR (спутники NOAA-12, -14, 16–18) периода 2000–2010 гг. с собственной станции приёма обрабатывались с построением ежедневных масок облачности. Суточная информация накапливалась до декадных оценок, имеющих вид доли времени под облаками для каждого пикселя с размером 1×1 км. Декадные сцены формировали архив облачного покрытия Северного Казахстана. Полученные результаты демонстрируют высокую информационную ценность и могут использоваться для оценки состояния и прогноза урожайности зерновых культур Северного Казахстана.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ ОБ ОПАСНЫХ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССАХ НА ГРАНИЦЕ АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

Е.С. Митюшина

НЦ аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос», Москва

E-mail: elenamityusina@gmail.com

В работе выполнен обзор основных требований к созданию базы данных об опасных мезомасштабных процессах на границе атмосферы и гидросферы. В соответствии с современными научными подходами разработана структура базы данных. В качестве программного обеспечения для отображения геоданных об опасных мезомасштабных процессах выбрана система «Google Планета Земля», которая работает с данными в формате kml. Файлы kml создаются с помощью пользовательского интерфейса «Google Планета Земля», либо с помощью большинства ГИС-приложений. Основными преимуществами данного формата является простота его создания, наглядность, доступность пользователям. После правильной настройки сервера и публикации URL-адреса файлов kml любой пользователь, установивший «Google Планета Земля», может просмотреть файлы kml, размещенные на общедоступном веб-сервере.

Создание и использование файлов в формате kml, а также программных средств для визуального отображения «Google Планета Земля» для изучения тропических циклонов является одним из перспективных направлений, ввиду своей универсальности, доступности. Это дает преимущества при проведении всесторонних исследований опасных мезомасштабных процессов на границе атмосферы и гидросферы, помогая анализировать данные комплексно, наглядно и находить новые взаимосвязи природных процессов и географической среды.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

СОЗДАНИЕ МЕЖОТРАСЛЕВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ НАУЧНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КАДРОВ ПО СОВРЕМЕННЫМ ПРИКЛАДНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ

А.А. Спиридонов, В.А. Саечников

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
E-mail: sansan@tut.by

На протяжении последних десятилетий аэрокосмические технологии оказывают нарастающее влияние на экономическое и социальное развитие, все аспекты жизнедеятельности государства и общества. Эти технологии находят широкое применение в связи, сельском и лесном хозяйстве, картографии и геодезии, геологоразведке, гидрометеорологии, на транспорте, для предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Аэрокосмические и ракетные системы являются ключевым звеном обеспечения безопасности государства. В последнее время динамичное развитие навигационно-информационных технологий и систем в мире, необходимость их широкого внедрения практически во все отрасли народного хозяйства и военной организации страны привели к созданию в Беларуси единой системы навигационно-временного обеспечения страны (ЕС НВО).

В настоящее время в Республике Беларусь создается Белорусская космическая система дистанционного зондирования (БКСДЗ), которая рассматривается как основа космической отрасли Республики. Одним из необходимых элементов БКСДЗ, обеспечивающих её устойчивое развитие, является подготовка и переподготовка кадров. Белорусский государственный университет (БГУ) занимается вопросами разработки концепции системы подготовки и переподготовки кадров аэрокосмической отрасли, а также практической подготовкой и переподготовкой специалистов в областях, связанных с обработкой данных дистанционного зондирования Земли, и смежных с ними. На базе БГУ в 2008 г. был создан Центр аэрокосмического образования.

Согласно положению о Центре его задачей является создание системы постоянной подготовки и переподготовки кадров в областях науки и техники, связанных с получением, обработкой и практическим использованием данных дистанционного зондирования Земли, а также координация деятельности системы подготовки и переподготовки кадров аэрокосмической отрасли. В настоящее время на факультете радиоп физики и электроники БГУ в рамках специальности «Радиофизика» начата подготовка по специализации «Спутниковые информационные системы и технологии» и открыта специальность «Аэрокосмические радиоэлектронные и информационные

системы и технологии». На базе центра аэрокосмического образования БГУ разработан наземный комплекс управления, приёма и обработки научной информации и телеметрии образовательных микроспутников и данных космических аппаратов ДЗЗ. Проводятся экспериментальные исследования по приёму и тематической обработке данных космического зондирования с помощью лицензионного программного обеспечения: ERDAS, ESRI, Leica, MapInfo. В настоящее время на базе центра аэрокосмического образования БГУ создается отраслевой технический и научно-методический центр подготовки высококвалифицированных национальных научных и производственных кадров по современным космическим технологиям.

Межотраслевой центр прикладных космических технологий является структурным подразделением БГУ. Центр создается для обеспечения деятельности системы подготовки кадров в области создания и использования прикладных космических технологий (геоинформационных и навигационных) для обеспечения функционирования БКСДЗ, ЕС НВО, а также отраслей, связанных с использованием прикладных космических технологий. Центр участвует в проведении научной и научно-инновационной деятельности в области создания и практического использования прикладных космических технологий.

Основными задачами центра являются:

- создание системы подготовки кадров для обеспечения разработки, внедрения и эксплуатации комплексных информационных систем в отраслях, связанных с использованием прикладных космических технологий;
- подготовка кадров высшей научной квалификации в аспирантуре и докторантуре БГУ для научных учебных учреждений;
- организация стажировок и повышения квалификации в подразделениях БГУ, институтах Национальной академии наук Республики Беларусь и отраслевых организациях, создающих и использующих в своей деятельности прикладные космические технологии;
- обеспечение участия подготовляемых кадров в региональных, национальных и международных программах по созданию информационных систем с использованием прикладных космических технологий;
- организация системы внедрения в Республики Беларусь прикладных космических технологий;
- организация и участие в международных и республиканских конференциях, совещаниях, симпозиумах и выставках.

Основными функциями Центра являются:

- обеспечение функционирования необходимой методической и лабораторной базы для подготовки специалистов в области прикладных космических технологий;
- обеспечение необходимых условий для выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, задач, поставленных перед БГУ, научными и отраслевыми организациями и учреждениями в области прикладных космических технологий;
- организация выполнения курсовых, дипломных работ и прохождение научно-производственной практики на профильных предприятиях.

Коллегиальным органом управления Центра является Координационный совет, состав которого утверждает ректор БГУ.

В состав Совета на паритетных началах могут входить ведущие ученые и специалисты организаций Министерства образования и Национальной академии наук Беларуси.

Учитывая сложившуюся ситуацию в развитии работ в данной отрасли, на данном этапе рассматривается состав следующих участников создания лаборатории:

1. Факультет радиофизики и электроники БГУ имени Ленина — основное базовое вузовское учреждение по организации лаборатории.
2. ГНУ ОИПИ НАН РФ — основное научное учреждение, которое координирует деятельность остальных предприятий по участию в международных, национальных и региональных программах в области использовании космического пространства, обеспечивает процесс подготовки преподавателей и студентов по системе дистанционного зондирования Земли и использованию указанных данных при построении навигационно-информационных систем.
3. УП НИИСА — предприятие, которое обеспечивает участие лаборатории в построении системообразующих средств ЕС НВО и подготовке специалистов в данной области.
4. РУП «ИЦЗем» Госкомимущества РБ — предприятие, которое обеспечивает участие лаборатории в проведении работ в ведущихся проектах, организует процесс подготовки преподавателей и студентов в области практического создания и использования интегрированных геоинформационных и навигационных систем.
5. ООО «Мидивисана» — предприятие, которое обеспечивает участие лаборатории в создании средств мониторинга для оперативной подготовки топогеодезических данных и обучения специалистов в этой области.
6. ИП «Рэйнбоу Технолджис» — предприятие, которое обеспечивает процесс подготовки специалистов в области создания навигационной аппаратуры.
7. «НТ Лаб» — предприятие, которое обеспечивает процесс подготовки специалистов при проектировании навигационных и навигационно-связных приёмников, для использования в навигационной аппаратуре широкого применения.

Основу программно-аппаратной части межотраслевого технического и научно-методического центра подготовки высококвалифицированных научных и производственных кадров по современным прикладным космическим технологиям составляет центр аэрокосмического образования БГУ и его структурные составляющие:

- лаборатория ГИС-технологий;
- лаборатория навигационно-информационных технологий и систем;
- наземный комплекс управления, приёма и обработки данных целевой аппаратуры и телеметрии с МКА;
- наземный комплекс управления, приёма и обработки данных КА ДЗЗ и целевой аппаратуры образовательных МКА;
- программные средства тематической обработки и представления данных дистанционного зондирования, интеграции их в информационные системы и обработки по запросам пользователей;
- учебно-методическое обеспечение подготовки специалистов по приёму и обработке комплексной информации с малых космических аппаратов и КА ДЗЗ.

СОЗДАНИЕ ПРОЕКТОВ АГРОПОЛИГОНОВ ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ ДАННЫХ ДЗЗ

В.И. Повх, Е.А. Воробейчик

«Южный региональный информационно-аналитический центр»,
Ростов-на-Дону
E-mail: dzz@dzz.ru

Разработка и ввод в действие новых средств дистанционного зондирования Земли делают актуальной проблему валидации данных поступающих с бортовых информационно-измерительных комплексов. Для решения указанной проблемы разработаны проекты для двух агрополигонов на территории Ростовской области.

Теоретической основой нахождения взаимосвязи данных дистанционного зондирования и параметров состояния системы почва – растительность являются уравнения электромагнитного поля, позволяющие связать квадрат модуля поля (интенсивность излучения) с распределением рассеивающих неоднородностей растительного покрова/подстилающей поверхности, представляемых как совокупность точечных рассеивателей, сплошной среды и шероховатой поверхности. При определённых приближениях имеется возможность получать теоретические решения соответствующей задачи. Практическое решение сложнее в организационном плане, но даёт более достоверные результаты. В совокупности теоретический и экспериментальный подходы составляют основу достаточно высокой достоверности информационно-измерительных технологий, которые позволяют определить параметры состояния растительного покрова и подстилающей поверхности на основе использования данных ДЗЗ.

На первом этапе каждого из проектов осуществляется сбор информации, необходимой для всесторонней физико-географической, агроклиматической и агропроизводственной характеристики агрополигонов, определяются режимы эксплуатации и основные требования к аппаратному обеспечению. На втором этапе работ выполняется сбор картографической информации агроклиматических станций, научно-исследовательских и производственных организаций сельскохозяйственного профиля, определены основные требования к выбору тестовых объектов.

Для тестовых полей, контрольных участков и объектов наземных обследований на территории проведено предварительное дешифрирование. В результате определены их площади. По результатам этих этапов составлены ГИС-проекты, включающие ряд векторных слоев для пространственно-объектового представления структуры агрополигонов, атрибутивной и табличной информации.

Для агрополигона ДЗНИИСХ составлена фитохронологическая шкала выбора оптимальных сроков дистанционного зондирования сельскохозяйственных угодий, которая позволяет оптимизировать сроки дистанционного зондирования в зависимости от изменения агроклиматических условий каждого конкретного года и соответствующего сдвига по срокам фенофаз и сроков уборки сельскохозяйственных культур.

Спектрофотометрирование сельскохозяйственных культур позволило создать информационный портрет каждого объекта или классов объектов. На большинстве спектрограмм нанесены для наглядности данные о спектральных параметрах бортовых спектрометров КА «Канопус» и ALOS. Выбор в качестве тест-данных информацию с КА ALOS обусловлен близостью спектральных и пространственных характеристик бортовой спектрофотометрической аппаратуры. Были проведены спектрофотометрические из-

мерения коэффициента спектральной яркости ряда сельскохозяйственных культур.

Разработанные проспекты агрополигонов служат основой для валидации данных ДЗЗ перспективных спутников, ориентированных на решение задач АПК.

СОЗДАНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ БАЗЫ МНОГОМЕРНЫХ МАССИВОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А.М. Новиков¹, Д.Ю. Медведев²

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Геофизический центр РАН, Москва

E-mail: novikov@wdcb.ru

В работе представляется создание и оптимизация базы многомерных массивов для хранения климатических данных. Многомерность вытекает из представления данных по измерениям времени, географических координат и других возможных уровней. В качестве данных для хранения используются климатические данные о Земле (реанализ на регулярной сетке) и прогнозы погоды. Объём данных составлял для первого случая ~2 Гбайт и ~30 Гбайт с уровнями для одной переменной и во втором случае ~18 Мбайт для всех переменных в одном отчёте по времени и ~6–10 Гбайт для всех отчётов за сутки, с накоплением.

Структура используемого решения включает в себя объектно-реляционную СУБД PostgreSQL и встроенные процедуры на языке Java, что совместно обеспечивает кросс-платформенность и удобство расширения функциональности. В качестве основы для схемы хранения была использована «Общая модель данных(CDM)», созданная на основе таких форматов научных данных как NetCDF, HDF5, OpenDAP. Данные организуются в иерархическую структуру и хранятся в виде бинарных объектов — блобов. Отличительной особенностью является хранение данных, при которых блобы структурируются по определённой схеме и включают в себя определённую форму по измерениям хранимых величин, таким образом исходный многомерный массив разделяется на отрезки или чанки. Меняя размеры чанков можно варьировать скорость извлечения данных в разных видах запросов, например с преобладанием координаты по времени или пространственных (по всей Земле или по всем годам измерений). Для ускорения работы также предусмотрена масштабируемость структуры по кластеру баз данных. Показано, что параллельная версия уменьшает время запросов.

Система разделена на клиентскую и серверную части. Среди доступных клиенту функций такие, как: функции работы с метаданными — создание иерархической структуры организации переменных, добавление и изменение атрибутов, создание, получение или удаление любого элемента структуры; для работы с данными — загрузка чанков фиксированной и произвольной длины, с перезаписью или без, чтение данных по запросу заданной формы и начальным смещениям в многомерном массиве.

Получаемые данные можно визуализировать на таких средствах наблюдения как электронные карты с наложением слоёв (например, Google Maps или Microsoft Virtual Earth), трёхмерные средства отображения, такие как NASA World Wind, или просто получать в виде файлов научных форматов. Преимущество состоит в том, что некоторые базовые преобразования данных возможно делать на сервере в непосредственной близости от самих данных, не загружая сеть и клиента избыточными данными. Практически,

возможно выдавать пользователю графическое отображение результата обработки данных в веб-браузере по запросу на специализированном сайте. Планируется расширить серверную часть функциями обработки данных, как базовыми (добавление или умножение на число, усреднение), так и сложными (такими как свёртка и т. п.). Кроме того, возможно создание удобного языкового интерфейса. В настоящее время проводится тестирование, оптимизация и внедрение системы.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА РЕЧНОГО БАСЕЙНА КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ЕГО СОСТОЯНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

И.Е. Курбатова

Институт водных проблем РАН, Москва

E-mail: irenkurb@yandex

Показаны возможности использования материалов спектральной космической съёмки высокого разрешения для выявления экологического каркаса (ЭК) речных бассейнов различной величины и различного иерархического уровня, а также для разработки предложений по его усилению и реконструкции. Применительно к речным водосборам ЭК — пространственно организованная структура сохранившихся природных территорий и объектов (с различными режимами природопользования), выполняющих основные средообразующие и средозащитные функции. Структура ЭК поддерживает экологическую стабильность территории, предотвращает потерю биоразнообразия и деградацию ландшафта, способствует сохранению водных ресурсов и качества воды.

Основными задачами спутникового мониторинга являются выявление, наблюдение и контроль состояния основных элементов ЭК. К этим элементам относятся:

- ядра (массивы ненарушенных природных территорий — заповедники, заказники, леса, водно-болотные угодья, дельтовые области, крупные водоемы, системы озёр и др.);
- коммуникативные коридоры (соединяющие ядра линейные природные объекты, по которым происходит перемещение вещества и энергии — русла и долины рек, их водоохранные зоны, водораздельные леса, тальвеги, овражно-балочные, пойменные и террасные полосы зональной растительности, лесополосы различного назначения и др.);
- сетевые узлы (места пересечения коммуникативных транспортных коридоров, их различные сочетания);
- очаговые формы (локализованные участки природы разной степени сохранности — колки леса, небольшие озёра и болота, луга, сенокосы, ложбины, балки и др.).

Жизнеспособность и устойчивость бассейновых систем зависит от «мощности» и сохранности экологического каркаса, степени его фрагментарности. В рамках проблемы сохранения сложившегося каркаса и восстановления его недостающих связующих частей формулируются более сложные задачи мониторинга — выявление земель реставрационного фонда для их рекультивации (бедлендов, заброшенных пашен, выбитых пастбищ и пр.) и определение оптимальных мест для создания искусственных соединительных элементов (например, посадок лесополос).

В качестве объекта спутникового мониторинга выбрана находящаяся в зоне лесостепи верхняя часть водосбора р. Сейм (Курская обл.) площадью

4840 км². Значительная антропогенная нагрузка на рассматриваемую территорию, проявляющаяся в её интенсивном сельскохозяйственном использовании и, как следствие, развитии эрозионных процессов, приводящих к загрязнению и обмелению рек, деградации малых водотоков, снижению биоразнообразия, сводит долю сохранившихся естественных ландшафтов к минимуму. Поэтому для данного водосбора в ЭК следует включать и природно-антропогенные территории.

Исходным материалом для определения основных элементов каркаса являлись топографические карты масштабов 1:1 000 000 – 1:200 000 (1980–1993 гг. издания). Выявление современного экологического состояния водосбора осуществлялось по космическим изображениям ИСЗ LANDSAT за 2005–2007 гг., что позволило получить объективную картину произошедших изменений. По результатам совместного анализа исходной информации составлена карта природно-экологического каркаса бассейна р. Сейм в масштабе 1:500 000, легенда которой характеризует типы основных блоков ЭК, их функции, виды основных элементов. Карта служит базовой для разработки программ улучшения экологической обстановки на рассматриваемом речном водосборе и восстановления его стокорегулирующей способности и качества вод.

СРАВНЕНИЕ ДВУХ СЦЕНАРИЕВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ РАССЕИВАЮЩЕГО ОБЪЕКТА ЛИДАРНЫМИ СИСТЕМАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Г.П. Арумов, А.В. Бухарин

Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: tumbul@iki.rssi.ru

Значительный интерес в задачах мониторинга атмосферы представляет объединение информации, полученной по данным спутниковых наблюдений, с результатами лидарного зондирования. Данные со спутников позволяют наблюдать крупномасштабные поверхностные распределения рассеянного аэрозолем излучения. Лидарные системы, в принципе, могут дать информацию о базовых характеристиках аэрозоля, к которым мы относим размеры и концентрацию частиц. Однако определение указанных характеристик лидарами неразрывно связано с решением некорректной обратной задачи. В этом сценарии, который в настоящее время является основным, обычно используются лидарные сигналы на нескольких длинах волн и априорная информация о зондируемом объекте, которая часто не известна. Алгоритм решения обратной задачи характеризуется значительным объёмом настроечных параметров и предположений, при детализации которых трудно избежать внесения субъективного фактора. Появляются проблемы в обосновании достоверности полученного решения. В результате до сих пор лидарные системы практически не используются для определения и сравнения микрофизических параметров рассеивающих объектов. Такая ситуация сохраняется в течение 50 лет со времени создания первых лидаров, как и необходимость разработки новых инструментальных методов для определения микроструктуры аэрозоля в атмосфере. Дальнейшее развитие основного сценария направлено на оптимизацию количества зондируемых длин волн, сигналы от которых позволят получить максимально возможный объём информации о зондируемом объекте. Однако рассеивающие частицы, как правило, имеют сложное распределение по размерам, их состав и оптические свойства не известны, частицы могут быть несферическими и т. д. В каче-

стве альтернативного подхода предлагается сценарий, в котором фигурирует индикатор размера частиц. Указанный индикатор так же как эффективный радиус частиц определяется посредством моментов для функции распределения частиц по размерам, однако, в отличие от эффективного размера частиц является измеряемой величиной. Индикатором размера частиц может выступать ореол рассеяния вперед вокруг пучка. Чем больше угловой размер ореола, тем меньше размер частиц. По угловому размеру этого ореола с исследуемым объектом сопоставляется некоторый эквивалентный объект, состоящий из монодисперсных частиц. Этот объект имеет такое же лидарное отношение, что и объект. По концентрации монодисперсных частиц для эквивалентного объекта возможно сравнение микроструктуры рассеивающих слоев в атмосфере. Для этого достаточно измерить пропускание атмосферы на трассе между спутником и некоторой точкой на поверхности Земли. Затем связать параметр концентрации частиц с излучением, рассеянным частицами аэрозоля. Предложенный сценарий применим для несферических частиц.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ КОМПАНИИ «СКАНЭКС» ДЛЯ ПРИЁМА И ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Д.И. Федоткин, И.Н. Фарутин
ИТЦ «СканЭкс», Москва
E-mail: info@scanex.ru

Инженерно-технологический центр «СканЭкс», отметив свой 20-летний юбилей, на сегодняшний день является одним из лидеров российского рынка ДЗЗ, предлагающим полный комплекс интегрированных решений по приёму, хранению и обработке данных ДЗЗ.

Отличительная черта предлагаемых ИТЦ «СканЭкс» технологий: направленность на ускорение доступа к спутниковой информации, удешевление её получения и упрощение её обработки. Основой этих технологий являются универсальные аппаратно-программные комплексы «УниСкан» для приёма информации в X-диапазоне с более чем 15 различных спутников дистанционного зондирования Земли, таких как SPOT, LANDSAT, Formosat, IRS, EROS, Cartosat, RADARSAT, ENVISAT и др. В настоящее время в мире функционирует около 50 таких приёмных комплексов.

На территории России аппаратно-программными комплексами «УниСкан» оснащены три ведомственные сети приёмных центров на базе предприятий министерства природных ресурсов, министерства по чрезвычайным ситуациям и федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. На базе комплексов «УниСкан» построена и собственная сеть приёмных центров ИТЦ «СканЭкс», развернутых в четырех городах и покрывающая всю территорию России. В сутки эта сеть, состоящая в общей сложности из десятка антенных систем, обеспечивает приём более сотни сеансов съёмки, позволяя за месяц принимать до 20 Тбайт информации.

Помимо крупных государственных и коммерческих предприятий, активными потребителями технологий приёма и обработки данных ДЗЗ являются научно-исследовательские организации и вузы. На сегодняшний день более 15 центров ДЗЗ в ведущих университетах России, Казахстана, Испании оснащены комплексами «УниСкан».

Разрабатываемое и поставляемое центром «СканЭкс» программное обеспечение позволяет управлять наземными станциями приёма спут-

никовой информации; выполнять предварительную обработку полученных данных; создавать каталоги данных дистанционного зондирования; автоматизировать процессы пакетной обработки геопространственной информации; выполнять тематическую обработку данных оптической и радиолокационной съёмок и др. Многие программные компоненты являются универсальными и могут использоваться для обработки данных с различных спутников, с различных съёмочных систем, представленных в различных обменных форматах.

Наиболее популярны среди специалистов по ДЗЗ и ГИС приложения ScanMagic® и ScanEx Image Processor®, имеющие сотни пользовательских лицензий в России и за рубежом. Данные программные решения имеют широкие функциональные возможности и позволяют выполнять импорт/экспорт различных типов данных, каталогизацию данных ДЗЗ, радиометрическую калибровку, географическую привязку, ортотрансформирование изображений и создание мозаик, обработку мультиспектральных изображений и обработку радиолокационных данных, сегментацию и классификацию изображений, построение ЦМР DEM и 3D-моделирование, и многое другое.

Замыкают технологическую цепочку геопортальные сервисы, позволяющие создавать различные 2D- и 3D-веб-картографические решения. К настоящему времени на технологиях компании «СканЭкс» построены и успешно функционируют несколько специализированных ведомственных геопорталов: в МЧС России, нефтяной компании «Лукойл», в РЖД и др.

ИТЦ «СканЭкс» имеет многолетний опыт в приёме и обработке спутниковой информации, что позволяет создавать и предлагать клиентам компании эффективные технологические решения. Практически все производственные работы внутри компании в ходе подготовки, хранения, обработки данных ДЗЗ и при выполнении всего многообразия различных тематических проектов осуществляются с использованием собственного программного обеспечения.

ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ ДЛЯ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ULTRA-VIOLET C ON THE EARTH SURFACE AND WILDFIRES EARLY DETECTION

G. Georgiev, R. Kancheva

Space and Solar-Terrestrial Research Institute — Bulgarian Academy of Sciences
(SSTRI-BAS), Sofia

E-mail: ggeorgie@stil.bas.bg

The necessity of early forest fire detection is obvious moreover that a wildfire doubles its area every few minutes. The main idea presented in this paper is the development of fire warning network which will cover a large forest area and will work autonomously during a few years. Each node of the network will cover an area

of one square kilometer and will detect fires through an optical method at the very beginning of a fire (the moment fire flames occur).

Related to this application some characteristics of different types of detectors working in the Ultra Violet C spectral range will be discussed, namely: spectral response, sensitivity, power consumption, easy to driven, etc. The UVC attenuation in the atmosphere at different wave lengths of the coming from the sun and the fire radiation will also be discussed in terms of maximum area to be covered by one node of the fire warning network.

ВЫЯВЛЕНИЕ ВИДОВ ГРУБЫХ ИСКАЖЕНИЙ ИНФОРМАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА МТВЗА КА «МЕТЕОР-М» № 1

А.А. Козлов, М.В. Бухаров

ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

E-mail: kozlovaalexandr@gmail.com

Микроволновый радиометр МТВЗА (модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы) разработан для космического аппарата «Метеор-М» № 1, запуск которого состоялся 17 сентября 2009 г. 26 спектральных каналов МТВЗА настроены на приём уходящего теплового излучения Земли и атмосферы на частотах 10,6; 18,7; 23,8; 31,5; 36,7; 42; 48 и 91 ГГц, а также в линиях поглощения кислорода 52–57 ГГц и водяного пара 183 ГГц.

Это первый действующий отечественный радиометр такого типа, который планируется установить ещё на нескольких полярно-орбитальных спутниках. Поэтому оценка качества поступающей информации МТВЗА, видов возникающих в ней грубых искажений и их статистики важны для создания более совершенных экземпляров такого радиометра.

Для наиболее полного обзора всех видов возможных искажений использовалась предварительно откалиброванная информация всех действующих спектральных каналов МТВЗА, представленная в виде глобальных карт регистрируемого радиотеплового излучения Земли. Такие карты с помощью автоматизированной системы обработки ежедневно выпускались в ГУ «НИЦ «Планета» с 15.01.2010 по 10.05.2010 г., после которого произошел отказ бортового запоминающего устройства. Поэтому рассчитанная статистика грубых искажений информации МТВЗА относится только к указанному периоду.

В докладе представлены основные принципы проводившейся обработки данных МТВЗА, показан процесс автоматизации и оптимизации процесса обработки спутниковой информации аппаратуры МТВЗА. Приведены примеры типичных грубых искажений информации после калибровки данных МТВЗА и статистика искажений, выявленных за период анализа.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ
ЭКРАНИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ УФ-С-ИЗЛУЧЕНИЯ**

*А.А. Белов*¹, *В.В. Егоров*², *А.П. Калинин*³, *И.В. Крысюк*¹, *И.Д. Родионов*⁴,
*И.П. Родионова*⁴, *С.Н. Степанов*¹

¹ НТЦ «Реагент», Москва

² Институт космических исследований РАН, Москва

³ Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва

⁴ Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

E-mail: victor_egorov@mail.ru

В большинстве практических случаев источники УФ-С-излучения (природные и техногенные) бывают экранированы зданиями, растительностью, элементами конструкций силовых энергетических установок и т. п. При этом приходится иметь дело с регистрацией не прямого, а многократно рассеянного излучения, обладающего малой интенсивностью. Анализ лабораторных и натурных измерений УФ-С-излучения от экранированных коронных разрядов, возникающих на высоковольтных электроустановках, показал возможность дистанционного обнаружения техногенных источников ультрафиолетового излучения (линии электропередач, силовые энергетические установки и др.). Регистрация именно С-области ультрафиолетового излучения позволяет использовать солнечнослепые датчики излучения, что значительно расширяет возможности их использования в дневное время при наличии интенсивного солнечного излучения. В качестве инструмента исследования нами использовался монофотонный время-координатно-чувствительный прибор УФ-С-излучения «Корона», разработанный в НТЦ «Реагент». Особенностью этого прибора, в отличие от имеющихся зарубежных и отечественных аналогов, является его высокая чувствительность и возможность регистрации временной зависимости интенсивности УФ-С-излучения. Это позволяет не только регистрировать наличие слабого многократно рассеянного УФ-С-излучения, но и делать выводы о его характере и особенностях. Наличие корреляции данных дистанционных измерений, выполненных с помощью монофотонного датчика, с измерениями *in situ* подтвердило преимущества разработанного метода обнаружения и анализа как прямых, так и экранированных источников УФ-С-излучения по сравнению с имеющимися на сегодня аналогами.

Следует отметить, что прибор «Корона» может найти применение в космических исследованиях, например, для обнаружения озоновых дыр со спутников.

НОВАЯ ЭТАЛОННАЯ БАЗА РОССИИ ДЛЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ОПТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ УРОВНЕЙ ТОЧНОСТИ ПОЛУЧАЕМЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

*А.С. Панфилов¹, В.Р. Гаврилов¹, В.С. Иванов¹, В.Н. Крутиков²,
Б.Е. Лисянский¹, С.П. Морозова¹, С.А. Огарёв¹, Б.Б. Хлевной¹,
В.И. Саприцкий¹*

¹ Всероссийский НИИ оптико-физических измерений (ВНИИОФИ),
Москва

² Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии,
Москва

E-mail: panfilov-m4@mail.ru

В 2005 г. Росстандарт принял согласованное с Роскосмосом решение о создании эталонного радиометрического комплекса для обеспечения калибровки прецизионной аппаратуры наблюдения Земли (АНЗ). Оно было направлено на повышение уровня российской стендовой базы радиометрической калибровки АНЗ. ФГУП «ВНИИОФИ» в 2006–2009 годах разработал такой комплекс, который в 2010 г. прошел процедуру утверждения в качестве Государственного первичного специального эталона.

Эталон реализован в виде двух установок в спектральных диапазонах 0,3–3 мкм и 3–25 мкм и включает 3 широкоапертурных (до 600 мм) эталонных излучателя — интегрирующую сферу, монохроматический источник излучения и модель чёрного тела, а также большой состав устройств, обеспечивающих высокоточное воспроизведение радиометрических величин этими излучателями. Проведенные всесторонние метрологические исследования показали, что он выполнен на высоком научно-техническом уровне, соответствующем мировым стандартам.

Представлены основные характеристики эталона и данные по проекту Государственной поверочной схемы для средств измерений радиометрических величин. Сравнение старой (ГОСТ 8.195-89) и новой поверочных схем показывает, что с внедрением нового эталонного комплекса возможно повышение точности радиометрической калибровки АНЗ примерно в 5–10 раз.

Предложено продолжение работ по созданию системы метрологического обеспечения наземной калибровки АНЗ в первую очередь в таких направлениях как:

- разработка рабочих эталонов для использования их в процессе создания АНЗ;
- создание калибровочной установки для калибровки инфракрасной аппаратуры в низкофоновых условиях, соответствующих штатной эксплуатации.

**ОПТИКО-РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АППАРАТУРЫ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕЧЕНИЙ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ**

*С.В. Хвалей*¹, *Ю.В. Беляев*¹, *В.В. Веллер*¹, *А.В. Домарацкий*¹, *В.А. Сосенко*¹,
*В.М. Синельников*²

¹ НИИ ПФП им. А.Н. Севченко Белгосуниверситета, Минск, Республика Беларусь

² ИЗМИРАН, Троицк Московской обл.
E-mail: info@remsens.by; remsens@niks.by

В рамках научно-технической программы Союзного государства «Разработка базовых элементов, технологий создания и применения орбитальных и наземных средств многофункциональной космической системы» («Космос–НТ») НИИ ПФП им. А.Н. Севченко Белгосуниверситета, Минск, Республика Беларусь совместно с ИЗМИРАН разрабатывается научная аппаратура для космического эксперимента «Диагностика», ориентированного на спутниковый мониторинг околоземной среды и эффектов природных и техногенных воздействий. Данный эксперимент включен в перечень экспериментов по направлению «Геофизика и околоземное космическое пространство» в рамках долгосрочной программы научно-прикладных исследований и экспериментов на Российском сегменте Международной космической станции.

Разработке и изготовлению подлежит оптико-радиофизический комплекс (ОРФК), предназначенный:

- для измерения оптических и плазменных параметров атмосферы и ионосферы в высотном диапазоне до 90–400 км, мониторинг их регулярной и неоднородно-волновой структуры (в зависимости от характера и интенсивности различных источников воздействия);
- исследований физических явлений в околоземном космическом пространстве, обусловленных естественными (природными) источниками возмущений и техногенными воздействиями, с акцентом на исследование модификаций атмосферы и ионосферы, вызываемых мощными наземными нагревными стендами;
- обработки технических средств и методов мониторинга околоземного космического пространства, в том числе эффектов глобальных и региональных возмущений параметров атмосферы и ионосферы Земли вследствие природных и техногенных катастроф;
- повышения достоверности прогнозирования природных и чрезвычайных техногенных событий путём интеграции данных космического и наземного сегментов.

Научная аппаратура ОРФК включает в свой состав:

- модуль оптический (МО);
- модуль радиофизический (МР).

Модуль оптический предназначен для проведения исследований по следующим направлениям: исследование ночного свечения атмосферы; исследование оптических явлений, связанных с высотными электрическими разрядами; исследование оптических явлений, связанных с воздействием мощных радиоволн («нагревных» стендов) на ионосферу.

Модуль оптический состоит из блока оптических датчиков и блока сбора информации.

Блок оптических датчиков состоит из датчика вертикальных распределений; датчика регистрации изображений; датчика гидроксильных свечений, системы пространственного сканирования.

Датчик вертикальных распределений предназначен для регистрации пространственно-временных распределений эмиссий атомарного кислорода на длинах волн 557,7 нм (на высотах 110–130 км), 630,0 нм (на высотах 290–320 км), азота на длине волны 427,8 нм.

Датчик регистрации изображений предназначен для регистрации спектрональных изображений эмиссий, связанных с высотными электрическими разрядами, с помощью матричного приёмника излучения.

Датчик гидроксильных свечений предназначен для регистрации спектрально-временного и пространственного распределения ночных свечений гидроксильных эмиссий и эмиссий, связанных с высотными электрическими разрядами в диапазоне длин волн 350–1040 нм на высотах от 90 до 300 км.

Система пространственного сканирования предназначена для наведения и удержания полей зрения оптических модулей на объект исследования.

Блок сбора информации обеспечивает тестирование и управление режимами работы оптических датчиков, записи данных и служебной информации, взаимодействие блока оптических датчиков со служебными системами спутника.

Модуль радиофизический состоит из радиочастотного анализатора спектра и регистратора полного электронного содержания (измеритель ПЭС). Радиочастотный анализатор спектра представляет собой измеритель спектра радиочастотных шумов естественного и искусственного происхождения в диапазоне от 100 кГц до 48 МГц. В качестве дополнительного модуля в приборе используется резонансный импедансный зонд, предназначенный для измерения плазменного резонанса вдоль орбиты космического аппарата и параметров плазменных неоднородностей. Измеритель ПЭС предназначен для определения высотного распределения электронной концентрации ионосферы Земли (от основания ионосферы до высоты низкоорбитального космического аппарата) по данным радиозатменных измерений амплитудных и фазовых задержек сигналов космических аппаратов глобальных навигационных систем GPS/ГЛОНАСС.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

А.И. Захаров, Л.Н. Захарова, М.В. Сорочинский
Фрязинский филиал ИПЭ им. В.А. Котельникова РАН
E-mail: aizakhar@sunclass.ire.rssi.ru

В последние десятилетия отмечается бурное развитие как радиолокационных исследований поверхности Земли из космоса, так и оптических. Поскольку каждый метод исследования имеет как преимущества по сравнению с другим, так и недостатки, представляется полезным одновременное использование съёмок одной и той же территории в оптическом и радиодиапазоне и последующий совместный анализ.

Совместная обработка данных радиолокации и изображений, снятых в оптической зоне спектра, выделена в современном научном сообществе в качестве отдельного направления, так как во многих случаях именно их совместное использование дает наиболее полные результаты. Изображения в оптическом диапазоне содержат информацию об отраженной или переотражённой энергии солнечного света, а значит и информацию о химических свойствах поверхностного слоя, в то время как изображения, полученные в микроволновом диапазоне, предоставляют данные о геометрических и фи-

зических параметрах поверхности: шероховатости, физической структуре и диэлектрических свойствах.

Основной целью совместной обработки данных радиолокационного и оптического происхождения является расширение круга задач, решаемых методами дистанционного зондирования Земли, а также повышение качества данных (например, увеличение надёжности, устранение или сокращение степени неоднозначности, оптимизация детальности, необходимая для классификации, заполнение областей отсутствия данных в случае облачности для оптических изображений или затенённых областей для радиолокационных, и др.)

Интегрированная система может представлять собой единый аппарат, несущий одновременно два и более сенсоров (в их числе оптический и радиолокационный). Интегрированная система может представлять собой также набор спутников с разными приборами, а собственно интеграция данных может происходить на наземном пункте, после сеанса наблюдения.

Наиболее очевидная схема съёмки и естественная потребность наблюдения заключаются в том, чтобы проводить наблюдения в оптическом и радиодиапазоне одновременно. В такой схеме исключаются проблемы наблюдения динамических, быстро меняющихся объектов, улучшаются возможности решения оперативных тактических задач. Очевидно, это был бы идеальный вариант интегрированной системы наблюдения.

В то же время подавляющее большинство научных и хозяйственных задач допускают проведение съёмок с некоторым интервалом времени между наблюдениями исходя из того, что изменения сцены наблюдения во времени не слишком существенны. Существует также большой круг геофизических задач, в которых получаемые результаты обеспечиваются практически с одинаковым успехом оптическим и радиолокационным средствами наблюдения. Кроме того, имеется ряд приложений, где съёмка в разное время разными приборами, дающими неодинаковые сведения, оказывается полезной для более полного решения поставленных задач из-за статичности наблюдаемой сцены.

Размещение оптического и радиолокационного датчика на одном носителе с целью одновременной съёмки целесообразно лишь в случае использования оптического датчика пониженного разрешения, который обеспечил бы полосу захвата, сравнимую с радарной, и имел угол зрения, совместимый с углом зрения радарного датчика. Постоянное перенацеливание оптических систем наблюдения высокого разрешения делает невозможным размещение их на одной платформе с радаром, для которого фиксированная ориентация платформы обязательна.

Таким образом, представляется разумной следующая рекомендация: оптические и радиолокационные датчики высокого разрешения необходимо размещать на разных платформах, особенно при наличии требования перенацеливания оптического прибора в больших пределах относительно надирра. Интегрирование радиолокационных и оптических наблюдений должно выполняться на уровне координации наблюдений космических аппаратов.

ПАТЕНТНО-КОНЪЮКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

С.А. Матвиенко, О.Л. Мороз

«Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля, Днепропетровск

E-mail: matvienko_2005@ukr.net

Одним из основополагающих критериев по оценке новизны разрабатываемых технических решений является наличие патентов, создание которых невозможно без проведения широких патентно-конъюктурных исследований.

Работе по созданию новых методов и систем мониторинга гравитационного поля предшествовала большая поисковая работа по анализу существующих методов и устройств, а также обоснованию наиболее перспективных направлений по созданию новых систем. Патентный поиск по США, России, ЕС, Франции и Канаде показал, что наиболее активной страной в области гравитационных измерений является США, где зарегистрировано более 200 патентов. Анализ выявленных объектов интеллектуальной собственности показал, что все патенты основаны на механических методах измерения ускорения силы тяжести. Такое заключение позволяет утверждать, что созданные Государственным предприятием «Конструкторское бюро «Южное» и запатентованные на Украине (4 патента) устройства, основанные на радиофизическом методе измерения параметров гравитационного поля, имеют мировой приоритет.

ПОЛЁТНАЯ И НАЗЕМНАЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА МНОГОЗОНАЛЬНЫХ СКАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ МСУ-100 И МСУ-50

А.В. Никитин, Б.С. Дунаев, Т.В. Кондратьева, И.В. Полянский

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: andvnik935@yandex.ru

В настоящее время широкое использование получают многозональные сканирующие съёмочные системы, на линейных ПЗС-детекторах, которые производят съёмку за счёт собственного движения КА по орбите. Это происходит главным образом за счёт достижения приемлемого соотношения угол поля зрения — пространственное разрешение. В оптико-физическом отделе ИКИ РАН разрабатываются и изготавливаются многозональные сканирующие устройства МСУ для КА дистанционного зондирования Земли из космоса «Метеор-М». Они обладают разрешением 50 и 100 м по поверхности Земли и предназначены главным образом для мониторинга и оценки состояния снимаемой поверхности. С целью обеспечения географической координатной привязки изображений используются данные с навигационных приборов Комплекса координатно-временного обеспечения (ККВО) КА — прибора звездной ориентации (БОКЗ-М) и системы спутниковой навигации (АСН-М-М). Для успешного применения навигационных данных при координатной привязке необходимо иметь представление о геометрических параметрах оптической системы съёмочной камеры (фокусное расстояние, углы наклона, дисторсия). В работе рассмотрены вопросы определения геометрических параметров (элементов внутреннего и внешнего ориентирования) камер МСУ, которые используются при трансформировании сканерных изображений в заданную картографическую проекцию, их географической координатной привязки, совмещения спектральных

каналов и синтеза многоканальных спектральных изображений. При использовании данных геометрической калибровки достигнута точность географической координатной привязки в несколько элементов разрешения и точность совмещения спектральных каналов в десятые доли элемента разрешения. Рассматриваются как наземная, так и полетная части калибровки камер МСУ.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОПороГОВЫХ АлГОРИТМОВ ДеКОДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СИСТЕМ ДЗЗ

В.В. Золотарёв, Р.Р. Назиров, И.В. Чулков
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: zolotasd@yandex.ru

Возможности ускорения развития различных систем ДЗЗ определяются тем, насколько успешно развиваются методы кодирования сигнала и канала передачи данных. Такие методы обязаны обеспечивать экономное использование необходимых ресурсов: полосы частот сигнала, мощности передатчика, методов модуляции, а также средств записи/хранения сигнала и т. д. Важнейшая роль в успешном создании подобных систем, в том числе и для систем высококачественного стереотелевидения, после методов кодирования фото- и телевизионного изображения, принадлежит помехоустойчивому кодированию.

В настоящее время для всех новых систем цифровой связи обычно разрабатываются также свои методы помехоустойчивого кодирования, без использования которых реализация предлагаемых методов с учётом всех уже утверждённых стандартов, ТУ и конкретных условий применения фактически невозможна.

Одним из наиболее перспективных алгоритмов помехоустойчивого кодирования и последующего декодирования являются многопороговые декодеры (МПД) для блоковых и свёрточных самоортогональных кодов. Они могут обеспечить высокую помехозащищённость даже в каналах с большим уровнем шума на произвольно больших скоростях. В ИКИ РАН успешно испытаны макеты МПД-декодеров для модемов систем ДЗЗ на скорости более 1 Гбайт/с и решены технологические вопросы для перехода на скорости до 5 Гбайт/с и более. Именно способность декодирования простейшими способами сверхвысокоскоростных потоков цифровых данных позволяет считать МПД-алгоритмы наиболее перспективными методами для новых цифровых систем ДЗЗ, связи и вещания, а также для передачи особо больших объёмов данных в каналах с большим шумом.

В докладе представлены сравнительные характеристики МПД и других алгоритмов помехоустойчивого кодирования по быстродействию, сложности реализации и энергетическим характеристикам.

Ведётся патентование некоторых особенно важных результатов исследований и разработок.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (проект № 08-07-00087а).

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ РАСПРЕДЕЛЁННО-ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ ДАННЫХ

А.В. Замятин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: zamyatin@tpu.ru.

Несмотря на стремительное развитие современных систем и программ глобального аэрокосмического мониторинга, с ростом доступности данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) различного спектрального и пространственного разрешения и с распространением коммерческого программного обеспечения обработки и интерпретации аэрокосмической информации, позволяющих проводить широкому кругу пользователей автоматизированный анализ явлений и процессов ландшафтного покрова в региональном масштабе, особую значимость в мире получили региональные системы и центры аэрокосмического мониторинга, обеспечивающие приём, предварительную обработку, архивирование, каталогизацию аэрокосмических данных и их распространение конечным потребителям. Учитывая обширные территории Российской Федерации, в которой отдельные субъекты по площади порой соответствуют нескольким странам мира, необходимость в развитых региональных и территориальных центрах аэрокосмического мониторинга, ориентированных на региональные научные изыскания с учётом наземных наблюдений и другой доступной местной информации, повышающей адекватность проводимых исследований, очевидна. Однако, традиционно, вопросам создания наземных сегментов (в отличие от орбитальных) региональных и территориальных систем аэрокосмического мониторинга с центрами приёма, обработки и распространения, достаточного внимания не уделялось.

В связи с вышеизложенным предлагается вариант решения задачи построения системы аэрокосмического мониторинга нового поколения, базирующейся на результатах современных исследований в области информационных технологий и разработки математического и программного обеспечения сложной обработки данных ДЗЗ. Это позволит при решении современных задач аэрокосмического мониторинга наделять такие системы не существовавшими ранее возможностями создания оригинальных информационных продуктов с учётом доступных вычислительных мощностей, а также способствует обеспечению более развитого доступа к ним потребителей.

С учётом возможностей совершенствования в докладе изложены принципы построения региональной информационной системы аэрокосмического мониторинга, включая требования к системе, её обобщенную структуру, а также модульную структуру подсистем основной обработки данных.

Отличительной особенностью системы является возможность использования данных ДЗЗ с различными характеристиками, позволяющая с высокой степенью точности и оперативности выполнять сложную интеллектуальную обработку данных и создавать широкий спектр оригинальных информационных продуктов, направленных на решение задач аэрокосмического мониторинга. Значительное увеличение производительности обработки данных достигается применением методов и алгоритмов, адаптированных для распределённо-параллельных вычислений, применимых как на дорогостоящих суперкомпьютерах, так и на кластерах из недорогих персональных электронных вычислительных машин.

В частности показано, что основным потенциалом совершенствования систем аэрокосмического мониторинга является применение более сложной интеллектуальной обработки данных ДЗЗ, включающей автоматизированное параметрическое и непараметрическое дешифрирование мульти- и гиперспектральных аэрокосмических изображений (АИ) с различным пространственным и спектральным разрешением, построение моделей анализа ландшафтного покрова по разновременным данным и их использование при построении прогнозных ландшафтных карт, развитый пространственный анализ, выполняемый с использованием оригинальных и стандартных систем обработки и интерпретации данных ДЗЗ, современных геоинформационных систем, реализованных в единой информационной среде. Кроме того, возможно совершенствование процедур архивирования, каталогизации и передачи данных по каналам связи за счёт использования в них оригинальных методов сжатия АИ без потерь с учётом междиапазонной зависимости многоканальных данных ДЗЗ, а также сжатия АИ с потерями, допускающего автоматизированную обработку восстановленных АИ с приемлемой потерей точности.

Увеличение производительности обработки значительных объёмов аэрокосмических данных реализуется не только за счёт непосредственного использования высокопроизводительной программно-аппаратной среды, но и путём адаптации разработанных методов и алгоритмов обработки данных ДЗЗ к распределенно-параллельным вычислениям.

ПРОЕКТ ГЕТЕРОДИННОГО СПЕКТРОМЕТРА БЛИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ АТМОСФЕР ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

А.В. Родин, Г.Н. Гольцман, А.В. Шураков, А.Ю. Климчук, Н.А. Евдокимова, С.В. Черников

Московский физико-технический институт (государственный университет)
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: Alexander.Rodin@phystech.edu

Предложена концепция перспективного спектрометра сверхвысокого разрешения на основе принципа гетеродинного приёма излучения в диапазоне 1–4 мкм для доплеровских измерений скорости ветра и измерения содержания малых составляющих атмосфер Земли и планет Солнечной системы по колебательно-вращательным линиям поглощения. Прибор использует смеситель и калибратор на основе сверхпроводящих болометров горячих электронов на нитриде ниобия, обладающих рекордной чувствительностью и быстродействием. Ввод излучения и совмещение с излучением гетеродина осуществляется в одномодовом оптическом волокне, что позволяет создать компактный прибор, пригодный к установке на борту КА или в фокальной плоскости телескопа. Ожидаемое спектральное разрешение ограничено стабильностью гетеродина и временем накопления. При дистанционном зондировании с борта орбитального аппарата прибор позволит проводить прямое сравнение результатов моделирования общей циркуляции атмосферы с данными наблюдений, а также осуществлять мониторинг содержания парниковых газов в атмосфере Земли с высокой точностью.

РАСПРЕДЕЛЁННАЯ ПО ВЕРТИКАЛИ ОТ ДНА ОКЕАНА ДО ИОНОСФЕРЫ СИСТЕМА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ МОРЕТЯСЕНИЯ

О.Б. Новик, С.В. Ершов, Ю.Я. Ружин

ИЗМИРАН, Троицк

E-mail: onovik@online.ru

На основе принципов динамической теории упругости, гидродинамики, электродинамики движущихся сред, термодинамики формулируется начально-краевая задача сейсмо-гидро-электромагнитно-тепловой (СГЭМТ) взаимодействия геофизических полей в среде литосферы – океан – атмосфера. Так как рассматривается взаимодействие полей различной физической природы, то в формулировку входят связанные (операторами взаимодействия полей и условиями их сопряжения на контактах сред) дифференциальные операторы различных типов, в том числе, магнитной диффузии и динамической теории упругости (3D-струна). Поэтому система полевых уравнений не имеет какого-либо хорошо изученного в математической физике типа. Назовем её струнно-диффузионной (с-д). Приводится (с физической интерпретацией) теорема корректной разрешимости нелинейной с-д начально-краевой задачи. Визуализируется рассчитанная пространственно-временная картина СГЭМТ-взаимодействия: генерация ЭМ-возмущений в проводящем ($0,02$ см/м) слое верхней мантии слабым (предвестник) сейсмическим возмущением в присутствии геомагнитного поля; пространственная модуляция длинной ЭМ-волны сейсмической волной; «замораживание» на дне моря ЭМ-волны, движущейся из литосферы, из-за высокой ($3,5$ см/м) электропроводности морской воды (это первый измеримый сигнал сейсмического возбуждения под дном Океана); распространение ЭМ-волны в море и УНЧ-эмиссия в атмосферу после удара в дно моря отставшей сейсмической волны, стартовавшей из сейсмического источника вместе с ЭМ-волной. Приводятся расчётные временные ряды сигналов во всех упомянутых геофизических полях в доступных для измерения областях среды. Показывается, что ЭМ-сигнал (несколько сотен пикотесла на дне моря и на его поверхности для слабых сейсмических возбуждений) наследует спектр ($0,1-10$ Гц) сейсмического возбуждения. Полученная картина СГЭМТ-взаимодействия геофизических полей в среде литосфера-океан-атмосфера и численные характеристики расчётных СГЭМТ-сигналов устойчивы относительно неизбежной неточности задания физических и геометрических (например, границы пластов океанской литосферы) характеристик трёхфазной среды, включая сжимаемость воды. Сейсмические, ЭМ, температурные и гидродинамические параметры рассчитанного процесса имеют наблюдавшиеся порядки величин. Таким образом, записи ЭМ-сигналов на дне моря, его поверхности и в атмосфере вплоть до ионосферы могут быть рекомендованы, чтобы обнаружить сейсмическую активизацию под дном моря и волны цунами вдали от берега. Полученная по расчётам схема наземно-космической системы детектирования подготовки моретрясения (очаг землетрясения под дном моря) и цунами включает: донный комплекс (датчики давления, температуры и теплового потока, магнитного и электрического полей; сейсмограф, магнитотеллурическое зондирование); буйковый комплекс (приём информации донного комплекса и передача её на аэростат или спутник, связь с GPS или ГЛОНАСС для передачи данных о динамике уровня моря); аэростатный комплекс (радио-томография на бортовую аппаратуру спутника, радар, оптическое слежение за волнением); спутник (передача информации буйкового и аэростатного комплексов, бор-

товых океанографических данных, включая «тени цунами», на береговую станцию системы прогноза).

РАСЧЁТ И СХЕМА РЕГИСТРАЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ, ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ, МАГНИТНЫХ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, ТЕПЛОВЫХ СИГНАЛОВ ПРЕДВЕСТНИКОВ ПОДВОДНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЦУНАМИ

О.Б. Новик, С.В. Еришов, М.Н. Волгин
ИЗМИРАН, Троицк Московской обл.
E-mail: onovik@online.ru

В прибрежных районах Мирового океана проживает большинство населения Земли, и эта доля постоянно растет. После подводного землетрясения и цунами с очагом около острова Суматра в Индийском океане (26.12.2004 г., около 1/4 млн погибших) детектирование цунами было усовершенствовано путем сбора с помощью GPS-информации с расширенной сети донных сейсмографов, буев и прибрежных GPS-станций о динамике морской поверхности и деформации берега с последующим вычислением распространения цунами. Но 12.01.2010 г. землетрясение с эпицентром 22 км юго-западнее столицы Гаити и на таком же примерно расстоянии от берега Карибского моря (цунами было слабым) унесло опять около 1/4 млн жизней. 27.02.2010 г. погибло около 500 человек от подводного землетрясения и цунами с очагом примерно на 200 миль юго-западнее столицы Чили. В этих случаях землетрясения сбрасывали механические напряжения, накопившиеся от взаимодействия литосферных плит (на российском Дальнем Востоке геодинамические события происходят с участием евразийской плиты). Накопление гигантской энергии деформации плит сопровождается распространением сравнительно слабых волн упругой деформации в тектонически активной океанской литосфере. Именно этот процесс и генерирование им электромагнитных (ЭМ), температурных (Т), гидродинамических волн в электро- и теплопроводной среде литосфера-океан-атмосфера в присутствии геомагнитного, геотемпературного и гравитационного полей моделируется нами (в соответствии с принципами физики и геолого-геофизическими данными) в качестве процесса-предвестника морских землетрясений и цунами. Характеристики расчётных сигналов, в том числе времена добегания до приёмников, соответствуют наблюдениям. Принципиально важна физически и математически осмысленная пространственно-временная картина последовательных стадий трансформации механического процесса (сейсмического возбуждения) под дном моря и ЭМ-процесс над ним, наследующий сверхнизкочастотный спектр сейсмического возбуждения, ибо некоторые говорят, что из-за скин-эффекта ЭМ-сигнал не может пройти сквозь толщу моря (3,5 см/м), а магнетометры, с данными которых совпали наши расчёты, мерили ЭМ-сигналы ионосферных РС-пульсаций, а не литосферные ЭМ-сигналы. Правда, скептики не отвечают на вопрос, почему всякий раз «ионосферный сигнал» приходит с запаздыванием относительно начала землетрясения, получаемым из показаний сейсмометра и сейсмологических расчётов. Это тема, включая визуализацию стадий сейсмо-ЭМ-преобразования и неприменимость соображения о скин-эффекте в рассматриваемом случае, развивается в другом нашем докладе.

На основе проведенных расчётов сигналов различной природы в системе литосфера – океан – атмосфера описывается, включая требования к аппаратуре, принципиальная схема мониторинга моретрясений и цунами, содержащая донный, буйковый, аэростатный и спутниковый комплексы.

Согласно расчётам, первым измеримым сигналом слабого (амплитуда и длительность несколько сантиметров в секунду соответственно) сейсмического возбуждения под дном моря является магнитный сигнал (0,1–10 Гц, несколько сотен пикотесла). Кратко анализируется имеющийся в различных отраслях опыт глубоководной магнитометрии и показывается, что такие характеристики реальны. В ЭМ-блок донного комплекса входят также электрические измерения и МТЗ изменений электропроводности среды под дном, вызываемых деформационным процессом. Чтобы померить температурные сигналы (по расчётам несколько милликельвинов), можно применить кварцевый терморезистор, заглубляемый в донные осадки с помощью спускаемого с корабля стержня известным из морской геотермии способом. В механический блок донного комплекса должны войти и применяемые в традиционных DART-системах детектирования цунами датчики давления (кристалл или дифракционная решетка), а также широкополосный сейсмометр и сейсмометр для сильных движений. Магнитометры и сейсмометры могут быть расположены так, чтобы оценивался азимут эпицентра. Известная в DART акустическая и оптоволоконная связь с буюм даст возможность без потерь в морской среде в режиме реального времени передать информацию донных сенсоров на аэростат и спутник, имеющие радары, оптические системы, связь с GPS и береговыми станциями. Отметим, что в типичном случае удаленности донного комплекса от эпицентра литосферный ЭМ-сигнал, согласно расчётам, скорее может попасть на аэростат и спутник, чем на донную станцию.

РЕГИОНАЛИЗАЦИЯ И РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ В ГЛОБАЛЬНОЙ БД ПО КЛИМАТУ

В.Г. Коновалов, В.В. Мацковский
Институт географии РАН, Москва
E-mail: vladgeo@gmail.com

Разработаны алгоритм и компьютерная программа определения параметров наиболее эффективного уравнения множественной линейной регрессии методом полного перебора $2, \dots, N$ сочетаний независимых аргументов в обучающей выборке. Один и тот же набор аргументов может быть одновременно использован с большим числом различных зависимых переменных. Обеспечена возможность задания в широком диапазоне числа зависимых и независимых переменных и их реализаций. Входной информацией служит либо подготовленный заблаговременно файл данных, либо извлекаемый программой заданный набор характеристик из глобальной базы данных по климату (CRU TS 3.0 <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg-interim/>), где находятся средние месячные значения температуры и влажности воздуха, общей облачности, разности максимальной и минимальной температур воздуха, месячные суммы осадков, повторяемость числа дней с заморозками. Ряды метеоданных в глобальной базе относятся к периоду 1901–2006 гг., пространственный интервал между узлами регулярной сетки равен $0,5^\circ$ по долготе и широте, данные распределены по высотным уровням от 0 до 5734 м над уровнем моря. Метеорологические характеристики в узлах регулярной сетки получены в Climatic Research Unit, England методом экстраполяции с близлежащих пунктов наблюдений. При этом максимальное удаление узла сетки от метеостанций составляет: для осадков 450 км и 1200 км для температуры воздуха. Таким образом, масштаб пространственного интегрирования полей метеоданных в базе данных CRU TS 3.0

примерно соответствует полосе захвата территории спутников среднего разрешения как, например, LANDSAT- 7 и Terra. Учитывая возможность непосредственного использования данных этих спутников для сезонных и годовых гидрологических прогнозов, выполнен сравнительный анализ качества уравнений множественной линейной регрессии $R = f(A_1, \dots, A_N)$ и $R = f(B_1, \dots, B_N)$ на примере рек Амударьи и Сырдарьи — основных источников водоснабжения в бассейне Аральского моря. Здесь R — объём стока или расход воды; A_1, \dots, A_N — прямые измерения осадков и температуры воздуха; B_1, \dots, B_N — эти же характеристики, выбранные из базы данных CRU TS 3.0. В итоге установлено следующее. 1) годовые величины осадков P и температуры воздуха T являются достаточно информативными переменными для получения линейных уравнений $R = f(T)$, $R = f(P)$ приемлемого вычислительного качества; 2) уравнения $R = f(P)$ показывают лучшие результаты при проверке на независимых данных; 3) уравнения $R = f(T)$ на основе данных из CRU TS 3.0 могут быть использованы вместе с другими аргументами для долгосрочных прогнозов годового стока Амударьи, Сырдарьи и Амударья + Сырдарья, когда будущие значения предикторов определяются из моделей циркуляции атмосферы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08-05-00661).

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ АППАРАТУРЫ ИКФС-2

*Ф.С. Завелевич*¹, *А.В. Десятов*¹, *Ю.М. Головин*¹, *Ю.П. Мащицкий*¹,
*А.Г. Никулин*¹, *Д.А. Козлов*¹, *Д.О. Монахов*¹, *И.В. Болмосов*¹, *С.А. Архипов*²,
*В.А. Целиков*², *А.С. Романовский*³

¹ ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», Москва

² ФНПЦ ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

³ НИИ ИСУ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

E-mail: zavelevich@kerc.msk.ru

Бортовой инфракрасный фурье-спектрометр температурного и влажностного зондирования ИКФС-2 разрабатывается в составе космического аппарата «Метеор-М» № 2 и предназначен для измерения спектров исходящего излучения атмосферы Земли. В период с 01.06.2010 г. по 26.07.2010 г. прибор ИКФС-2 прошел предварительные испытания. Целью испытаний являлось:

- подтверждение и уточнение целевых характеристик прибора ИКФС-2 требованиям ТЗ, ТУ и КД при различных режимах эксплуатации;
- проверка правильности выбранных конструктивных решений, отработка конструкторской, эксплуатационной и технологической документации, штатного и испытательного программного обеспечения;
- выявление потенциально ненадежных элементов прибора ИКФС-2;
- выдача заключения о технической готовности прибора к комплексным испытаниям в составе КА.

В рамках предварительных испытаний проводились:

- механические испытания (испытания на прочность к воздействию синусоидальной и случайной вибрации, на воздействия ударных нагрузок, на механические воздействия при транспортировании);
- испытания на климатические воздействия (проверка работоспособности в рабочем режиме при температуре 20 ± 15 °С и относительной влажности до 85 %, в условиях предельных температур (0–40 °С);

- испытания на ЭМС (проверка радиопомех, создаваемых прибором, функционирования при воздействии основного излучения радиопередающих устройств КА);
 - проверка выполнения требований по защите от воздействия ионизирующего излучения космического пространства;
 - испытания на воздействие пониженного атмосферного давления и др.
- Ресурсные испытания, проводимые в рамках ПриИ с целью подтверждения показателей надежности, будут вынесены в отдельный доклад.
- В настоящем докладе кратко представлены методики предварительных испытаний, а также приведены основные полученные результаты, указаны выявленные недостатки и пути по их устранению.

СКОРОСТНОЙ КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ БОРТОВОЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

С.А. Гришин, В.П. Мельников, В.А. Селянтьев, С.С. Гришин
Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск
E-mail: srbas@open.by

В последнее время для скоростной передачи информации с научных приборов, устанавливаемых на борту космических аппаратов (КА), разработчиками научной аппаратуры всё чаще используется интерфейс LVDS (Low-Voltage Differential Signaling — низковольтный дифференциальный метод передачи сигнала), который является быстродействующим, маломощным, помехоустойчивым интерфейсом и обычно применяется для организации скоростного межмодульного соединения по кабелю на расстояния до нескольких метров.

В докладе рассмотрены схемы построения LVDS-устройств информационного интерфейса (УИИ), протокол передачи научных данных и структура программного обеспечения.

Обсуждаются результаты полного цикла работ по проектированию, изготовлению и испытаниям образцов УИИ, входящих в состав прибора лимбового зондирования атмосферы (ПЛЗА) и контрольно-испытательной аппаратуры (КИА).

Прибор ПЛЗА имеет 11 спектральных каналов регистрации рассеянного солнечного излучения в диапазоне измерений 270–1050 нм и предназначен для мониторинга озонового слоя и газовых составляющих атмосферы. Измерительная информация накапливается в блоке электроники прибора ПЛЗА и передается в бортовой измерительный комплекс (БИК) космического аппарата посредством УИИ.

УИИ выполнены на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) в виде электронных модулей в форматах микро-PC и PC104. Для отладки и испытаний скоростных LVDS-каналов передачи информации разработана аппаратура КИА, в состав которой входят: персональный компьютер; модули УИИ с ISA (PCI) шиной; блок аппаратно-программных средств, реализующий функции БИК; пульт отладки и проверки скоростных каналов LVDS; источник питания; измерительные приборы. Разработанное программное обеспечение для КИА позволяет автоматизировать процесс контроля функционирования УИИ и выдачи протоколов испытаний.

СПУТНИКОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КРОТКОВОЛНОВОЙ ОТРАЖЕННОЙ РАДИАЦИИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ ИКОР-М*Ю.А. Скляр¹, В.А. Воробьев¹, В.К. Сахаров¹, В.М. Фейгин²*¹ Саратовский государственный университет (СГУ) им. Н.Г. Чернышевского² НЦ оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы», Москва

E-mail: kafmeteo@sgu.ru

Аппаратура ИКОР-М работает на ИСЗ «Метеор-М» № 1 с сентября 2009 г. и предназначена для измерений уходящей коротковолновой радиации (УКР) на верхней границе атмосферы. Это дает возможность получать значения альбедо и поглощенной солнечной радиации как одной из составляющих радиационного баланса Земли и осуществлять их мониторинг. Прибор создан в виде единого автономного блока, включающего в себя собственно датчик радиации и электронную систему управления. В радиометре ИКОР-М используются болометрические приёмные элементы (ПЭ) с встроенными компенсационными нагревателями — рабочий и опорный. Первый через оптический фильтр обращен в сторону входной апертуры, второй, идентичный рабочему, затенен и направлен в противоположную сторону и служит для компенсации изменений температуры корпуса прибора. Оба ПЭ включены в плечи измерительного моста сопротивлений. Структурно ИКОР-М состоит из датчика радиации, устройства управления, устройства вывода информации, блока питания. Весь датчик в сборе смонтирован в камере, вакуумированной до давления $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. Входной оптический фильтр является частью этой камеры (сварен с ней). Вакуумная камера и блок электроники размещены в общем металлическом теплоемком корпусе. Радиометр расположен на ИСЗ так, что его оптическая ось постоянно направлена в надир.

При включении радиометра, в отсутствие радиации, в нагреватель опорного ПЭ подается заданное напряжение, мощность которого с большой точностью сохраняется неизменной. Измерительный мост настроен так, что устройство управления одновременно подает напряжение в нагреватель рабочего ПЭ, мощность которого балансирует мост. Обе эти мощности практически равны (приёмные элементы по возможности идентичны и размещены на едином теплостоке). При освещении рабочего ПЭ напряжение разбаланса в диагонали моста измеряется с помощью прецизионного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и подается в микроконтроллер устройства управления. Здесь производится формирование управляющего воздействия. С помощью встроенного в микроконтроллер цифро-аналогового преобразователя формируется напряжение, которое через согласующий усилитель подается в нагреватель рабочего ПЭ, обеспечивая балансировку моста. При этом температура ПЭ с требуемой точностью поддерживается неизменной (равной температуре опорного ПЭ). Разность мощностей электрического тока, выделяемых в нагревателях, пропорциональна мощности падающего на рабочий ПЭ излучения. Значения сопротивлений нагревателей известны и хранятся в энергонезависимой памяти микроконтроллера устройства управления. Вычисление результата измерений сводится к определению мощности электрического тока в нагревателе рабочего ПЭ, что осуществляется под управлением программы в микроконтроллере. Результаты измерений подтверждаются фильтрации и масштабированию, после чего под управлением микроконтроллера передаются во внешний накопитель данных. Кроме того, одновременно выводится температура корпуса ИКОР-М, что позволяет в дальнейшем с помощью математической обра-

ботки устранить возможный долговременный температурный дрейф рядов измерений УКР. Градуировка ИКОР-М производится по прямой солнечной радиации с использованием прецизионных пиргелиометров, привязанных к эталону.

Технические характеристики ИКОР-М: энергетический диапазон — 50–500 Вт/м²; спектральный диапазон — 0,3–4,0 мкм; относительная погрешность измерений — не более $\pm 1\%$; постоянная времени — не более 10 с; угол обзора — 60°; режим работы — непрерывный; скорость отсчётов 1/с.

В докладе будут сообщены необходимые технические и научные подробности, представлены иллюстративные материалы.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ, РАЗМЕЩАЕМЫХ НА НАКЛОННЫХ И ПОЛЯРНЫХ ОРБИТАХ

А.М. Полетаев

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург
E-mail: poletam@mail.ru

Представлены сравнительные характеристики современных зарубежных и перспективных российских космических радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны (КРСА) с позиции информативности получаемых радиолокационных данных (РЛД). Вводимая мера основывается на семиотико-информационном подходе, сочетающем количественные (синтаксические), ценностные (прагматические) и содержательные (семантические) показатели РЛД в форме двух- и трёхмерных изображений (РЛИ) участков поверхности Земли (ПЗ). Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) с помощью КРСА как целенаправленный процесс устанавливает информационные связи в тематических задачах и этапах обработки ДЗЗ «объект ПЗ — параметры электромагнитного поля — КРСА — РЛИ — потребитель РЛД». КРСА как гибкие информационно-измерительные системы, способные (программно-алгоритмически, а не аппаратно) в зависимости от заявок (требований) потребителей изменять разрешающую способность РЛИ, размеры кадра, поляризацию и частотный диапазон (шероховатость ПЗ), позволяют ситуационно изменять свойства измерительных пространств и, следовательно, информативность РЛД. Представлены зависимости показателей информативности РЛД от ресурсов КРСА, из которых наиболее критичными являются энергетический (длительность излучения на витке или в сутки), топливный (переориентация диаграммы направленности антенны) и информационный (объём бортового запоминающего устройства). Вариация наклона орбиты КРСА позволяет не только регулировать освещённость солнечных батарей (восполнение энергетического ресурса), но и повышать информативность РЛД путем многокурсного измерения индикатрисы отражения объектов ПЗ (угловых зависимостей эффективной площади рассеяния в двух плоскостях).

**СТРУКТУРА И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
«С1С-2»**

Г.А. Борщева, А.Л. Макаров, Е.Д. Ярмольчук
КБ «Южное» им. М.К. Янгеля, Днепропетровск
E-mail: info@drukconfiaa.com

В соответствии с Общегосударственной космической программой Украины государственным предприятием «КБ «Южное» совместно со смежными организациями создается национальная космическая система наблюдения Земли «С1С-2», предназначенная для получения и предоставления потребителям данных оптико-электронного наблюдения Земли со средним разрешением в панхроматическом, многоспектральных и ближнем инфракрасном диапазонах.

В состав системы входят:

- космический аппарат (КА) МС-2-8;
- наземный комплекс управления космическим аппаратом;
- наземный информационный комплекс;
- наземное вспомогательное оборудование;
- система связи и передачи данных.

Кроме оптико-электронной аппаратуры на КА установлен комплекс научной аппаратуры для мониторинга ионосферы Земли.

Выходная продукция системы будет использоваться для решения задач сельского хозяйства, землепользования, градостроительства, контроля и оценки загрязнения окружающей среды, изготовления цифровых карт местности, решения научных задач.

В соответствии с планами НКАУ запуск МС-2-8 намечен на конец 2010 г.

**ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ МНОГОПороГОВОГО
ДЕКОДИРОВАНИЯ**

В.В. Золотарёв

Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: zolotasd@yandex.ru

При создании систем передачи цифровых данных в проектах дистанционного зондирования Земли необходимо с максимальной эффективностью использовать главный ресурс таких систем — крайнюю ограниченную мощность передатчика спутника. Наиболее эффективный способ решения этой сложной научно-технической проблемы — применение помехоустойчивого кодирования. Эти методы позволяют на основе корректирующих кодов для цифровых данных с большой корректирующей способностью создавать такие системы кодирования и последующего декодирования, которые оказываются эквивалентными увеличению мощности передатчика в 3–5–8 и более раз. Это как раз и соответствует только за счёт правильного применения и реализации алгоритмов исправления ошибок в каналах с большим уровнем шума строить и успешно использовать такие комплексы ДЗЗ с хорошими системами кодирования, которые столь же производительны, как и несколько, до 5–8 таких же спутниковых комплексов, не использующих помехоустойчивого кодирования.

В литературе предполагается рассмотреть основные методы кодирования, развиваемые для применения в системах космической и спутниковой

связи. Проводится сравнение таких методов и показано, что наиболее важными для систем такого типа оказываются многопороговые алгоритмы декодирования (МПД). Рассмотрены критерии выбора кодов для систем ДЗЗ, которые можно применить в подобных системах. Анализируются сложность приёмной и передающей аппаратуры, а также варианты их программной реализации. Рассмотрены методы, обеспечивающие достоверное сохранение переданных данных на земной станции. Обсуждаются интегральные характеристики систем кодирования, реализованных на ПЛИС, а также их итоговая эффективность.

ЭЛЕМЕНТЫ И СИСТЕМЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ПОЛЯРИМЕТРОВ ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

*П.В. Неводовский*¹, *А.В. Морозенко*¹, *А.П. Видьмаченко*¹, *М.Д. Гераймчук*^{2*},
*Ю.П. Курнев*², *Е.П. Неводовский*²

¹ Главная астрономическая обсерватория (ГАО) НАНУ, Киев Украина

² Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев
E-mail: nevod@mao.kiev.ua

Поляризационный метод по ряду объективных причин является весьма эффективным средством для регистрации и определения оптических и физических параметров стратосферного аэрозоля. Проведение поляризационных исследований атмосферы Земли в ультрафиолетовом диапазоне (с длиной волны до 290 нм) позволяет отделить непрозрачную для ультрафиолета тропосферу и поверхность Земли и исследовать только стратосферную компоненту.

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины совместно с Национальным техническим университетом Украины «КПИ» на протяжении 2005–2010 гг. успешно работают над созданием бортовых ультрафиолетовых поляриметров.

Однако при разработке таких устройств возникает ряд дополнительных проблем, наряду со сложностями, присущими всей бортовой аппаратуре такого класса. Так, использование поляризационного метода исследования требует применения сложных поляризационных элементов и разработки нетрадиционных поляризационных модуляторов. Работа в ультрафиолетовом диапазоне создает проблемы при выборе оптических материалов, приёмопередатчиков и источников света.

Решению некоторых проблем, которые возникали при создании как всего прибора, так и его отдельных частей, посвящён данный доклад.

ЮСТИРОВКА АНТЕНН НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ПРИЕМА КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ВНЕЗЕМНОМУ РАДИОИЗЛУЧЕНИЮ

К.Н. Филькин, А.К. Гончаров, О.В. Бекренёв, С.И. Мартынов
ОАО «Российские космические системы», Москва
E-mail: ntsomz@ntsomz.ru

Задачей юстировки является установление соответствия между направлением электрической оси к показаниям оптической или координатной

* *Гераймчук М.Д., Генкін О.М., Івахів О.В.* та др. Елементи і системи поляризаційних приладів для космічних досліджень. Київ: ЕКМО, 2009. 188 с.

системы. Для зеркальных осесимметричных антенн юстировка сводится к проверке отклонения электрической оси антенны от геометрической оси зеркала. Последняя фиксируется либо оптической системой (например, телескопом с оптической осью, параллельной геометрической оси), либо специальной отсчетной координатной системой антенны. В докладе рассматривается случай с координатной системой антенны.

Сущность метода юстировки с использованием координатной системы заключается в приеме исследуемой антенной и соответствующим приёмником радиоизлучения внеземного источника и сопоставления расчетных моментов прохождения этого источника (центра Солнца, Луны, дискретного источника) через диаграмму направленности антенны и моментов появления максимумов сигнала на выходе приемной системы.

Существенным преимуществом методов юстировки по внеземному радиоизлучению перед «наземными» методами, использующими передатчики на вышках, являются сравнительная простота, исключение необходимости в громоздких и дорогостоящих вышках, возможность юстировки при ориентации главного лепестка диаграммы под различными углами места, что снижает влияние атмосферы при юстировке под большими углами к горизонту.

В докладе рассматривается метод юстировки антенных систем по Солнцу. Этим методом были отъюстированы антенные комплексы приемных станций НЦ ОМЗ: ПК-2, ПК-3, СПИ-2,4.

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНЫХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ГОЛОЛЕДА И ФАЗЫ ОСАДКОВ ПО КОМПЛЕКСУ СПУТНИКОВОЙ И ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Е.А. Сизенова¹, М.В. Бухаров¹, Н.С. Миронова¹, В.М. Лосев², В.М. Бухаров²

¹ ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

² ГУ «Гидрометцентр России», Москва

E-mail: bmv@planet.iitp.ru

Отложение льда на внешней поверхности летательного аппарата, возникающее в зоне переохлажденного дождя, существенно влияет на безопасность полета. Поэтому информация о возможности гололеда и фазе осадков важна при метеорологическом обеспечении взлета и посадок воздушных судов, а также при полетах на низких высотах.

В докладе рассматривается подход к автоматизированной оценке вероятности гололеда и фазы осадков по комплексу спутниковой и прогностической информации. Причем, информация с геостационарного спутника *Meteosat-9* (периодичность 15 мин) используется для распознавания зон возможных осадков и оценки их интенсивности, а синхронные выходные данные гидродинамической модели регионального прогноза (ГМРП) о вертикальном профиле температуры — для оценки вероятности гололеда и фазы осадков.

Разработанные алгоритмы автоматизированной дешифровки позволяют распознавать пять градаций вероятности гололеда и фазу осадков в виде: дождь, дождь со снегом, мокрый снег и сухой снег. Для дополнительного

контроля на карту нанесены линии изотерм температуры воздуха у земной поверхности.

По предварительным оценкам, среднеквадратическая погрешность используемых выходных данных ГМРП о температуре воздуха близка к 2 °С. Поэтому, в ряде случаев, граница между диагностируемыми осадками разной фазы может быть несколько смещена (до 50–100 км) относительно её фактического положения, оцениваемого по результатам измерений на наземных станциях.

Текущая информация о районах с возможным гололедом оказалась полезной и при оценке минимальной высоты нижней границы слоя сильного обледенения в облаках. При гололеде обледенение самолетов возможно не только на стоянке, но и в моменты их взлета и посадки. Учитывая это, а также высокую пространственную детальность и периодичность выпуска, карты вероятности гололеда и фазы осадков оказались востребованы руководителями полетов при управлении воздушным движением в переходные сезоны.

В качестве иллюстраций приводятся примеры карт вероятности гололеда и фазы осадков для АРМ руководителя полетов, экспериментальный автоматизированный выпуск которых начат в ГУ «НИЦ «Планета» в январе 2010 г.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ АТМОСФЕРЫ ПО СПУТНИКОВЫМ И СТАНЦИОННЫМ ДАННЫМ В ТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТАХ ОКЕАНА

А.Г. Гранков, А.А. Мильшин, Е.П. Новичихин, Н.К. Шелобанова
Фрязинский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
E-mail: agrankov@inbox.ru

Разработан алгоритм определения вертикального распределения температуры и влажности атмосферы в тропических широтах океана, основанный на сочетании данных дистанционных измерений яркостной температуры системы поверхность океана-атмосфера спутниковым радиометром SSM/I в миллиметровой и сантиметровой областях СВЧ-диапазона с результатами её моделирования на основе данных прямых метеорологических измерений в приводном слое атмосферы и предположении об экспоненциальном убывании температуры и влажности воздуха с высотой.

Алгоритм предназначен для изучения реакции характеристик системы океан – атмосфера на прохождение тропических циклонов и для анализа факторов, вызывающих их возникновение. Источником информации о метеорологических данных является американский Центр — National Data Buoy Center (NDBC); в качестве источника спутниковых данных используются результаты регулярных измерений радиояркостной температуры системы, полученных с помощью радиометра SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) метеорологических спутников, созданных в рамках метеорологической программы министерства обороны США (Defense Meteorological Satellite Program — DMSP).

Алгоритм обеспечивает следующие достоинства: а) высокая частота зондирования температурно-влажностных характеристик атмосферы (15–20 мин); б) возможность послойного зондирования этих характеристик. Последнее обстоятельство существенно, так как различные слои атмосферы, например, её приводный слой (0–10 м), пограничный слой (0–1500 м),

верхняя кромка тропосферы (10 000 м), по-разному реагируют на прохождение тропических циклонов.

Алгоритм апробирован на примере мощного тропического циклона «Катрина» (Katrina) во Флоридском проливе в августе 2005 г. в районе станции SMKF1, во время прохождения которого наблюдались сильные изменения температуры и влажности воздуха на различных горизонтах атмосферы.

Есть хорошее согласие между изменениями оценок интегрального влагосодержания тропосферы, вычисленных с помощью данного алгоритма, и оценок, полученных на основе данных измерений радиометра SSM/I. Отсюда можно сделать вывод о правомерности применения экспоненциальной модели вертикального распределения температуры и влажности воздуха в тропосфере.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ № 3827.

АНАЛИЗ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РАСПОЗНАВАНИИ СИЛЬНЫХ ШКВАЛОВ ПО СПУТНИКОВОЙ И ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Т.Г. Дмитриева¹, М.В. Бухаров², Б.Е. Песков¹

¹ ГУ «Гидрометцентр России», Москва

² ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

E-mail: tdsin@rambler.ru; tdsin777@mail.ru

Важной практической задачей является повышение надежности распознавания и предупреждения шквалов более 28 м/с, которое невозможно без изучения случаев, когда учащенная во времени спутниковая и прогностическая информация не позволяет правильно оценить их возможность.

13 июня и 29 июля 2010 г. зарегистрированы особо сильные шквалы в Московском регионе и близлежащих областях с максимальной скоростью ветра 28–33 м/с. Шквалы 13 июня 2010 г. правильно определены с использованием спутниковой информации, а шквалы 29 июля 2010 г. этим способом не были диагностированы. Их сила и место определялись совместным использованием ансамбля модельных, синоптических и географических оценок.

Автоматизированный спутниковый диагноз шквалов проводился в ГУ «НИЦ «Планета» по информации с геостационарного ИСЗ Meteosat-9, поступающей с периодичностью 15 мин и имеющей пространственное разрешение 7–11 км. Использовались и специально обработанные выходные данные гидродинамической модели регионального прогноза Гидрометцентра России, выходные данные американской численной модели WRF-ARW, детальный мезосиноптический анализ авторов из Гидрометцентра России.

Установлено, что действующая автоматизированная методика спутникового диагноза не позволяет распознать шквалы, связанные с локальной кучево-дождевой облачностью, регистрируемая температура на верхней границе которой выше, чем -45°C . Выходные данные численных гидродинамических моделей также не всегда достаточно точны в определении силы и места шквала.

В качестве иллюстраций приводятся примеры спутниковых и прогностических карт, использовавшихся для анализа.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СОПОСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ АTOVS/NOAA, ЛИДАРНЫХ И РАДИОЗОНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ АТМОСФЕРЫ

А.А. Будищев, В.С. Соловьёв

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера
СО РАН, Якутск

E-mail: a.budishev@ikfia.ysn.ru, solo@ikfia.ysn.ru

Проведен полный цикл обработки данных бортовых приборов АTOVS (Advanced TIROS Operational Vertical Sounders) спутников NOAA-15–19, полученных в режиме «on-line» в ИКФИА СО РАН (Якутск) в период май–сентябрь 1998–2009 гг. Получен набор данных о состоянии атмосферных параметров в зоне обзора приёмной станции, в том числе вертикальные распределения температуры, полное содержание озона и пр. С целью оценки точности определения температурных профилей по данным АTOVS/NOAA сделано сопоставление с данными лидарных измерений, полученными в ИКФИА СО РАН, и с данными радиозондов, взятыми из сети Интернет. Проведен анализ результатов сопоставления, сделана предварительная оценка области применимости данных АTOVS для исследования температурных вариаций атмосферы.

АНОМАЛИИ ВЕТРА И ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ НАД БАНКОЙ КАШЕВАРОВА В ОХОТСКОМ МОРЕ

М.С. Пермяков, Т.И. Тархова, Е.Ю. Поталова, В.И. Семькин

Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток

E-mail: permyakov@poi.dvo.ru; tit@poi.dvo.ru

Широко известно, что структура и интенсивность циркуляции атмосферы в различных пространственно-временных масштабах, её локальные возмущения или возмущение полей ветра в значительной степени определяются неоднородностью температуры подстилающей поверхности. Классическим примером такого влияния является бризовая циркуляция. В последние десятилетия с развитием технологий дистанционного зондирования выполнено большое число работ по исследованию влияния различных структурных образований (аномалий) в поле температуры поверхности океана (ТПО) в виде фронтов в океанах и морях, теплых и холодных (течений и струй, языков и т. п.) и рингов. В работе изучается связь ТПО и ветра на примере постоянно наблюдаемой в летне-осенний период холодной аномалии ТПО над банкой Кашеварова в Охотском море.

Используются спутниковые ежедневные и осредненные за месяц данные AMSR-E и QuikSCAT по температуре поверхности моря и приводному ветру. Кроме этого для сравнительного анализа привлекались данные реанализа Японского метеорологического агентства по приземному давлению, скорости ветра, а также температуре воздуха у земли. В целом анализ спутниковых данных показывает, что в летне-осенний период с холодной аномалией ТПО над банкой, превышающей 9 °С, довольно часто связано появление области понижения скорости ветра. Эта связь проявляется как в данных отдельных спутниковых витков, так и осредненных за месяц. Максимальное понижение скорости ветра при пересечении холодного пятна достигало 8,2 м/с по дневным данным за 2006–2007 гг., что значительно превышает погрешности оценок скорости ветра по данным скаттерометров.

Повторяемость случаев с корреляцией полей ТПО и скорости ветра более 0,5 имеет годовой ход с максимумом в сентябре 65–70 %. В полях дивергенции и вихря скорости приводного ветра отмечаются характерные структуры. В поле дивергенции над холодным пятном формируются две области с положительными и отрицательными (конвергенция) значениями, которые делят его на две почти равные части. Конвергенция достигает наибольших значений ($-5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$) на наветренной стороне холодного пятна, на подветренной максимальна дивергенция ($7 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$). С левой стороны холодного пятна вихрь скорости ветра принимает отрицательные значения и достигает $-3,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, с правой — его величина положительная и не превышает $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Качественно подобные картины полей дивергенции и вихря напряжения ветра были получены над холодными рингами Гольфстрима. Особенности влияния неоднородности ТПО на ветер обсуждаются в свете теории бароклинного пограничного слоя атмосферы.

Недостаток стандартных метеоданных над банкой Кашеварова не позволяет с уверенностью говорить о реальных физических механизмах, которые могли бы в полной мере объяснить указанные выше эффекты аномалии ТПО на приводный ветер. Поэтому обсуждается ряд факторов, которые могут влиять на оценки ветра скаттерометром (интенсивные приливные и турбулентные течения, зависимость вязкости воды от температуры, стратификация приводного слоя воздуха и др.), но не учитываются в эмпирических соотношениях для восстановления ветра по данным скаттерометров.

Работа выполнена при поддержке ДВО РАН (проект № 09-III-A-07-333) и РФФИ (проект № 09-05-00640).

ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОГО КРУПНОМАСШТАБНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ В ДЕЦИМЕТРОВЫМ ДИАПАЗОНЕ

А.А. Мильшин, А.Г. Гранков, Н.К. Шелобанова
Фрязинский филиал ИИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
E-mail: amilshin@list.ru

За последние десятилетия в спутниковой СВЧ-радиометрии сложился определенный стиль валидации алгоритмов восстановления параметров водной поверхности, суши и атмосферы. Этот стиль предполагает наличие двух этапов: 1) калибровку СВЧ-радиометрических систем с использованием природных реперов (обычно участки пустыни и тропического леса) и 2) построение многоволновых регрессионных зависимостей между яркостной температурой (ЯТ) и параметрами природного объекта на основе данных спутниковых измерений и набора контактных измерений параметров среды. Нами использовались четыре подхода для валидации.

1. На первом этапе валидации модели нами был выполнен анализ погрешностей определения глобального радиоизлучения Земли (МГРИЗ) на примере наиболее сложного компонента модели — модели ЯТ системы «почва — растительность — атмосфера — космос». Анализ девяти основных составляющих погрешности ЯТ показал, что результирующая погрешность не превышает 10 % при условии 10%-й погрешности исходных данных.

2. Обработаны и применены данные натурных и самолётных измерений для валидации модели. Отсутствие спутниковых СВЧ-радиометров в диапазоне обусловило использование данных полевых и самолетных измерений для локальной валидации глобальной модели излучения Земли в дм-диапазоне. Для исследования пространственно-временных вариаций ЯТ выполнена систематизация материалов полевых и самолетных эксперимен-

тов в 1970–1990-е гг. в различных географических зонах Северного полушария в весенне-летне-осенние сезоны в СССР, России и США.

3. Сопоставлены данные натурных, самолетных и спутниковых измерений в см-диапазоне с данными моделирования в дм-диапазоне. Отсутствие спутниковых СВЧ-радиометров дм-диапазона может быть скомпенсировано использованием для валидации данных спутниковых радиометров см-диапазона. Сложный характер зависимости радиационных характеристик от параметров среды обуславливает экспериментальное исследование статистической связи радиационных характеристик различных типов земных покровов в см- и дм-диапазонах. Была исследована корреляция ЯТ в см- и дм-диапазонах для четырёх природных зон Северного полушария, для различных типов поверхности при зондировании под углом и в надир в весенне-летне-осенний период. Результаты корреляционного анализа указывают на целесообразность использования экспериментальных данных см диапазона для валидации модели. Следующим шагом в изучении корреляции стало сопоставление крупномасштабных ($4 \times 5^\circ$ по широте и долготе) среднемесячных полей ЯТ на волне 4,5 см по данным радиометра SMMR и результатов моделирования на волнах 21 и 50 см. Результаты обработки обширного экспериментального материала указывают на наличие статистически значимой степени коррелированности радиотеплового излучения земной поверхности в см- и дм-диапазонах, что позволяет использовать экспериментальные данные в см-диапазоне для проверки и валидации данных моделирования в дм-диапазоне.

4. Построена локальная валидация МГРИЗ без географической привязки, основанная на учёте в модели параметров почвы тестового участка, которые определяются посредством наземных измерений. При расчёте ЯТ учитывался тип поверхности тестового участка по классификации МГРИЗ для учёта ослабления растительностью. В качестве СВЧ-радиометрических и наземных данных были использованы некоторые результаты экспериментов в штатах Флорида и Джорджия (США). Сравнение экспериментальных и модельных оценок ЯТ тестовых участков указывает на их хорошее согласие, различие составляет менее 10 %. Рассмотренный подход обеспечивает существенно лучшее качество валидации модели, чем предыдущий.

В докладе приводятся графические и табличные результаты валидации модели МГРИЗ.

ВАРИАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В 1997–2009 гг.

В.И. Козлов, В.С. Соловьёв, М.С. Васильев

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера
СО РАН, Якутск

E-mail: v.kozlov@ikfia.ysn.ru

По данным спутников NOAA, принимаемым в Якутске, построены обобщенные карты плотности облачного покрытия для общей, низкой и высокой облачности с разрешением в 1° как за весь период 1997–2009 гг., так и для периодов минимумов 11-летнего цикла солнечной активности (СА) (1997) и (2007–2008) и максимума СА (2001–2004). Облачность в масштабах сотен километров ведет себя по-разному, в зависимости от широты и орграфии местности, определяясь изменением траекторий циклонов и антициклонов. В зависимости от СА происходит широтное смещение областей с меньшей облачностью. Восточнее 130-го меридиана, за горными хребтами,

наблюдается более сложная картина, хотя основные зональные «полосы», соответствующие смещению путей движения западных циклонов, также просматриваются.

Более крутой широтный ход в год минимума СА (1997), по сравнению с годами максимума СА (2001, 2002), достоверно наблюдался также и в годы следующего минимума (2007, 2008). Следует отметить особенность отличий широтных профилей верхней и нижней облачности для двух соседних минимумов солнечной активности. Верхняя облачность в фазе минимума 2005–2006 гг. имеет более резкую тенденцию увеличения с широтой по сравнению с облачностью в 1997–1998 гг., аналогичное поведение, но с отрицательным трендом демонстрирует и нижняя облачность. На фазе перехода от минимума к максимуму СА в широтном диапазоне 45–70° с. ш. наблюдаются более заметные вариации плотности верхнего облачного покрова по сравнению с широтами расположенными южнее или севернее этого интервала: причём, на широтах 55–70° с. ш. наблюдается рост облачности на ~5 %, в то время как на широтах 45–55° с. ш. — наблюдается снижение на ~5 %. Картина изменения нижней облачности носит иной характер: облачность севернее 50-й широты во время максимума СА выше, чем в минимуме, а южнее — наблюдается обратная картина. Таким образом, можно отметить, что широтные вариации облачности верхнего и нижнего ярусов антикоррелируют.

Для исследования эффектов широтной динамики облачности область исследований была поделена на три приблизительно равные широтные зоны: северную «С», центральную «Ц» и южную «Ю». Далее были рассчитаны отношения полной облачности в центральной зоне к облачности южной и северной зон. Учитывая, что доминирующая доля облачности в Североазиатском регионе приносится западными циклонами, вариации отношений облачности («Ц/Ю» и «Ц/С») можно интерпретировать как широтные смещения циклонических путей. Уменьшение отношения «Ц/Ю» и увеличение «Ц/С» с начала наблюдений до 2003–2006 гг. говорит о смещении циклонических путей с юга на север на всем диапазоне рассматриваемых широт. В 2003–2008 гг. соотношение «Ц/Ю» возрастает, восстанавливаясь к исходному значению, что можно интерпретировать, как смещение траекторий циклонов в обратном направлении — к югу. С некоторым запаздыванием (2006) аналогичное поведение — возвращение к исходным значениям — показывает соотношение «Ц/С», т. е. облачность (циклонические пути) с севера смещается к югу.

Такая картина широтной динамики облачного покрова соответствует сложившимся в литературе представлениям об изменении облачности в северной, центральной и южной Европе в зависимости от фазы солнечной активности и определяется меридиональным смещением южных и северных путей движения атлантических циклонов с ростом солнечной активности. Таким образом, представления об изменении облачности в северной, центральной и южной Европе в зависимости от СА, определяющиеся широтным смещением южных и северных путей движения атлантических циклонов на восток с изменением солнечной активности могут быть распространены на всю Евразию.

Работа поддержана РФФИ (проекты № 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_а) и программами Президиума РАН 16, ФАНИ (госконтракт № 02.740.11.0248) и РНП 2.1.1/2555.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕДСКАЗАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ И УРАГАНОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

*И.В. Мингалёв*¹, *Н.М. Астафьева*², *К.Г. Орлов*¹, *В.С. Мингалёв*¹,
*О.В. Мингалёв*¹, *В.М. Четчин*³

¹ Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН,
Мурманск

² Институт космических исследований РАН, Москва

³ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва

E-mail: mingalev_i@pgia.ru

На основании результатов численного моделирования формирования циклонических вихрей в области внутритропической зоны конвергенции, а также анализа данных микроволнового спутникового мониторинга (глобальных радиотепловых полей Земли из электронной коллекции GLOBAL-Field) и данных о ветре в области внутритропической зоны конвергенции предлагается методика прогноза образования тропических циклонов по данным спутниковых наблюдений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-01-00451).

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ГОРЯЧЕГО РОССИЙСКОГО ЛЕТА 2010 — ЭЛЬ-НИНЬО 2009 И МЕЖПОЛУШАРНЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Н.М. Астафьева

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: ast@iki.rssi.ru

Большинство климатологов и ученых других специальностей, занимающихся проблемами климата, согласны с тем, что причиной горячего российского лета не является глобальное потепление (или хотя бы с тем, что в основном — не глобальное потепление). Изучение данных спутникового мониторинга и комплексное сравнение с результатами анализа временных климатических рядов позволило предположить, что причиной горячего лета в России послужило сочетание в 2010 г. нескольких мощных природных факторов: Эль-Ниньо 2009 г., а также потепление Арктики и обратный процесс в Антарктиде оказали влияние на межполушарные атмосферные колебания и изменили привычную структуру общей циркуляции атмосферы (зональные потоки, в частности). Известно, что следующий за Эль-Ниньо год бывает жарким и что в последние несколько десятилетий Эль-Ниньо меняет характер своего сценария (это отразилось и на событии 2009 г.). Даже самые последовательные защитники гипотезы антропогенного потепления климата согласятся, что влияние человеческой деятельности на такой мощный процесс в системе океан — атмосфера как Южное колебание — Эль-Ниньо (ЮКЭН), не столь уж велико, чтобы определять интенсивность и периодичность явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Сочетание не самого мощного за эпоху инструментальных наблюдений Эль-Ниньо и нужной фазы атмосферного колебания между Северным и Южным полушариями оказалось достаточным, чтобы Азиатский антициклон поднялся в несвойственные ему широты и устойчиво блокировал западный перенос в Северном полушарии. В результате в умеренных широтах атлантический воздух поступал только лишь до западной границы блокирующего антициклона и, обгибая его, уходил севернее и даже наверх («перепрыгивая», по сообщениям Гидрометцентра, блокирующий антициклон). Таким образом, жара

и засуха в России и наводнения в Западной Европе случились вследствие цепочки факторов: Эль-Ниньо 2009 совместно с атмосферным колебанием между Северным и Южным полушариями привело к смещению на север Экваториальной депрессии и Азиатского антициклона, за чем последовала необычно долгая блокировка западного зонального переноса умеренных широт на границе Азиатского антициклона, оказавшейся гораздо западнее и севернее, чем следовало бы. Будем надеяться, что такое сочетание повторяется нечасто.

ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ NO₂ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА В ПЕРИОД ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ 2010 Г.

В.А. Иванов, И.Б. Беликов, А.Н. Боровский, Н.Ф. Еланский, А.С. Елохов, О.В. Постыляков, Р.А. Шумский
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва
E-mail: victor.ivanov@list.ru

Одним из ключевых природных источников двуокиси азота (NO₂) являются обширные лесные пожары [Delmas R., Serça D., Lambert C. Global inventory of NO_x sources // Nutrient Cycling in Agroecosystems. 1997. V. 48. N. 1–2. P. 51–60]. На двух московских станциях дистанционного наблюдения за двуокисью азота проводились измерения в июле–августе 2010 г. Одна станция расположена на территории МГУ (Воробьевы горы), другая в здании ИФА РАН (1,5 км южнее Кремля). На станциях были установлены одинаковые приборы на базе спектрометра изображения ORIEL MS-260i и использовался спектральный зенитный метод восстановления содержания NO₂ в пограничном слое атмосферы [Оценка интегрального содержания NO₂ в пограничном слое атмосферы по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 06. С. 471–474]. В период наблюдений над центральными регионами европейской части России установился блокирующий антициклон, способствующий возникновению лесных пожаров и препятствующий выносу продуктов сгорания из приземного слоя атмосферы.

Анализ вертикальных содержаний NO₂ в период лесных пожаров (конец июля – начала августа) показал, что значения содержания NO₂ были близкими к обычным для московского мегаполиса (единицы на 10¹⁶ моль/см²). Значительное превышение содержания NO₂ за этот период наблюдалось лишь однажды (3 августа) и достигало 18·10¹⁶ моль/см². Суточные обратные траектории, построенные для этого дня по модели HYSPLIT, показали, что перенос воздушной масс был с центральной части Западной Европы. Основные очаги пожаров находились восточнее и юго-восточнее Москвы.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты № 10-05-90014-Бел_а, 08-05-01046а).

ВСПЛЕСКИ ЭНЕРГИИ (СКРЫТОГО ТЕПЛА ИЛИ ВОДЯНОГО ПАРА) В ТРОПИЧЕСКОМ ЦИКЛОНЕ ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВОГО СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

Н.М. Астафьева, М.Д. Раев

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: ast@iki.rssi.ru

Детальная структура тропического циклона (ТЦ) давно находится под пристальным вниманием ученых, изучающих данные наблюдений за этими мощными атмосферными вихрями или моделирующих их динамику. Известно, что структура ТЦ чрезвычайно сложна, неоднородна и насыщена движениями разных типов. В предлагаемой работе изучаются данные микроволнового спутникового мониторинга — серии радиотепловых полей из электронной коллекции GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp>) на частотах, содержащих информацию о распределении влаго- и водозапаса тропосферы. Проведен многоуровневый анализ, позволяющий выявить детали с резкими изменениями (всплесками) радиояркостной температуры. В структуре мощных тропических циклонов — как правило, в рукавах их спиральной структуры — обнаружены «пятна» с высокой радиояркостной температурой, которые ассоциируются с высоким содержанием водяного пара или латентного тепла. Такие высокоэнергетические всплески передвигаются вместе с тропическим циклоном и внутри него и могут быть связаны с наблюдаемыми иногда смерчами (тромбами), сопровождающими тропический циклон, т. е. в мощном атмосферном вихре, горизонтальные размеры которого существенно больше вертикальных, может существовать система топологически иных вихрей — с доминирующим вертикальным размером. Эти динамичные вихри, концентрирующие огромную энергию на сравнительно небольших горизонтальных масштабах, могут послужить причиной как усиления циклона (если они черпают энергию из его атмосферного окружения), так и его распада, перераспределяя влагу внутри циклона.

ГЕНЕРАЦИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЦИКЛОНИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ПРИЭКВАТОРИАЛЬНОЙ АТМОСФЕРЕ

О.Г. Онищенко

Институт космических исследований РАН, Москва

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва

E-mail: onish@ifz.ru

Приэкваториальная атмосфера является местом, где зарождаются мощные тропические циклонические вихри — тайфуны. Развивается аналитическая теория генерации циклонических вихрей в приэкваториальной атмосфере. Обсуждается роль возмущений атмосферы приливного характера в генерации вихрей. Показано, что приливные возмущения атмосферы могут служить источником генерации вихрей в модели мелкой воды. Обсуждается механизм генерации цепочки циклонических вихрей в зональном потоке. Полученные результаты исследования используются для интерпретации спутниковых наблюдений.

Работа поддержана РФФИ (проект № 10-05-0037) и Программой фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 7.

**ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА С
ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 12–48 ч СИЛЬНЫХ ШКВАЛОВ И СМЕРЧЕЙ
ПО ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ***Э.В. Переходцева*

Гидрометцентр России, Москва

E-mail: perekhod@mecom.ru

Территория Западной и Восточной Сибири значительно превышает территорию европейской части России и состоит из большого числа различных по своим географическим условиям регионов. Ущерб, причиняемый сильными и штормовыми ветрами, очень велик. Заблаговременное успешное предупреждение таких ветров, включая шквалы и смерчи, позволило бы заранее принять предохранительные меры и значительно снизить экономические потери. Прогнозирование этих явлений по территории Сибири до настоящего времени является актуальной и весьма трудной задачей синоптической практики. В России пока не существует успешных гидродинамических прогнозов максимальных скоростей ветра, превышающих 19 м/с; существующие графические и расчётные методы прогноза шквалов и максимальных порывов ветра, использующие зависимость указанных явлений от двух-трёх параметров, в значительной степени зависят от интуиции синоптика. Поэтому наиболее успешными для объективизации прогноза таких явлений представляются статистические методы, использующие зависимость возникновения сильных ветров, шквалов и смерчей от большого числа параметров атмосферы.

В связи с этим мы адаптировали для территории Сибири разработанные ранее для европейской части России методы оперативного гидродинамико-статистического прогноза сильного ветра скоростью свыше 19 и 24 м/с, включая шквалы и смерчи. Статистические решающие правила прогноза этих явлений были получены с использованием статистической модели прогноза на основе байесовского подхода распознавания векторов, принадлежащих выборкам двух классов. В статистической модели метеорологические ситуации, в которых возникли указанные явления, представлялись как N -мерный вектор X , входящий в выборку наличия явления. Для той же территории и тех же дат была сформирована и выборка отсутствия явлений (также N -мерных векторов, компонентами которых служили значения N потенциальных физически обоснованных параметров атмосферы). С целью уменьшения размерности пространства признаков N без значительной потери информации был применён предложенный нами метод диагонализации средней матрицы корреляции R и выделения блоков зависимых предикторов (параметров атмосферы) с последующим отбором наиболее информативных из них в вектор-предсказатель, состоящий из информативных и слабо зависимых предикторов — представителей от каждого блока матрицы R .

В качестве критериев информативности были использованы расстояние Махаланобиса и критерий минимума энтропии Вапника-Червоненкиса. В информативный вектор-предсказатель из $N = 38$ параметров вошли 8 параметров, включающих значения максимальной температуры и температуры точки росы у земли, скорости ветра и сдвига ветра в средней тропосфере, модуля горизонтального градиента температуры на уровне 850 гПа, температуры на уровне максимального ветра в атмосфере (300 гПа), индекса неустойчивости Вайтинга и др.

Для автоматизированного прогноза штормового ветра, включая шквалы и смерчи, с заблаговременностью 12, 24, 36 ч при расчёте в оперативной

системе значений дискриминантных функций (статистических решающих правил) использовались значения гидродинамического прогноза указанных выше метеозлементов. В 2004–2005 гг. для прогноза штормовых ветров по территории Сибири использовались прогностические поля полусферной гидродинамической модели Гидрометцентра России с заблаговременностью 12, 24, 36 ч. Предупрежденность ветра скоростью $V > 24$ м/с даже с заблаговременностью 36 ч составила 86 %. Были предупреждены такие явления 24.06.2005 в Новосибирске ($V = 37$ м/с), 24.06.2005 на Алтае, 4.07.2005 в Туруханске и др. Значение критерия Пирси-Обухова (T) составило $T = 0,78$. В связи с внедрением в оперативную практику Гидрометцентра России региональной модели с горизонтальным разрешением 75×75 км, в статистической модели прогноза шквалов, смерчей и штормового ветра для территории ЕТР в 2007–2008 гг. использовались выходные поля этой модели заблаговременностью 12–48 ч, а в 2009–2010 гг. и для территории Сибири. В докладе приводятся примеры прогнозов опасного ветра скоростью $V > 24$ м/с, в частности, 8–9 сентября 2010 г. в Омской, Томской, Новосибирской областях и в Алтайском и Красноярском краях. С целью уточнения территории прогноза предполагается использование в статистической модели выходных прогностических полей модели WRF (версия 3.1) с разрешением 10–15 км.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОСЛЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА

Т.А. Сушкевич, С.А. Стрелков, С.В. Максакова, В.В. Козодёров
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва
E-mail: tamaras@keldysh.ru

В этом докладе речь пойдет о «сценариях» оценивания влияния извержения вулкана на аэрозольное загрязнение земной поверхности и, как следствие, на возмущение спектрального состава излучения отраженного излучения и радиационного баланса Земли с целью определения радиационного форсинга вследствие изменений отражающих свойств земной поверхности на климатическую систему.

Нас интересует задача аэрокосмического дистанционного зондирования земной поверхности при гиперспектральных наблюдениях не только в надир, но и по наклонным трассам. Это такой тип задачи, когда необходимо как можно точнее провести атмосферную коррекцию с учётом её гетерогенности и получить «сценарий» распределения яркости подстилающей поверхности. Проблема «распознавания» «сценария» представляет собой особое и важное направление в нанодиагностике и в настоящем докладе не обсуждается.

Атмосферный канал рассматриваем как элемент «оптической» системы переноса излучения и оптический передаточный оператор формулируется с использованием математического аппарата линейно-системного подхода и интеграла «суперпозиции». Рассматривается задача переноса излучения в системе «многослойная атмосфера—подстилающая поверхность» (САП) в приближении плоского слоя, в которой атмосфера принимается гетерогенной, т. е. вертикально-неоднородной и, возможно, с разными радиационными режимами в подслоях, но горизонтально-однородной, а подстилающая поверхность может быть любого типа: горизонтально-однородной или горизонтально-неоднородной с ламбертовым или анизотропным отражением.

Формулируется общий подход для задач с 1D-, 2D-, 3D-размерности по пространству, которая зависит от пространственных характеристик отражающей подстилающей поверхности: если подстилающая поверхность горизонтально-однородная, то и перенос излучения в такой САП одномерный; если подстилающая поверхность горизонтально-неоднородная по обеим координатам (например, мозаичная, как в условиях после извержения вулкана), то приходится иметь дело с проблемами трёхмерного переноса излучения в САП; двумерная задача получается при наличии осевой симметрии или неоднородности по одной координате.

Научная идея основана на использовании существенных различий в спектральном ходе поглощения, рассеяния, излучения и пропускания основных компонент системы атмосфера-Земля и спектральных характеристик отражения объектами на земной поверхности, чтобы выделить интервалы длин волн спектра многократно рассеянного солнечного и собственного излучения, информативные в отношении конкретных компонент, и на этой основе дискриминировать компоненты по их спектральным характеристикам.

При дистанционном зондировании и мониторинге технических объектов и окружающей среды носителем информации об их состоянии является электромагнитное излучение, регистрируемое различными средствами. Представляют актуальность перспективные гиперспектральные системы нанодиагностики природной среды на основе данных аэрокосмического дистанционного зондирования земной поверхности. Для решения таких проблем требуется информационно-математическое обеспечение, включающее прямые и обратные задачи теории переноса излучения.

Как показал анализ состояния проблемы учёта и дистанционного зондирования земной поверхности, всё многообразие существующих известных подходов сводится к четырем основным. Первым появился неявный способ учёта отражающей поверхности, когда вклады подстилающей поверхности и атмосферы не разделяются. Второй способ — это когда начиная с 50-х гг. XX в. появились работы по выделению вклада горизонтально-однородной ламбертовой поверхности для однородного плоского слоя на основе альбедного подхода. Этот явный способ, когда в аналитическом виде выделяется зависимость от альбедо поверхности, — самый распространенный при решении задач дистанционного зондирования поверхности. Альбедный подход у нас впервые стал разрабатывать В.В. Соболев, имя которого носит известная формула. Третий подход — это метод функционалов и сопряженных уравнений, математический аппарат которых разрабатывали Г.И. Марчук и Г.А. Михайлов преимущественно для применения метода Монте-Карло. Четвертый — это явный способ учёта вклада подстилающей поверхности с помощью оптического передаточного оператора, построенного методом функций влияния и пространственно-частотных характеристик Т.А. Сушкевич. Частный случай был разработан В.Г. Золотухиным и Д.А. Усиковым.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (проекты № 09-01-00071, 08-01-00024).

ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В ТРОПОСФЕРЕ НАД РАЙОНАМИ СИБИРИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ИК-ЗОНДИРОВЩИКА IASI

А.Б. Успенский¹, А.В. Кухарский¹, С.В. Романов², А.Н. Рублёв¹

¹ ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

² РНЦ «Курчатовский институт», Москва

E-mail: uspensky@planet.iitp.ru.

Создание спутниковых ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения AIRS (EOS Aqua), IASI (MetOp), ИКФС-2 («Метеор-М» № 2) позволяет разрабатывать новые методы дистанционного определения общего содержания метана в атмосфере (XCH₄). Это важно в контексте климатических исследований, а также ввиду недостаточности наземной наблюдательной сети за содержанием метана в атмосфере. В работе рассмотрен метод получения оценок XCH₄ по данным ИК-зондировщика IASI. Приводятся результаты испытания метода на реальных данных IASI за период июля 2008 г., покрывающих обширный регион Сибири. Валидация спутниковых оценок XCH₄ выполнена путем сопоставления с независимыми пространственно-совмещенными и квазисинхронными оценками XCH₄ по данным ИК-зондировщика AIRS. Стандартное отклонение между обоими типами оценок составляет 1–3 %, что свидетельствует о работоспособности предложенной методики оценки XCH₄.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 09-05-13532-офи-ц).

ДОЛГОВРЕМЕННЫЙ ТРЕНД ТРОПОСФЕРНОГО СОДЕРЖАНИЯ NO₂ В РАЙОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ИЗ КОСМОСА

Д.В. Ионов

Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: ionov@troll.phys.spbu.ru

Данные многолетних спутниковых измерений тропосферного NO₂, выполненных приборами GOME, SCIAMACHY и OMI в период 1996–2010 гг., были объединены в однородный ряд для анализа возможного долгосрочного тренда над Санкт-Петербургом. Полученная серия среднемесячных тропосферных содержаний, длительностью около 15 лет, аппроксимировалась модельной функцией с учётом линейного вклада и компоненты сезонного хода. Статистически значимая оценка тренда составила около 4 % линейного роста в год, что в целом соответствует независимым оценкам роста эмиссии NO_x в Санкт-Петербурге.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (проекты РНП № 2.1.1/1138 и 2.2.1.1/3846).

**ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА И РАДИАЦИОННОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ
(МОДЕЛИРОВАНИЕ)**

Т.А. Сушкевич, С.А. Стрелков, С.В. Максакова, Б.А. Фомин
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва
E-mail: tamaras@keldysh.ru

В докладе речь пойдет о «сценариях» оценивания влияния извержения вулкана на газовое и аэрозольное загрязнение земной атмосферы и, как следствие, на возмущение спектрального состава излучения и радиационного баланса Земли с целью определения радиационного форсинга на климатическую систему.

Радиационное поле Земли — одна из определяющих компонент климата, экосистемы и жизнеобеспечения. Составной частью исследований опасных явлений и экологических последствий естественно-природных катастроф является разработка информационно-математической системы и создание программного визуально-диагностического обеспечения для тематического моделирования переноса излучения, аэрокосмического дистанционного зондирования и мониторинга, анализа и прогнозирования радиационного поля Земли и радиационного форсинга на основе «сценариев».

О том, какие последствия (помимо красных солнечных закатов) на самом деле вызывает извержение вулкана и как их оценивать, можно говорить, моделируя «сценарии», в которых различают два эффекта — быстрый и долгорочный. Быстрый эффект — это наблюдения в тех регионах, куда воздушными массами принесло пепловые частички, выброшенные в атмосферу при извержении вулкана. После прекращения извержения вулкана этот эффект сохраняется, как правило, в ближайшие дни, реже — недели. Дожди помогают осадить пепел и избежать дальнейших серьезных последствий. Оперативно можно обнаруживать такие последствия с помощью космических съёмок (что было продемонстрировано после извержения вулкана в Исландии), но оценивать дистанционными методами состав и количество загрязнений, выброшенных в атмосферу, — это пока ещё сложная задача, поскольку требуются гиперспектральные измерения по наклонным трассам с земной поверхности или приземным касательным либо лимбовым сумеречным направлениям с аэрокосмических аппаратов. Важно идентифицировать загрязнение.

Долгосрочный эффект более сложен. Газы, выделяющиеся при извержении, могут привести к локальному или глобальному изменению климата. Они снижают интенсивность солнечных лучей и вызывают похолодание. Этот эффект может проявляться в течение года-двух. При извержении пепел может попасть в стратосферу (высота до 50 км зависит от мощности «термика», сформировавшегося под воздействием извержения вулкана; термик — это восходящий поток воздуха в атмосфере Земли, вызванный нагреванием приземного слоя воздуха под воздействием лучей Солнца или других факторов), в этом случае он и разносится на большие расстояния. Сульфатные аэрозоли, попадающие в стратосферу вместе с пеплом, более стабильны и могут перемещаться над планетой несколько лет. Они могут оказывать влияние на озоновый слой Земли, вызывая его разрушение, что приводит не только к расширению озоновых дыр, но и к изменению спектра солнечного света, которое провоцирует похолодание.

Нас интересует проблема расчёта радиационного поля Земли в масштабах всей планеты (одновременно при всех условиях освещения, горизонт, сумерки, область сумерек и тени, полярные регионы и т. д.). Приходится иметь дело с общими краевыми задачами для интегро-дифференциального

кинетического уравнения, описывающего перенос излучения в рассеивающих, поглощающих, излучающих, преломляющих, поляризующих средах с одномерной, двумерной или трёхмерной сферической геометрией. В нашем подходе атмосфера рассматривается как элемент «оптической» системы переноса излучения и суммарное излучение рассчитывается с использованием оптического передаточного оператора, который формулируется на базе математического аппарата линейно-системного подхода и интеграла «суперпозиции».

Работа выполняется при поддержке РФФИ (проекты № 09-01-00071, 08-01-00024).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОМЕТРИИ ПРИ СОЗДАНИИ КЛИМАТОЛОГИИ ПОЛЯРНЫХ ЦИКЛОНОВ

Е.В. Заболотских¹, Л.М. Митник², Л.П. Бобылев¹, Ю. Смирнова¹

¹ Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», Санкт-Петербург

² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток

E-mail: elizaveta.zabolotskikh@niersc.spb.ru; mitnik@poi.dvo.ru

Интенсивные мезомасштабные циклоны, известные так же, как полярные циклоны, представляют собой короткоживущие интенсивные мезомасштабные погодные системы, характеризующиеся низким давлением и высокими скоростями приводного ветра. Данные погодные системы развиваются к полюсу от основной бароклинной зоны. Подобные погодные системы встречаются в обоих полушариях, но, как правило, циклоны над морями Северного Ледовитого океана отличаются значительно большей интенсивностью, чем в районах Антарктиды, что связано с большими температурными градиентами между атмосферой и океаном. Высокая, превышающая штормовой порог скорость ветра в полярных циклонах является одной из их отличительных черт, а сравнительно небольшие горизонтальные размеры — порядка нескольких сотен километров — затрудняют обнаружение и изучение данных погодных образований.

Основным источником информации о полярных циклонах (ПЦ) остаются спутниковые данные и поля геофизических параметров, построенные на основе этих данных. При изучении отдельных случаев ПЦ наиболее перспективным представляется совместное использование как спутниковых, так и наземных измерений, позволяющее провести наиболее полный анализ погодной системы с привлечением всех возможных источников качественной и количественной информации. В то же время климатологические исследования требуют использования данных, обладающих длинной временной историей и достаточной информативностью об исследуемом объекте.

В работе, на примере рассмотрения нескольких случаев полярных циклонов, продемонстрированы преимущества использования данных спутниковых многоканальных сканирующих радиометров в качестве инструментария для создания климатологии полярных циклонов.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ NOAA/AVHRR
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ И АНАЛИЗА КАРТ ДИНАМИКИ СНЕГОТАЯНИЯ
В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН**

А.М. Кауазов, Н.Р. Муратова, С.И. Тюребаева

Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики
Казахстан, Алматы

E-mail: a_kauazov@mail.ru

Известно, что снежный покров имеет важное значение для сроков проведения посевных работ и соответственно урожая зерновых культур. Отсюда особую значимость приобретает мониторинг распределения и схода снежного покрова.

Для мониторинга снежного покрова в данной работе по совокупности достоинств предпочтительно использовать данные NOAA/AVHRR. На спутниковых снимках NOAA/AVHRR посредством комбинации данных ИК-канала и канала видимого диапазона, известного как нормализованный дифференциальный снежный индекс (NDSI) ежедневно определялась граница снежного покрова и выделялась определенным для этого дня цветом. Выделенные области последовательно накладывались как за весь период снеготаяния. В случаях длительного периода сплошной облачности и/или незначительного изменения границы снежного покрова отдельные участки границ, полученные за несколько дней, объединялись как за одну основную дату (на дату с наименьшим количеством облачности). Таким образом были получены карты динамики схода снежного покрова в Казахстане за период с 2001–2010 гг.

По картам динамики схода снежного покрова за 2001–2010 гг., были рассчитаны средние, наиболее поздние и наиболее ранние сроки схода снежного покрова для каждого пиксела и построены соответствующие карты. Из анализа полученных карт следует, что при поздних датах схода снежного покрова залежание снежного покрова наблюдается на подавляющей территории Казахстана, а при раннем сходе — лишь в Северной половине республики. В среднем к началу снеготаяния (3-я декада февраля) южные и юго-западные области республики остаются свободными от снежного покрова. Наиболее поздний сход отмечается в северных и восточных областях Казахстана, ранний — в южных и западных областях. Сравнение данных по динамике схода снежного покрова за 2010 г. и средней за период показало, что на всей территории республики наблюдался относительно ранний сход снежного покрова. Наибольшие отличия от средних — 30 и более дней — наблюдается в юго-восточной части Казахстана. Близкие к средним даты схода наблюдаются в северной части Северо-Казахстанской, Актюбинской областей, а также на севере и в центре Костанайской области.

Для сравнения схода снежного покрова по пространству были определены площади заняты снежным покровом на 1 декаду марта и апреля каждого года рассматриваемого периода. Сравнительная оценка по годам показала неравномерность залежания снежного покрова, как между годами, так и между месяцами. Относительно большие площади были заняты снежным, покровом в первой декаде марта в 2003, 2007, 2009 и 2010 гг., а в первой декаде апреля в — 2003, 2005, 2010 гг.

Сравнительно небольшие площади снежного покрова в первую декаду марта отмечаются в 2002 и 2004 гг., а в первой декаде апреля — в 2002, 2004, 2006, 2008 и 2009 гг. В среднем с 1-й декады марта до первой декады апреля площадь снежного покрова уменьшается на 70 %. Наиболее быстрое стаивание отмечалось в последние годы: в 2008 и 2009 гг., за месяц растаяло

соответственно 98 и 90 % исходной площади снежного покрова. Наиболее медленный сход наблюдался в 2003, 2005 и 2010 гг., соответственно растаяло 51, 47 и 52 % исходной площади.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН МЕТОДОМ АНАЛИЗА ГОДОГРАФА СКОРОСТИ ВЕТРА В НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ ПО РАДИОЗОНДОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Р.Р. Салимзянов, В.Н. Губенко, А.Г. Павельев, А.А. Павельев
Фрязинский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
E-mail: 21203r@gmail.com

Данные радиозондовых измерений скорости ветра, проведенных в 2007 г., были использованы для идентификации внутренних гравитационных волн (ВГВ) и определения их параметров в нижней стратосфере (18–30 км) Земли в районе Кокосовых островов (12,05° ю. ш., 96,70° в. д.). Анализ годографа скорости ветра показал, что наблюдаемые флуктуации скорости обусловлены распространением в атмосфере ВГВ, энергия которых переносится вверх. С использованием результатов анализа годографа скорости ветра, дисперсионное и поляризационные соотношения для внутренних гравитационных волн были определены ключевые характеристики волн, такие как собственная частота, амплитуда вертикальных и горизонтальных возмущений скорости ветра, вертикальная и горизонтальная длина волны, собственная вертикальная и горизонтальная фазовая (групповая) скорости, кинетическая и потенциальная энергия волн. Предлагается метод, позволяющий определять азимутальное направление распространения ВГВ в атмосфере Земли.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЗОМАСШТАБНЫХ ЦИКЛОНОВ НАД ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫМИ МОРЯМИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО МУЛЬТИСЕНСОРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

И.А. Гурвич, М.К. Пичугин, Л.М. Митник
Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток
E-mail: gurvich@poi.dvo.ru

В холодное полугодие над дальневосточными морями формируются интенсивные конвективные мезомасштабные циклоны (МЦ) размером 100–600 км с облачной системой в форме запытой или спирали. Из-за взрывного характера формирования, сильных ветров и осадков МЦ представляют опасность для мореплавания и прибрежных зон, а небольшие размеры и редкая сеть контактных измерений затрудняют своевременное выявление их на картах погоды и прогнозирование. Наилучшим инструментом для исследования МЦ является спутниковое мультисенсорное зондирование. Для обнаружения МЦ, изучения районов их формирования, траекторий и эволюции использовались видимые и инфракрасные изображения поля облачности, полученные спектрорадиометром MODIS со спутников Terra и Aqua и радиометром AVHRR со спутников серии NOAA за период 2003–2010 гг. Параметры атмосферы и океана в МЦ и зоне их влияния определялись из спутниковых пассивных и активных микроволновых измерений. Поля паросодержания атмосферы V , водозапаса облаков Q и приводного ветра W в

МЦ восстанавливались по яркостным температурам $T_{я}$, измеренным радиометрами AMSR (спутник ADEOS-II, февраль–октябрь 2003 г.) и AMSR-E (спутник Aqua, 2003–2010 гг.) с использованием оригинальных алгоритмов. Восстановленные поля W сравнивались с показаниями скаттерометров со спутников QuikSCAT и MetOP и радиометра WindSAT со спутника Coriolis. По данным спутниковых измерений и реанализа оценивалось взаимодействие океана и атмосферы в условиях мезомасштабного циклогенеза. По восстановленным полям V и данным прибрежных аэрологических станций рассчитывалось изменение паросодержания атмосферы при трансформации континентальной воздушной массы над морской поверхностью. Значения V в зрелом МЦ в среднем на 3–7 кг/м² больше, чем в окружающей области (фон). При развитии МЦ турбулентные потоки явного и скрытого тепла из океана в атмосферу составляют примерно 160–400 В/м² в Охотском и Беринговом морях, 180–500 В/м² в северной части Японского моря и 300–600 В/м² в южной его части. В Охотском и Беринговом морях и в южной части Татарского пролива потоки явного тепла в основном преобладают над потоками скрытого. Южная часть Японского моря характеризуется преобладанием потоков скрытого тепла. Приведены результаты статистического анализа МЦ и оценена межгодовая изменчивость мезомасштабного циклогенеза над дальневосточными морями в 2003–2010 гг. Представлены результаты комплексного исследования нескольких МЦ, для которых имелись данные пассивных и активных микроволновых спутниковых измерений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-13569-офиц), договоров 69 и 4/09 программы «Мировой океан» и соглашению РИИП по спутнику GCOM-W1 между Японским аэрокосмическим исследовательским агентством JAXA и ТОИ ДВО РАН.

К ВОПРОСУ О ЕДИНСТВЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ В ИНДОПАЦИФИКЕ

В.И. Бышев, В.Г. Нейман, Ю.А. Романов, И.В. Серых
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
E-mail: labbyshv@ocean.ru

Одним из наиболее значимых короткопериодных внутривекальных возмущений регионального климата в Индопацифике является Эль-Ниньо, которое до настоящего времени таит в себе много загадок. На поиск ответа о природе этого явления ориентированы как теоретические, так и экспериментальные исследования.

Многие полагают, что Эль-Ниньо — это феномен исключительно региона Тихого океана. Авторы настоящего исследования исходят из концепции глобальности явления Эль-Ниньо и его общности, по крайней мере, в пределах Индопацифики. Сложность идентификации единства явления Эль-Ниньо для Индопацифики связана с присутствием в бассейне Индийского океана мощного Индоокеанского муссона, обладающего годовой периодичностью. Методологической основой для изучения проявления процесса Эль-Ниньо в этом бассейне может быть использование межмуссонных (весенней и осенней) фаз, когда система Индоокеанского региона приобретает фоновое состояние.

В такие периоды средние термодинамические характеристики системы океан-атмосфера в экваториально-тропических областях Индийского и Тихого океанов имеют структуру квазисимметричных крупномасштабных зеркальных диполей. Она проявляется в распределении всех основных пара-

метров системы: температуры поверхности океана, рельефе уровня поверхности, атмосферного давления на уровне моря, полей течения и ветра, облачности и осадков. При переходе от событий Эль-Ниньо к Ла-Нинья полярность зеркальной симметрии этих полей меняет знак.

На наш взгляд, зеркальная симметрия крупномасштабных дипольных структур двух бассейнов в невозмущенном и возмущенном (при Эль-Ниньо) состояниях служит убедительным свидетельством единства системы Индопацифики. Объединяющим две региональные климатические системы звеном является область планетарной конвекции, расположенная на их общей границе и именуемая «морским континентом». Область планетарной конвекции замыкает на себя две сопряженные региональные циркуляции Уокера, которые во многом определяют термодинамический режим экваториально-тропической области Индопацифики. При Эль-Ниньо обе ячейки циркуляции Уокера реверсируют, а вместе с тем радикально перестраиваются и все поля, характеризующие термодинамический режим двух бассейнов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-00867).

КОНВЕКЦИЯ В ЗАДАЧЕ ТИПА СМЕРЧА С ВЛАЖНЫМ ПОДНИМАЮЩИМСЯ И СУХИМ ОПУСКАЮЩИМСЯ ВОЗДУХОМ

П.Б. Руткевич, Б.П. Руткевич

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: pbrutkevich@gmail.com

В работе рассмотрена задача о радиальном распределении температуры и вертикальной компоненты скорости ветра в цилиндрической полости на основе теории конвекции в вертикальных каналах. В работе учитывается, что основным энергетическим источником существования смерча считается наличие в атмосфере водяного пара. Выделение скрытой теплоты конденсации водяного пара приводит к неустойчивости за счёт адиабатического распределения температуры во влажном воздухе, отличного от сухого. Область исследования в задаче разделяется в радиальном направлении на три области. Это — первая (внутренняя конвективно-устойчивая), вторая (промежуточная, конвективно-неустойчивая) и третья (внешняя, конвективно-устойчивая) части. На границе между областями ставятся условия сшивки решений. Такого рода постановка фактически соответствует задаче о нелинейной конвекции в неограниченном в горизонтальном направлении пространстве. В результате получено, что при слабой стратификации внешней (устойчиво стратифицированной области) во внутренней области появляется нисходящий поток воздуха — глаз вихря.

**КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «РАДИОМЕТ» ДЛЯ РАДИОЗАТМЕННОГО
МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ СИГНАЛАМИ ГНСС
«ГЛОНАСС» И GPS, СОЗДАВАЕМАЯ НА ОСНОВЕ СВЕРХМАЛЫХ СПУТНИКОВ**

*В.М. Вишняков*¹, *А.А. Виноградов*¹, *А.Г. Павельев*², *О.И. Яковлев*²,
*С.С. Матюгов*²

¹ОАО «Российские космические системы», Москва

²Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Москва, Москва

E-mail: VM_Vishnyakov@mail.ru

Предложена концепция низкоорбитальной системы «Радиомет». Она предназначена для глобального радиозатменного зондирования и использует сигналы космических радионавигационных систем, прошедшие через слои нижней атмосферы и ионосферы. Космическая система «Радиомет», по сравнению с существующей системой Foromosat-3 (COSMIC), позволит обеспечить более высокие характеристики. Так, применение на борту спутников «Радиомет» радиолографической аппаратуры, регистрирующей сигналы как от системы GPS, так и от системы ГЛОНАСС (а в будущем — от системы GALILEO и других) в 2 и более раз повысит количество измерений параметров атмосферы в сутки. Оптимизация параметров орбит спутников системы «Радиомет» увеличит частоту измерений параметров атмосферы над любым районом Земли (включая приэкваториальные и приполярные области).

Новые методы, предложенные авторами, позволят проводить обработку и анализ принимаемых навигационных сигналов прямо на борту спутников «Радиомет». Поэтому со спутников на наземные станции потребителей будет передаваться уже готовая информация о температуре, влажности, плотности электронов и других параметрах нижней атмосферы и ионосферы. Это в несколько раз повышает оперативность мониторинга.

Многоспутниковая группировка «Радиомет» строится на основе сверхмалых спутников массой не более 20 кг, что поможет существенно снизить затраты на создание, развертывание и восполнение группировки.

Настоящая работа поддержана РФФИ (проект № 08-02-13535).

**КРИТИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР ГЕНЕЗИСА ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ
В ГЛОБАЛЬНОМ ПОЛЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВОДЯНОГО ПАРА**

Е.А. Шарков, Я.Н. Шрамков, И.В. Покровская

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: e.sharkov@mail.ru

С помощью базы данных EVA-00 с элементами объектно-реляционного типа выполнена проверка гипотезы о взаимосвязи интегральной концентрации водяного пара (по данным микроволновых спутниковых систем) и множественного тропического циклогенеза в циклогенерирующих акваториях Мирового океана за 2001 г. В работе экспериментально показано, что существует критическое значение интегрального водяного пара (своего рода необходимое условие), при котором формируется зрелая форма тропического циклона со временем жизни, превышающим сутки. При этом экспериментально показано, что в этот же промежуток времени существует другой массив тропических циклонов с кратким периодом жизни (менее суток), которые не обладают ярко выраженным граничным значением ин-

тенсивности водяного пара и могут формироваться в большом диапазоне значений интенсивности водяного пара. Выявленные связи областей водяного пара повышенной концентрации и генезиса тропических циклонов стали очевидными только при применении объектно-реляционных компьютерных технологий. На основе базы данных сформирован демонстрационный анимационный ролик (за 2001 г.), наглядно демонстрирующий связь областей повышенной концентрации водяного пара и генезиса тропических циклонов.

Работа поддержана РФФИ (проект № 09-05-01019-а).

МЕТОДИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ КАРТ НЕФАНАЛИЗА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ С ГЕОСТАЦИОНАРНОГО МИСЗ МЕТЕОСАТ-9

Е.В. Волкова

ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва
E-mail: quantocosa@bk.ru

Рассмотрена возможность применения комплексной пороговой методики, разработанной автором, для автоматического построения карт нефанализа по данным измерений радиометра SEVIRI с ИСЗ Meteosat-9 как для полной зоны обзора метеоспутника, так и для территории Европы и ЕТР. Обработка и оценка работоспособности методики выполнены на основе карт нефанализа, построенных в НИЦ «Планета», а также архива синхронных спутниковых и наземных метеонаблюдений облачности за период 2008–2010 гг.

Нефанализ содержит сведения о среднем количестве и преобладающей форме облаков, структурных особенностях облачных полей и др. и позволяет следить за эволюцией крупных облачных систем, в том числе макро- и синоптического масштаба. В настоящее время составление карт нефанализа проводится в полуавтоматическом режиме при активном участии опытного дешифровщика. Время обработки зависит от размера спутникового изображения (в том числе его разрешения и размера территории) и составляет, в среднем, около часа. Периодичность этой информации — 1–2 раза в сутки.

Главными преимуществами использования рассматриваемой методики является: 1) существенное увеличение скорости обработки спутникового изображения (около 5 мин), в результате, периодичность поступления карт нефанализа составляет 15–30 мин; 2) возможность изменения масштаба генерализации, т. е. размеров территории, для которой оценивается количество и тип облачности; 3) увеличение количества типов облачности за счёт информации о яркости слоистообразной облачности и стадии развития кучево-дождевой; 4) качество нефанализа практически не зависит от квалификации дешифровщика; 5) большая наглядность выходной информации. Методика допускает вмешательство дешифровщика для уточнения мезо- и макроструктуры облачных образований. Регулярно поступающая таким образом информация о состоянии облачного покрова может применяться как в оперативной работе службы погоды, так и, например, для анализа сезонных особенностей распределения общей величины облачности и различных её форм.

**МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯРНЫХ ЦИКЛОНОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ
ИХ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ***И.В. Мингалёв, К.Г. Орлов, В.С. Мингалёв*

Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН,
Апатиты Мурманской обл.
E-mail: mingalev_i@pgia.ru

Излагаются результаты численного моделирования, с помощью которого исследуется механизм формирования полярных циклонов в районе нахождения арктического фронта в зимней тропосфере северного полушария. Моделирование проводится в рамках полной системы уравнений газовой динамики с учётом переноса инфракрасного излучения, фазовых переходов водяного пара в микрокапли воды и частицы льда и с учётом оседания этих капель и частиц льда в поле силы тяжести. В начальных и граничных условиях модели используются наблюдательные данные о структуре доминирующих воздушных потоков в районе арктического фронта над Норвежским морем в январе. Численно получено формирование крупномасштабных циклонических вихревых течений за 15–20 ч при наличии изгиба центральной линии сдвигового течения в арктическом фронте длиной 500–600 км с отклонением на север или на юг на 100 км или более. На основании результатов моделирования предлагается методика краткосрочного прогноза образования и движения полярных циклонов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-01-00451).

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРВОГО НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
ПО ЗОНДИРОВАНИЮ ИЗ КОСМОСА АЭРОЗОЛЬНЫХ СЛОЕВ ПОСЛЕ
ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА (1963) (ПОСВЯЩАЕТСЯ 100-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ
ГЛАВНОГО ТЕОРЕТИКА КОСМОНАВТИКИ АКАДЕМИКА М.В. КЕЛДЫША
(10.02.1911–24.06.1978) И 35-ЛЕТИЮ ПРОГРАММ)***Т.А. Сушкевич*

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва
E-mail: tamaras@keldysh.ru

Мстислав Всеволодович Келдыш — идеолог и организатор космических исследований. В 1955 г. для убеждения руководителей СССР в необходимости освоения космического пространства и запусков космических спутников и кораблей М.В. Келдыш выделил две главные задачи: разведка и наблюдения Земли, вокруг которых сформировались многие научно-исследовательские проекты. В Институте Келдыша автор доклада с 1961 г., а с 1963 г. — участник космических исследований.

В докладе пойдет речь о дистанционном зондировании стратосферных аэрозольных слоев, возникающих в результате извержений вулканов, мощных пожаров и последствий военных операций (война во Вьетнаме), которые учитываются при расчётах радиационных членов климатических моделей и оценках радиационного форсинга на климат. **ВПЕРВЫЕ** такую проблему автору пришлось решать при математическом моделировании ореола Земли, **ВПЕРВЫЕ** сфотографированного с пилотируемых космических кораблей (ПКК) в июне 1963 г. Валерием Федоровичем Быковским на ПКК «Восток-5» и Валентиной Васильевной Терешковой на ПКК «Восток-6»: впервые сфотографировали дневной и сумеречный горизонты Земли и

провели первый научный эксперимент по исследованию Земли из космоса при участии космонавтов.

В 2010 г. покорители космоса, научная и политическая общественность отметили 35-летие исторического события, когда впервые в истории человечества космические корабли СССР и США осуществили сближение и стыковку, образовав единый орбитальный комплекс. 15 июля 1975 г. в 15 ч 20 мин московского времени стартом корабля «Союз-19» с космодрома Байконур (СССР) начался первый в истории пилотируемый космонавтами международный космический полет по программе ЭПАС (Экспериментальный полет «Аполлон-Союз»). В тот же день в 22 ч 50 мин с космодрома на мысе Канаверал (США) стартовал космический корабль «Аполлон-18» (*англ.* Apollo-Soyuz Test Project (ASTP)). 17 июля 1975 г. состоялась стыковка. Контактное взаимодействие «Союза» и «Аполлона» было названо историческим и явилось прообразом МКС. «Союз-19» пилотировали командир корабля Герой Советского Союза, летчик-космонавт СССР полковник Алексей Архипович Леонов и бортиженер Герой Советского Союза, летчик-космонавт СССР, кандидат технических наук Валерий Николаевич Кубасов, «Аполлон» — астронавты США Томас Стаффорд, Вэнс Бранд и Дональд Слейтон. В соответствии с советской программой подготовки ЭПАС с 2 по 8 декабря 1974 года был осуществлён полёт модернизированного корабля «Союз-16» с экипажем — Анатолий Васильевич Филипченко (командир) и Николай Николаевич Рукавишников (бортиженер), на котором кроме испытаний стыковочного устройства, неоднократно испытанного и проверенного на земле, были проведены атмосферно-оптические научные эксперименты.

В рамках ЭПАС на КК «Союз-16» и «Союз-19» эксперимент по наблюдениям последствий газовых и аэрозольных выбросов из вулкана и пожаров в стратосферу подготовили Георгий Владимирович Розенберг и Анатолий Борисович Сандомирский, а теоретико-расчётные исследования и моделирование обеспечены автором настоящего доклада. Эти пионерские работы заложили фундаментальные основы в современные методы и средства дистанционного зондирования Земли из космоса и мониторинга последствий естественно-природных и антропогенных катастроф.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (проекты № 09-01-00071, 08-01-00024).

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА МЕЗОМАСШТАБНЫМИ АТМОСФЕРНЫМИ ВИХРЯМИ В ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ТИХОГО ОКЕАНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

Е.Ю. Поталова, М.С. Пермяков, Н.П. Маликова, Т.И. Тархова
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток
E-mail: gata@poi.dvo.ru; permyakov@poi.dvo.ru

Известно, что тропические циклоны (ТЦ) возникают из слабых тропических возмущений, проявляющихся на спутниковых снимках в виде бесформенного облачного скопления, часто занимающего обширную территорию. Постепенно скопление приобретает структуру, имеющую определённую интенсивность и размеры, которая затем трансформируется в циклонический вихрь. Было замечено, что образованию тропического циклона предшествует дробление облачных систем, распад их на мезовихри, слияние которых, как полагали некоторые исследователи, оказывается крайне важным

в тропическом циклогенезе. Слияние мезовихрей в один в течение 3–5 дней показывают также результаты численных экспериментов с кольцевыми вихрями при задании параметров, близких к параметрам тропических облачных скоплений. Однако, несмотря на ряд работ, примеров исследований процесса зарождения и формирования реальных ТЦ в литературе довольно мало.

В работе на основе ежедневных данных спутников QuikSCAT рассмотрены поля скорости ветра и вычисленной по ней относительной завихренности (ζ) у земной поверхности над северо-западной частью Тихого океана в период зарождения и формирования там двух тропических циклонов — Митаг (0202) и Хайтанг (0505). Дополнительно были использованы ежедневные высотные данные американского реанализа NCEP/NCAR.

Результаты показали, что в обоих случаях в районе зарождения будущего ТЦ, в дни, предшествующие первому сообщению, наблюдалось скопление мезомасштабных вихрей, что в случае ТЦ Митаг было за 2 сут, а в ТЦ Хайтанг — за 12 ч до первого сообщения. В течение нескольких дней вихревая область сжималась до узкого циклонического кольца, и этому процессу сопутствовало слияние вихрей. В первом ТЦ удалось увидеть 6 случаев, во втором — 2, поскольку второй циклон формировался быстрее.

Максимальная интенсивность исходных вихрей достигала $30 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ в случае ТЦ Митаг и $29 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ в случае ТЦ Хайтанг. К завершению формирования интенсивность основного вихря составляла $40 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ (ТЦ Митаг) и $38 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ (ТЦ Хайтанг). При этом к моменту начала развития ТЦ Митаг на уровне АТ200 наблюдалась лишь слабая асимметричная область, в то время как ТЦ Хайтанг представлял собою выраженную область пониженного давления с несколькими замкнутыми изогипсами.

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ В КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

Л.И. Петрова

НПО «Тайфун», Обнинск Калужской обл.

E-mail: petrova@typhoon.obninsk.ru

За последние несколько десятков лет практически не достигнуто улучшения прогноза интенсивности тропических циклонов (ТЦ) в отличие от прогноза их перемещения. Этот факт обусловлен, несмотря на многочисленные исследования ТЦ, всё ещё отсутствием достаточно полного понимания физической картины процессов формирования и эволюции ТЦ, в которых взаимодействуют движения различных масштабов: от микромасштаба до глобальных.

Практическая необходимость уточнения физических процессов, определяющих интенсификацию тропических возмущений (особенно резкую), вызвала в последние годы, прежде всего в США, активизацию натурных, а также модельных исследований стадии развития ТЦ. Эти исследования выявили некоторые неизвестные особенности внутренней структуры развивающегося в ТЦ возмущения. Это прежде всего наличие в ядре интенсифицирующегося возмущения вихрей с диаметром от десятков метров до десятков километров. Условия появления подобных вихрей и их роль в процессе развития ТЦ не совсем ясны. Но уже имеющиеся данные свидетельствуют, что вихри в конечном итоге приводят к повышению энергетики ТЦ и развитию интенсивных ураганов (тайфунов). Являются ли подобные вихри «принадлежностью» всех интенсивных ТЦ не известно. Ранее в НПО «Тайфун» был выполнен цикл работ по зарождению ТЦ, в том числе направленных на из-

учение условий развития интенсивных ТЦ. На основе модельных расчётов глубокой конвекции в изолированной области с использованием, в качестве исходных, экспериментальных данных экспедиции «Тайфун-90» было получено, что для развития интенсивных ТЦ (наряду с известными условиями зарождения) необходимы условия, обеспечивающие процесс разрушения задерживающих слоев около уровня конденсации, как формирующихся при конвекции, так и имеющих место до её начала. Полагаем, что указанные выше вихри, обладающие локальной неустойчивостью, могут разрушать задерживающие слои, обновлять конвекцию от приводного слоя и способствовать интенсификации ТЦ.

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА В РАМКАХ МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Н.С. Ерохин, Н.Н. Зольникова, Л.А. Михайловская
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: nerokhin@iki.rssi.ru

На основе ранее предложенной системы связанных нелинейных уравнений для средней скорости ветра и температуры поверхности океана в области тропического циклона, описывающих временную динамику мощного атмосферного вихря, продолжен анализ самосогласованной малопараметрической модели регионального крупномасштабного циклогенеза (РКЦ), позволяющей исследовать роль солнечно-земных связей, космической погоды и других факторов в сезонном ходе РКЦ, а также исследовать различные сценарии временной динамики РКЦ в зависимости от выбора величин характерных параметров. Численными расчётами подтверждено, что соответствующим выбором исходных параметров задачи возможно получить генерацию в активном сезоне конкретного региона заданного числа ураганов, причём с различающимися характеристиками вихрей. Следовательно, с помощью предложенной нелинейной модели можно изучать особенности сезонного хода временной динамики региональных крупномасштабных циклогенезов в период активного сезона, а также анализировать зависимость их интенсивности от различных внешних факторов, в частности, космической погоды, явления Эль-Ниньо и др., которые ранее рассматривались на основе стандартного корреляционного анализа. Кроме того, развитый в данной работе подход с учётом экспериментальных данных по крупномасштабному тропическому циклогенезу позволяет разработать аналитическую модель сезонного хода интенсивности РКЦ. Это представляет большой научный и практический интерес, в том числе для разработки современных методов прогноза крупномасштабных кризисных атмосферных явлений.

Вполне очевидно, что в данной модели можно также получить объяснение наблюдаемых трендов интенсивности крупномасштабного циклогенеза. Развиваемый подход будет полезен и при оценках влияния тропических ураганов на крупномасштабную циркуляцию атмосферы, в исследованиях весьма сложных корреляционных связей тайфуногенеза с различными внешними факторами, поскольку обычно применяемые стандартные методы корреляционного анализа зачастую дают неоднозначные ответы.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПРИРОДЕ НЕКОТОРЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ*В.А. Татартченко*

Saint-Gobain Crystals, Puteaux, France

E-mail: vitali.tatartchenko@orange.fr

Работа является продолжением сообщения, представленного на предыдущей конференции. В обеих работах доказывается, что некоторые источники инфракрасного излучения в земной атмосфере являются результатом инфракрасного характеристического излучения (ИКХИ) фазовых переходов первого рода (кристаллизации воды, а также конденсации и сублимации водяного пара). Явление состоит в том, что частица (атом, молекула или кластер) в процессе перехода с метастабильного более высокого энергетического уровня (пар или жидкость) на более низкий уровень (жидкость или кристалл) испускает один или несколько фотонов, энергия которых определённым образом связана со скрытой энергией фазового перехода и обычно соответствует инфракрасному диапазону. Этот эффект должен играть очень важную роль в атмосферных явлениях: это один из каналов охлаждения земной атмосферы; образование облаков и в особенности штормовых облаков должно сопровождаться интенсивным инфракрасным излучением, которое может быть зарегистрировано для определения особенностей процесса и штормовых предупреждений и также может быть использовано для аккумуляции энергии в атмосфере. Фактически это будет означать, что к четырём существующим источникам экологически чистой энергии (солнца, ветра, геотермальной и падающей воды) добавляется пятый — энергия образования тумана и облаков в атмосфере.

О ВОЗМОЖНОСТИ ДВУМЕРНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СТРАТОСФЕРЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИМБА В ПОЛОСЕ ПОГЛОЩЕНИЯ CO₂ 15 мкм С ВЫСОКИМ СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ*А.В. Ракитин, В.С. Косцов, Ю.М. Тимофеев*

Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: kit@troll.phys.spbu.ru

Исследован новый спутниковый метод двумерного температурного зондирования стратосферы, основанный на интерпретации измерений спектров уходящего теплового излучения на касательных трассах в полосе поглощения CO₂ 15 мкм с высоким спектральным разрешением. За основу численных исследований метода взят сценарий экспериментов с прибором MIPAS. Показано, что двумерное поле температуры может быть получено в результате обработки набора измерений излучения на трассах с различными прицельными высотами при условии использования спектральных каналов с существенно различной оптической толщиной. Погрешность определения температуры варьирует в пределах от 1,8 до 5,6 К в стратосфере и зависит от прицельной высоты оптической трассы и расстояния от прицельной точки. Горизонтальное разрешение предложенного метода в несколько раз выше, чем при традиционном температурном зондировании стратосферы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-00797-а), а также грантов РНП № 2.1.1/1138 и РНП № 2.2.1.1/3846.

О КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЯХ МЕЖДУ ГЛОБАЛЬНЫМИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

В.В. Чукин, Е.В. Кузьминых

ГОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург

E-mail: chukin@rshu.ru

Данная работа посвящена исследованию взаимосвязи солнечной активности и галактических космических лучей (ГКЛ) с облачностью, которая в значительной степени влияет на поток солнечной радиации, достигающей земной поверхности и, следовательно, на климат Земли в целом.

В докладе представлены данные обработки и анализа спутниковых данных о глобальном поле облачности, температуры и влажности воздуха, полученных в ходе проекта по спутниковой климатологии облаков (ISCCP). В исследовании использовались среднегодовые значения за период с 1983 по 2005 г. для следующих метеорологических величин: общее количество облаков, количество облаков нижнего яруса, количество облаков среднего яруса, количество облаков верхнего яруса, температура поверхности и влагозапас атмосферы. В качестве параметра, характеризующего солнечную активность, использовались значения потока радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см. Поток галактических космических лучей (ГКЛ) оценивался по данным наземных нейтронных мониторов на станциях Оулу (Финляндия) и Москва (Россия).

Результаты анализа показывают, что наблюдается отрицательная корреляция между солнечной активностью и средним по земному шару количеством облаков нижнего яруса (коэффициент корреляции равен $-0,53$). В то же время для облаков среднего и верхнего яруса отмечается менее отчетливая положительная корреляция с солнечной активностью ($0,31$; $0,40$ соответственно).

Корреляция между потоком нейтронов на станции Оулу и количеством облаков нижнего, среднего и верхнего ярусов составляет $0,66$; $-0,49$ и $-0,54$, соответственно. При определении корреляции по данным нейтронного монитора в Москве получаются аналогичные значения: $0,71$; $-0,47$ и $-0,49$, соответственно.

На основе анализа представленных значений коэффициента корреляции можно сделать предположение, что в цепочке физических механизмов, оказывающих влияние на поле облачности, значительную роль играют ГКЛ. Анализ полученных данных показывает, что изменению потока космических лучей в течение 11-летнего цикла солнечной активности на 10 % от среднего значения, соответствует изменение количества облаков более чем на 1 % (процент облачности). Сравнение с полученными ранее данными показывает, что увеличение длины ряда данных примерно в два раза позволило обнаружить наличие статистически значимой отрицательной корреляции между потоком ГКЛ и количеством облаков среднего и верхнего ярусов, а также подтвердить наличие положительной корреляции между потоком ГКЛ и облаками нижнего яруса.

Следует также отметить высокие значения корреляции значений влагозапаса атмосферы с солнечной активностью ($-0,48$) и потоком ГКЛ: $0,70$ (Оулу) и $0,68$ (Москва). Эта зависимость аналогична зависимости для количества облаков нижнего яруса. Это объясняется тем, что основная часть водяного пара в атмосфере располагается в нижней части тропосферы и определяет благоприятные условия образования облаков нижнего яруса (коэффициенты корреляции влагозапаса атмосферы с количеством облаков

нижнего, среднего и верхнего ярусов корреляции соответственно равны: 0,64; -0,64; -0,76). Из этих данных можно сделать предположение, что ГКЛ оказывают влияние именно на содержание водяного пара в атмосфере, посредством которого в конечном счёте изменяется количество облаков.

Таким образом, циклические 11-летние изменения глобального количества облаков вызывают модуляцию потока солнечного излучения, поступающего к поверхности Земли, с амплитудой около 10 Вт/м^2 , что на порядок больше 11-летней вариации солнечной постоянной (около $0,5 \text{ Вт/м}^2$). Как показывают данные проведенного анализа, коэффициент корреляции температуры подстилающей поверхности с солнечной активностью составляет -0,43, а с потоком ГКЛ — только 0,08 (Оулу) и 0,18 (Москва). Низкая корреляция температуры поверхности с потоком ГКЛ свидетельствует о том, что облачность не является единственным фактором, определяющим температуру земной поверхности (коэффициенты корреляции температуры поверхности с количеством облаков нижнего, среднего и верхнего ярусов составляют -0,23; 0,45; 0,27; соответственно).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ПУТЕМ АНАЛИЗА ПОРОГОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ НА ОСНОВЕ РАДИОЗАТМЕННЫХ ДАННЫХ О ТЕМПЕРАТУРЕ В НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

В.Н. Губенко, А.Г. Павельев, Р.Р. Салимзянов, А.А. Павельев, В.Е. Андреев
Фрязинский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
E-mail: vngubenko@gmail.com

Разработана методика определения параметров внутренней гравитационной волны (ВГВ) по измерению индивидуального вертикального профиля температуры или плотности в атмосфере Земли. Эта методика может быть использована при анализе профилей, измеренных любыми способами. Сформулирован и обоснован критерий идентификации ВГВ, в случае выполнения которого наблюдаемые флуктуации температуры или плотности могут рассматриваться как волновые проявления.

Методика базируется на анализе относительных амплитудных порогов волнового поля температуры или плотности, а также на положении линейной теории насыщенных ВГВ, согласно которому амплитудные пороги ограничиваются процессами динамической неустойчивости атмосферы. Для апробации методики были привлечены данные одновременных *in situ* баллонных измерений температуры и скорости ветра в стратосфере Земли (Франция), где было обнаружено распространение насыщенной ВГВ. Все измеренные в баллонном эксперименте волновые параметры были реконструированы нами с погрешностью не более ~30 % на основе данных о температуре. Применение методики к температурным профилям, восстановленным в радиозатменных экспериментах, дало возможность идентифицировать ВГВ в нижней стратосфере Земли и определить величины ключевых волновых параметров, таких как собственная частота, амплитуда вертикальных и горизонтальных возмущений скорости ветра, вертикальная и горизонтальная длина волны, собственная вертикальная и горизонтальная фазовая (групповая) скорости, кинетическая и потенциальная энергия, вертикальные потоки волновой энергии и горизонтального импульса. Представлены и обсуждаются результаты исследования внутренних волн, полученные на основе анализа температурных данных радиозондирования атмосферы Земли с помощью спутников CHAMP и COSMIC GPS.

ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОТЯЖЁННОГО ОБЛАКА ИЗ САМОЛЁТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ NASA

Гения Мванго Джефва¹, Ирина Мельникова¹, Чарльз Гатбе²

¹ ГОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург

² NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, USA
E-mail: mwangoj@yandex.ru

Данные самолетных измерений интенсивности солнечной радиации в коротковолновом диапазоне спектра, полученные в лаборатории Годдардского центра полетов NASA, использованы для восстановления оптических параметров протяженного облачного слоя (оптической толщины, альbedo однократного рассеяния, объёмных коэффициентов рассеяния и поглощения, а также параметра асимметрии индикатрисы рассеяния). Применен метод обратных асимптотических формул, позволяющий аналитически решать обратную задачу оптики атмосферы без существенных ограничений на восстанавливаемые параметры. Измерения выполнены в облачном слое большой оптической толщины и протяженности в коротковолновом спектральном диапазоне в 8 спектральных каналах: 340; 381; 472; 682; 870; 1,035; 1219 и 1273 нм. Восстановление оптических параметров было произведено из данных измерений отраженной солнечной радиации на верхней границе облачности 800 м, из наблюдений пропущенной солнечной радиации на высоте 400 м и из совместной обработки данных. Соответственно, было составлено три компьютерных программы, которые усредняли величины интенсивности по 10 сканам на верхней и нижней границах. Восстановленные величины альbedo подстилающей поверхности, оптической толщины и альbedo однократного рассеяния, а также объёмных коэффициентов рассеяния и поглощения представлены в докладе. Проведено сравнение с результатами, полученными ранее из российских самолетных измерений полусферических потоков солнечной радиации.

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ ГЛОНАСС/GPS

В.В. Чукин, Е.С. Алдошкина, А.В. Вахнин, А.Ю. Канухина, Т.Т. Нгуен
ГОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург
E-mail: chukin@rshu.ru

В существующих в настоящее время методах дистанционного зондирования водяного пара в атмосфере отмечается ряд недостатков, связанных с зависимостью точности измерений от наличия облаков, недостаточной частотой проведения измерений и высокой стоимостью эксплуатации. Таким образом, имеется необходимость создания метода, который, с одной стороны, давал бы высокую точность измерения влажности воздуха, а с другой стороны, был доступным, надежным, простым и экономичным в эксплуатации.

Рассматриваемый метод дистанционного зондирования атмосферы позволяет осуществлять расчёт содержания водяного пара в атмосфере по данным наземной регистрации радиосигналов космических аппаратов глобальной навигационной спутниковой системы. Содержание водяного пара определяется путем измерения пространственных задержек радиосигналов

в атмосфере в результате уменьшения фазовой скорости радиоволн за счёт эффекта поляризации молекул водяного пара.

Метод восстановления водяного пара заключается в подборе профиля водяного пара по уже существующим профилям, находящимся в базе аэрологического зондирования. Выбирается профиль водяного пара, которому соответствует минимальное значение функции потерь. Метод реализуется путем многократного решения прямой задачи. Трудность реализации метода заключается в необходимости иметь очень большой архив вертикальных профилей показателя преломления.

На результаты восстановления профилей влияет точность задания ковариационных матриц, которые подвержены влиянию приземных инверсий температуры воздуха, зависят от наличия облаков нижнего и среднего яруса.

Предлагаемый метод позволяет получать важную информацию о вертикальном распределении содержания водяного пара в нижних слоях атмосферы. К достоинствам метода относятся его оперативность, «всепогодность», полная автоматизация, отсутствие расходных материалов при проведении дистанционного зондирования атмосферы. Информация, получаемая этим методом, может быть использована в региональных численных моделях прогноза погоды с целью улучшения качества прогноза и его пространственной детализации.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № П1549).

ОСОБЕННОСТИ ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ПОЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА ПРИ ЭВОЛЮЦИИ ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОНА НА ПРИМЕРЕ ТЦ FRANCISCO (2001)

Е.А. Шарков, Я.Н. Шрамков, И.В. Покровская
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: e.sharkov@mail.ru

С помощью принципиально усовершенствованной комплексной базы данных EVA-01 (пространственно-временная эволюция тропического циклогенеза и поля водяного пара) с элементами объектно-реляционного типа выполнен детальный анализ поля интегральной концентрации водяного пара (по данным микроволновых спутниковых систем комплекса DMSP) на всех этапах временной эволюции ТЦ Francisco (2001) в акватории северо-западной части Тихого океана. В работе экспериментально показано, что на фоне среднего значения интенсивности поля водяного пара, превышающего критическое значения интегрального водяного пара (это необходимое условие генезиса любого ТЦ, при котором формируется зрелая форма тропического циклона), формируется своего рода «купол» повышенных значений интенсивностей водяного пара достаточно сложной пространственной формы. Фиксация по дистанционным микроволновым данным этой особенности поля водяного пара соответствует временным срокам, более ранним, чем появление зрелой эволюционной формы ТЦ по данным гидрометеорологических наблюдений и наблюдений состояния облачных масс. По мере эволюции ТЦ пространственная форма претерпевает серьезные искажения и при диссипации ТЦ перестает существовать. Возможным физическим механизмом формирования повышенного значения интенсивности водяного пара могут служить известные конвективные колонны в облачном поле ТЦ. Выявленные связи областей водяного пара повышенной концентрации (купола) и генезиса тропических циклонов стали очевидными только при при-

менении объектно-реляционных компьютерных технологий и библиотек MatLab. При использовании технологии сетчатых 3D-поверхностей были получены отдельные детализированные фрагменты поля водяного пара на каждый временной эволюционный этап преобразования ТЦ, начиная с его генезиса до полного распада и поглощения крупномасштабной фронтальной зоной в Тихом океане. В заключение на основе сформированной базы данных смонтирован демонстрационный анимационный ролик (за 2001 г.), наглядно демонстрирующий связь областей повышенной концентрации водяного пара и генезиса тропических циклонов.

Работа поддержана РФФИ (проект № 09-05-01019-а).

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КАРТ ДЛЯ АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СНЕГОПАДА В МОСКВЕ 7 ДЕКАБРЯ 2009 г.

К.Н. Головлев¹, М.В. Бухаров², Н.С. Миронова², Е.А. Сизенова²

¹ ГУ «Гидрометцентр России», Москва

² ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

E-mail: Golovlev@mecom.ru

Одной из проблем, возникающей при метеорологическом обеспечении городских коммунальных служб, является сложность распознавания ситуаций, когда сильный снегопад наблюдается в условиях, при которых осадки обычно не ожидаются. В результате, коммунальные службы не проводят заблаговременной обработки дорожного покрытия, что при сильном снеге приводит к росту количества аварий и пробок на дорогах. Поэтому совершенствование методов оперативного распознавания причин, влияние которых возможно на возникновение сильных снегопадов, является одной из важных практических задач.

В докладе рассматриваются результаты анализа динамики изменения метеорологических условий, при которых 7 декабря 2009 г. в Московском регионе наблюдался не ожидавшийся сильный снегопад (до 4–5 см за 12 ч), который создал транспортные проблемы на автомобильных дорогах Москвы.

Для анализа использованы все виды традиционной метеорологической информации, а также новые обзорные карты, выпуск которых (через каждые 15 минут) освоен в ГУ «НИЦ «Планета» по результатам дешифровки комплекса спутниковых и синхронных прогностических данных. Это карты: лапласиана приземного давления, термической неустойчивости в нижнем слое тропосферы, контраста температуры воздуха на уровне 850 гПа, дивергенции тепла на этом же уровне и интенсивности обледенения в облаках.

Установлено, что сильный снегопад в Московском регионе, наблюдавшийся на периферии (~1030 гПа) мощного антициклона (~1040 гПа) с центром над средним Поволжьем, мог возникнуть вследствие одновременного воздействия совокупности следующих факторов:

- минимальных значений крупномасштабных нисходящих движений на периферии антициклона;
- усиления вертикальной термической неустойчивости в самом нижнем (километровом) слое тропосферы;
- прохождения маскированного атмосферного фронта (выраженного в поле контраста температур);
- наличия облачности с условиями интенсивного обледенения.

Результаты анализа показали полезность выпускаемого комплекса новых обзорных карт для уточнения прогноза осадков на ближайшие часы.

В качестве иллюстраций приводятся примеры обзорных карт, использовавшихся для анализа.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ И СОДЕРЖАНИЯ CO, NO₂ И O₃ В ТРОПОСФЕРЕ ВБЛИЗИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М.В. Макарова, А.В. Ракитин, Д.В. Ионов, А.В. Поберовский
Санкт-Петербургский государственный университет
E-mail: zaits@troll.phys.spbu.ru

На основе экспериментальных спутниковых и наземных данных и результатов численного моделирования осуществлен анализ пространственно-временной изменчивости полей концентраций и содержания CO, NO₂ и O₃ в тропосфере для Северо-запада России. На примере марта 2006 г. оценено влияние эмиссии Санкт-Петербурга на значения концентраций и содержаний CO, NO₂ и O₃ в тропосфере. Сравнение измерений общего содержания CO и тропосферного содержания NO₂ с результатами расчётов по транспортно-фотохимической модели показало хорошую воспроизводимость моделью периодов с повышенными значениями содержаний CO и NO₂. Результаты моделирования показали, что при определенных условиях шлейф Санкт-Петербурга может быть детектирован на расстоянии более 300 км, что может влиять на качество атмосферного воздуха сопредельных государств. Адаптированная транспортно-фотохимическая модель позволяет использовать её как эффективный инструмент для анализа и прогноза качества атмосферного воздуха для Северо-запада РФ.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № П969 от 27.05.2010), РФФИ (проект №08-05-00857-а).

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ НА ВОСТОКЕ РОССИИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В.И. Козлов, В.А. Мулларов, Р.Р. Каримов
Институт космических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера
СО РАН, Якутск
E-mail: v.kozlov@ikfia.ysn.ru

Представлены полученные впервые карты по регистрации методом многопунктовых дистанционных наблюдений с использованием Якутского пункта системы World Wide Lightning Location Network (wwlln.net) плотности грозовых разрядов на территории Северной Азии (60–170° в. д. и 40–80° с. ш.) за 2009 г.

Имеются две области с повышенной грозовой активностью от 44 до 62° с. ш.: Западносибирская равнина (60–88° в. д.) и районы Большого и Малого Хингана (114–140° в. д.). За исключением этих областей наблюдается постепенное уменьшение плотности грозовых разрядов от низких широт к высоким. Причем в июне и августе наблюдается плавный спад выше 54° с. ш. А в июле максимум гроз смещен в область более высоких широт, что связано с активностью очага на Западносибирской равнине.

В долгом ходе за исключением упомянутых двух областей наблюдается плавный спад с увеличением долготы. Причем в августе западный очаг исчезает, и плавный спад наблюдается до 115° в. д. Восточный очаг остается на протяжении двух месяцев. Восточнее 145° плотность грозových разрядов резко уменьшается, так как эта область приходится в основном на водное пространство.

Выявлено, что с увеличением высоты местности от 0 до 200 м над уровнем моря наблюдается подъем, далее наблюдается плавный спад грозовой активности с дальнейшим повышением местности до 3 км. На высотах выше 3 км наблюдается минимальная гроззовая активность. Всего пассивным грозорадаром, установленным в Якутске, зарегистрировано за летний сезон 2009 г. 66 294 грозových разряда на площади $720\,000\text{ км}^2$. Гроззовая активность и динамика относительного числа отрицательных разрядов имеет максимум интенсивности в июле и резкий спад к августу. Наземные разряды составляют в среднем за сезон 65 %. Из числа наземных разрядов в среднем 90 % составляют отрицательные разряды. Резко выраженный суточный максимум грозовой активности в июне приходится на вечернее время (18 ч по местному времени), в конце лета он смещается к ночным часам. По территории центральной Якутии летом 2009 г. проходили пять циклонических волн. Наблюдается превышение числа межоблачных и внутриоблачных разрядов и повышенное число положительных наземных грозových разрядов в начале и конце волны интенсивности.

Медианное значение токов оказалось равным 28 кА с квантилями 14 и 40 кА. Большие амплитуды тока (в 2 раза) соответствуют положительным разрядам «облако-Земля».

Длительность принимаемого радиосигнала, состоящего из ОНЧ- и СНЧ-радиоимпульсов, изменялась в интервале от 6 до 56 мс, с модальным значением в 14 мс. СНЧ-компонента была представлена частотами от 170 до 60 Гц и наблюдалась в 67 % случаев после положительного наземного разряда. Запаздывание СНЧ-сигнала от соответствующего ему атмосферика лежало в пределах 7 мс, с наиболее вероятными длительностями — 1 и 2 мс (36 и 37 % соответственно). В 15 % наблюдается возникновение двух наложенных СНЧ-компонент, ассоциированных с одним положительным атмосфериком. Время запаздывания второго пика амплитуды (порожденного спайтом) находится в пределах от 2 до 11 мс, и зарегистрирован один случай с запаздыванием 40 мс.

Работа поддержана РФФИ (проекты № 08-02-00348-а, 09-05-98540-р_восток_а) и программами Президиума РАН 16 и АВЦП проект № РНП 2.1.1/2555 и ФАНИ (госконтракт № 02.740.11.0248).

РАДИАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛАКОВ ВОДНОГО И НЕВОДНОГО АЭРОЗОЛЯ

А.К. Городецкий

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: gora@iki.rssi.ru;

Дан анализ спектральных, угловых и поляризационных измерений интенсивности уходящего излучения в области спектра 8–20 мкм, проведенных с ИСЗ. Разработана методика определения радиационных характеристик облаков с привлечением данных измерений в видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра. Температура и высота верхней границы облаков (ВГО) определяются на основе спектрально-угловой методики в среднем ИК-диа-

пазоне и зависимости интенсивности уходящего собственного теплового излучения от воздушной массы при синхронных конвергентных измерениях. В ближнем ИК-диапазоне для определения высоты ВГО используется зависимость спектральной структуры отраженной солнечной радиации от массы кислорода над облаком в полосе 0,76 мкм. В видимом диапазоне спектра исходной информации для этой задачи является взаимное пространственное расположение облака и его тени на земной поверхности. Приводится сопоставление результатов измерений для этих методов при квазисинхронных измерениях в этих областях спектра. Определение преобладающей фазовой структуры облачных аэрозольных компонент основывается на радиационных контрастах в полосах поглощения и окнах прозрачности атмосферы для капельной воды, льда и неводного аэрозоля. Измерения вертикальной и горизонтальной поляризации проведены впервые для длины волны 11 мкм на ИСЗ «Космос-1151». Проведен анализ измерений пылевых бурь и дымов от пожаров по данным аппаратуры MODIS и MERIS.

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОПАСНЫХ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГРАНИЦЕ АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

Г.А. Ким

НЦ аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос», Москва
E-mail: kimursul@gmail.com

Поскольку тропическая зона Земли играет особую роль в развитии глобальной термодинамической системы поверхность-атмосфера и является эффективным механизмом сброса избыточного тепла, то одним из важнейших направлений в исследованиях тропического циклогенеза является оценка величины скрытой теплоты, явной и кинетической энергии тропического циклона для разных стадий его образования. Таким образом, целью исследования было по собранным и систематизированным спутниковым данным разработать эффективную методику количественной оценки энергии тропического циклона.

Была разработана методика анализа энергетических особенностей опасных мезомасштабных процессов на границе атмосферы и гидросферы, которая включает в себя три ветви: исследование отдельного образования на различных стадиях его эволюции, исследование взаимодействия двух и более циклонов и расчёт энергетических параметров отдельной зоны тропического циклогенеза и/или всей внутритропической зоны конвергенции (ВЗК). Таким образом, исследуются зона ВЗК и процессы в ней, что является промежуточным подходом, объединяющим в себе элементы как глобального, так и локального подходов.

В работе проведена апробация и верификация разработанной методики анализа энергетических особенностей по данным прибора AMSR-E на примере нескольких тропических циклонов, что позволило более точно отработать механизмы расчёта, а также понять определяющие факторы, влияющие на данный анализ. Методика позволяет оценить энергию тропического циклона, а также оптимизировать этот процесс.

Также в работе проведена систематизация полученных ранее результатов и приведены основные этапы обработки данных.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

РАСПОЗНАВАНИЕ И СТРУКТУРА ДЫМОВЫХ ШЛЕЙФОВ ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

О.А. Дубровская¹, В.В. Смирнов¹, А.И. Сухинин²

¹ Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

² Институт леса СО РАН им. В.Н. Сукачева, Красноярск

E-mail: olga@ict.nsc.ru

В условиях климатических изменений лесные пожары становятся катастрофическим явлением. Они представляют собой не только бедствие для населения, но и важный фактор в формировании локальной, региональной и даже глобальной экодинамики. Выбросы дымовых газов и аэрозоля в атмосферу вносят существенный вклад в образование и развитие парникового эффекта.

Интенсивность и площадь лесных пожаров зависит от метеорологической и синоптической ситуации. В жаркие и засушливые годы вероятность природных пожаров сильно возрастает. Воздействие лесных пожаров на атмосферные процессы осуществляется за счёт явного тепла при горении лесных горючих материалов и скрытого тепла, выделяемого при конденсации водяного пара. Существенное влияние на формирование облачности и осадков оказывает дымовой аэрозоль, который покрывает территорию, в сотни раз большую, чем площадь горения.

Современные методы дистанционного зондирования дают возможность исследовать распространение, структуру и динамику дымовых шлейфов, а также осаждение на подстилающую поверхность с высоким пространственным и временным разрешением.

Системы космического мониторинга позволяют выделить задымленные территории, определить источники задымления, выделить дымовые шлейфы и дымовые колонки, а также определить фронтальную облачность с активной грозовой деятельностью. В Институте вычислительных технологий СО РАН развернута автоматизированная система приёма и обработки спутниковой информации. Данные оперативного спутникового мониторинга необходимы для адаптации и верификации численных моделей.

В работе представлены результаты численного моделирования, с использованием оперативных данных, полученных сенсором MODIS с платформ Terra/Aqua, переноса и трансформации дымовых шлейфов, выделяемых при массовых лесных пожарах и создающих обстановку чрезвычайного задымления местности.

Представлена методика восстановления значений концентрации газовых составляющих на примере CO₂ для заданного региона по данным о лесных пожарах и метеорологической информации. Данная методика позволила воспроизвести геометрию дымового шлейфа на сетках с различным пространственным разрешением.

**РАСПОЗНАВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ОЦЕНКА
ИХ ПАРАМЕТРОВ ПО МНОГОСПЕКТРАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ
МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА МТВЗА**

М.В. Бухаров, Н.С. Миронова, Е.А. Сизенова

ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

E-mail: bmv@planet.iitp.ru

Ввод в опытную эксплуатацию системы предварительной обработки информация микроволнового радиометра МТВЗА (модуль температурно-влажностного зондирования атмосферы) спутника «Метеор-М» № 1, реализованный в ГУ «НИЦ «Планета» в конце 2009 г., позволил приступить к этапу оценки качества поступающей многоспектральной информации об уходящем тепловом излучении Земли и уточнению алгоритмов распознавания метеорологических явлений.

Анализ показал, что между значениями яркостной температуры МТВЗА и их оценками, которые вычисляются по теоретическим моделям излучения с учётом фактических данных радиозондирования атмосферы, наблюдается расхождение. В отдельных случаях оно имеет вид очевидных искажений регистрируемого излучения под влиянием, по-видимому, поворота панелей солнечных батарей спутника и других причин.

Поэтому при дешифровке информации МТВЗА был принят следующий подход. Вначале проводится отбраковка грубых искажений информации. Затем, по значениям яркостной температуры проводится распознавание типов подстилающей поверхности и опасных метеорологических явлений. После чего рассчитываются соответствующие значения метеорологических параметров. Причем, для расчётов используются значения яркостной температуры, дополнительно скорректированные в соответствии с принятой моделью переноса теплового излучения в атмосфере.

Данный подход автоматизирован и позволил в экспериментальном режиме распознавать молодые и многолетние льды, зоны свежего торошения льда, фирн ледников, а также грозы с возможным градом в кучево-дождевых облаках над водой и сушей. Количественные не противоречивые оценки получены для следующих метеорологических параметров над водной поверхностью: интегральное содержание водяного пара, водозапас облаков и интенсивность осадков.

Следует отметить, что, несмотря на низкое пространственное разрешение данных МТВЗА, специалисты морского отдела Гидрометцентра России проявили интерес к ежесуточным экспериментальным картам ледового покрова и зон свежего торошения льда в северном полушарии.

В качестве иллюстраций приводятся примеры типичных искажений исходной информации МТВЗА и глобальные метеорологические карты, экспериментальный выпуск которых осуществлен в ГУ «НИЦ «Планета».

РЕГИОНАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРИВОДНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ХОЛОДНОЕ ПОЛУГОДИЕ НАД БЕРИНГОВЫМ МОРЕМ

М.К. Пичугин

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток
E-mail: pichugin@poi.dvo.ru

Важными количественными характеристиками теплового взаимодействия океана и атмосферы являются турбулентные потоки явного и скрытого тепла. Более точные оценки потоков в сочетании с более высоким пространственным и временным разрешением могут существенно улучшить результаты численного моделирования погодных систем и моделей общей циркуляции атмосферы.

При определении турбулентных потоков тепла и влаги, как правило, используется аэродинамический метод, основанный на полуэмпирических формулах, так называемых «балк-формулах». Входными параметрами, используемыми при параметризации взаимодействия между океаном и атмосферой, являются: скорость приводного ветра, температура поверхности воды, температура и влажность воздуха у морской поверхности.

В работе оценены погрешности двух алгоритмов восстановления температуры воздуха в приводном слое атмосферы по данным спутникового микроволнового зондирования для случаев холодных вторжений над Беринговым морем. Оценка проводилась на основе моделирования яркостных температур $T_{\alpha}(f)$ на вертикальной поляризации на частотах $f = 19,3; 22,235$ и $37,0$ ГГц (радиометр SSM/I, угол визирования $\theta = 53,4^{\circ}$, спутники министерства обороны США) и $50,3$ и $52,8$ ГГц (радиометр AMSU-A, угол визирования $\theta = 0,0^{\circ}$, спутники серии NOAA).

Приведены характеристики аэрологической базы данных, используемой при моделировании, и описана методика восстановления вертикального профиля влажности облаков. Дополнительно, по данным измерений радара, установленного на спутнике Cloudsat, были получены средние величины влажности форм облачности, характерных для холодных вторжений, и использованы в восстановлении вертикального профиля.

Из результатов расчётов следует, что погрешности обоих соотношений существенно выше полученных авторами алгоритмов ($\sigma = 4,05/4,93^{\circ}\text{C}$). В диапазоне сравнительно низких температур ($-18...-8^{\circ}\text{C}$) рассчитанные значения температуры воздуха, в среднем, значительно выше измеренных (на $2-8^{\circ}\text{C}$), что существенно влияет на оценки потока явного тепла при холодных вторжениях.

Предложен региональный алгоритм оценки температуры воздуха в приводном слое атмосферы при холодных вторжениях, основанный на спутниковых измерениях яркостных температур на частотах $\nu_1 = 52,8$ и $\nu_2 = 53,6$ ГГц на вертикальной и горизонтальной поляризациях, соответственно. Проведена валидация алгоритма на основе сопряженных данных спутниковых измерений AMSU-A (спутники NOAA-K, M, N и METOP-A) и 11 океанических буев NDBC, расположенных в Беринговом море и заливе Аляска.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-13569-офи_ц) и ДВО РАН (проект № 10-III-B-07-045).

**СВЯЗЬ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ВАРИАЦИЙ ПРИЗЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ
ОЗОНА С ОБЩИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ г. УЛАН-УДЭ***В.П. Бутуханов*Отдел физических проблем при Президиуме Бурятского научного центра
СО РАН, Улан-Удэ

E-mail: lom@pres.bsnet.ru

Проблеме атмосферного озона уделяется большое внимание в связи с наблюдаемой тенденцией уменьшения стратосферного и роста тропосферного озона в умеренных широтах северного полушария. Для изучения причин, влияющих на эти тенденции необходимы исследования долговременных вариаций общего содержания озона (ОСО) и его приземной концентрации (ПКО) совместно с метеорологическими и другими характеристиками атмосферы.

В данной работе приводятся результаты многолетних рядов наблюдений ПКО в атмосфере г. Улан-Удэ. Обсуждаются изменения среднемесячных концентраций приземного озона за период с 1999 по 2004 г. Выделены некоторые особенности их долговременных изменений, сезонные и межгодовые вариации. Максимальные и минимальные значения ПКО в основном обусловлены синоптическими (частые вторжения арктических воздушных масс) и локальными процессами (температурные инверсии, фотохимические процессы).

Среднемесячные и годовые ряды ОСО за 1996–2005 гг. для широты и долготы г. Улан-Удэ были сформированы на основе спутниковых данных TOMS.

Установлено значимое влияние общего содержания озона на изменения максимальных ПКО в городском воздухе.

Проведенный кросскорреляционный анализ рядов ПКО и ОСО выявил запаздывание вариаций ПКО относительно ОСО на $\tau = 3$ мес. Анализ разности фаз ПКО и ОСО на фазовой диаграмме их годового хода показал близость фазовой кривой к окружности, что также свидетельствует о фазовом сдвиге в четверть периода основных гармоник ОСО и ПКО.

Установлено, что причиной взаимосвязи ОСО и ПКО в их сезонном ходе является преобладание антициклонической циркуляции с нисходящими потоками. Из этого следует, что одним из основных механизмов формирования приземного озона является перенос из верхних слоев атмосферы, обусловленный главным образом стратосферно-тропосферным обменом в весенний период.

Необходимо отметить в межгодовой изменчивости ОСО с 2002 по 2005 г. тенденцию увеличения его максимального значения.

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ МИКРОВОЛНОВЫХ РАДИОМЕТРОВ ПОЛЯРНО-
ОРБИТАЛЬНЫХ ИСЗ***А.В. Кухарский, М.В. Бухаров, В.И. Соловьёв*

ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

E-mail: kukharsky@planet.iitp.ru

Запуск отечественного спутника «Метеор-М» № 1, осуществленный 17 сентября 2009 г., и присоединение к системе EARS (Eumetsat Advanced Retransmission Service) привели к тому, что к концу 2009 г. в ГУ «НИЦ

«Планета» существенно возрос поток информации об уходящем тепловом излучении Земли, поступающей с полярно-орбитальных спутников. Поэтому возникла потребность в создании системы автоматизированной тематической обработки потока такой информации.

Разрабатываемая система объединяет отдельные автоматизированные рабочие места тематической обработки данных ATOVS (HIRS+AMSU-A, -B), поступающих с ИСЗ NOAA в режиме непосредственного приёма в Москве и в виде информации EARS, распространяемой через геостационарный спутник EuroBird по системе EUMETCast, а также данные предварительной обработки измерений МТВЗА (модуль температурно-влажностного зондирования атмосферы) спутника «Метеор-М».

Основными выходными продуктами новой системы в настоящее время являются: региональные и глобальные карты состояния ледяного и снежно-покровов, влажностные параметры атмосферы над водной поверхностью, осадки и опасные атмосферные явления. Причем, информация со спутников NOAA позволяет осуществлять более качественный и пространственно расширенный региональный обзор ледовых и метеорологических условий, а накопленная за сутки информация с «Метеор-М» — соответствующий глобальный обзор.

Отметим, что информация микроволнового радиометра МТВЗА спутника «Метеор-М», несмотря на большие возможности многоспектральных измерений, имеет ряд ограничений, которые влияют на правильность её метеорологической интерпретации. Это неточность абсолютной калибровки яркостной температуры спектральных каналов и эпизодически возникающие искажения данных при изменении положения панелей солнечной батареи. Поэтому до решения проблем абсолютной калибровки и отбраковки сбойной информации результаты измерений МТВЗА дешифрируются только в экспериментальном режиме.

В качестве иллюстраций приводятся обобщенная блок-схема новой системы автоматизированной тематической обработки информации микроволновых радиометров полярно-орбитальных ИСЗ и примеры региональных и глобальных карт, экспериментальный выпуск которых отрабатывается в ГУ «НИЦ «Планета».

СРАВНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА ИК-МЕТОДОМ

*Я.А. Виролайнен¹, Ю.М. Тимофеев¹, Д.В. Ионов¹, А.В. Поберовский¹,
А.М. Шаламянский²*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург
E-mail: tim@JT14934.spb.edu

Для валидации спутниковых измерений общего содержания озона (ОСО) различными приборами используются наземные измерения спектрометрами Добсона и Брюера и озонметров М-124. Подобная же валидация может осуществляться с помощью ИК измерений спектров прямого солнечного ИК-излучения.

В СПбГУ был разработан метод интерпретации измерений солнечного излучения высокого спектрального разрешения с помощью фурье-спектрометра Брюкера. При определении ОСО использовались 6 спектральных интервалов в длинноволновой области и центре полосы поглощения озона 9,6 мкм и коротковолновом крыле полосы поглощения углекислого газа

15 мкм (всего около 700 спектральных отсчётов). Потенциальные погрешности ИК-метода определения ОСО для выбранной спектральной схемы составляют менее 1 %. С помощью разработанной методики проведен анализ 269 спектров прямого солнечного ИК-излучения высокого разрешения ($0,005-0,008 \text{ см}^{-1}$), измеренных в Петергофе в течение 52 дней в период с марта по ноябрь 2009 г. Полученные значения ОСО с помощью ИК-метода были сопоставлены с независимыми наземными измерениями в Воейково (ГГО) с помощью спектрофотометра Добсона и озонметра М-124, а также с данными спутникового прибора ОМІ. Показано, что средние отклонения между измерениями ОСО тремя наземными приборами очень малы и составляют не более 0,4 %. Среднеквадратичные рассогласования между измерениями спектрометром Брюкера и рассматриваемыми спутниковым и наземными приборами составляют 3–4 %. Анализ дневных вариаций измерений ОСО в условиях стабильной атмосферы дает оценку сверху случайной компоненты погрешности измерений ОСО спектрометром Брюкера в ~ 3 Д.е.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00952-а и 08-05-857), а также грантов РНП № 2.1.1/1138, РНП № 2.2.1.1/3846 и в рамках контракта по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (мероприятие 1.2.1 — I очередь, лот № 2010-1.2.1-101-006).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДВУХ ПОРОГОВЫХ МЕТОДИК АВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОБЛАЧНОСТИ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ РАДИОМЕТРА SEVIRI С МИСЗ METEOSAT-9

Е.В. Волкова

ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва
E-mail: quantocosa@bk.ru

Проведено сопоставление работоспособности двух пороговых методик, предназначенных для круглосуточного детектирования параметров облачного покрова (облачной маски, типа облачности и высоты верхней границы облаков — ВГО) в автоматическом режиме по данным измерений многоканального радиометра SEVIRI геостационарного ИСЗ Meteosat-9: комплексной методики (ГУ «НИЦ «Планета») и методики EUMETSAT.

В качестве предикторов обе методики используют данные измерений радиометра SEVIRI, динамические пороговые значения которых рассчитываются как функции высоты Солнца, приземной температуры воздуха, угла спутникового визирования и др. Дополнительно в обеих методиках применяются прогностические данные о вертикальных профилях температуры и влажности на стандартных изобарических уровнях атмосферы, а в методике EUMETSAT — результаты моделирования измерений SEVIRI в ИК-каналах с помощью комплекса быстрых радиационных расчётов RTTOV. Выполнен сравнительный анализ качества детектирования и оценки параметров облачного покрова с помощью обеих методик на материале архива синхронных спутниковых и наземных метеонаблюдений за облачностью для различных сроков периода с октября 2009 по сентябрь 2010 г. Результаты анализа показывают, что комплексная методика не уступает методике EUMETSAT по точности детектирования облачной маски и определения высоты ВГО, а при классификации облачности по типам даже превосходит её.

СУТОЧНЫЙ ХОД ОБЛАЧНОСТИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.В. Чернокульский, И.И. Мохов

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

E-mail: chern_av@ifaran.ru

Анализ спутниковых измерений, полученных с помощью одинаковых приборов, установленных на полярно-орбитальных спутниках, пересекающих экватор в разное время, позволяет оценить суточный ход облачности. В данной работе проанализирован суточный ход облачности с использованием баз данных Patmos-X, AIRS-LMD, CALIPSO-GOCCP, CERES, MODIS. Также привлекалась данные наземных наблюдений (база данных EECRA).

Анализ глобально- и полушарно-осредненного количества облаков ночью и днем позволяет оценить амплитуду суточного хода облачности всей планеты в целом (с исключением широт за полярным кругом). Так, над сушей северного полушария (СП) согласно всем данным облаков больше днём (с разницей до 0,15). В то же время над континентами южного полушария (ЮП) отмечены существенные различия: по данным AIRS-LMD и MODIS Aqua количество облаков в ночное время больше, чем в дневное (разница доходит до 0,08). По другим данным облаков больше днём (разница тоже около 0,08). Над океаном обоих полушарий количество облаков в целом больше ночью, чем днём, однако амплитуда меньше, чем над сушей (достигает 0,03–0,05). Суточные различия над сушей и океаном имеют различный знак, поэтому для планеты в целом (вместе для суши и океана) разница между ночной и дневной облачностью близка к нулю. В СП, за счёт большего вклада суточного хода над сушей, преобладает дневная облачность, в ЮП, за счёт большей площади океана — ночная.

Количество облаков, осредненных по кругу широты, над сушей внетропических широт СП и ЮП как в среднем за год, так и в различные сезоны больше днём, чем ночью. В тропических широтах по данным AIRS-LMD и MODIS Aqua количество облаков больше ночью (до 0,2). По остальным данным ночная облачность больше дневной только на широтах 10–20° летнего полушария. Над океаном отмечено согласие различных данных: в низких широтах (<30–40°) преобладает ночная облачность, в средних и высоких широтах — дневная. В тропиках разница между облачностью ночью и днём (в пользу ночной облачности) больше в летний период, чем в зимний. В высоких широтах практически не проявляется зависимость от сезона.

Стоит отметить, что дневной максимум облачности над сушей связан с конвективной облачностью нижнего яруса, максимум которой приходится на 1–2 ч после полудня. Минимум общей облачности отмечается в утренние часы и связан с минимумом облачности верхнего и нижнего ярусов. В средних широтах СП региональные значения амплитуды суточного хода могут достигать 20 % от среднесуточного значения облачности. Ещё большая амплитуда отмечена над Тибетским плато, где по данным Patmos-X она достигает 80 % (в пользу дневной облачности). Над тропическими лесами между различными данными в вечерние и ночные часы выявлены существенные различия. По одним данным ночью и вечером проявляется минимум облачности, по другим — максимум (при этом амплитуда суточного хода достигает 20–40 % от среднесуточного значения). Подобные различия, по-видимому, связаны с различиями в алгоритмах определения верхней и средней облачности.

Над океаном максимум общего количества облаков проявляется в ночное время и обусловлен «наложением» максимумов средней облачности (около 5 ч утра), верхней облачности (около 8 часов вечера во внетропических широтах и около полуночи вблизи экватора) и слоистой облачности нижнего яруса (от 4 до 8 ч утра). Наибольшая амплитуда суточного хода отмечена в низких широтах, главным образом — над восточными частями океанов, где дневная облачность на 0,1–0,3 меньше ночной (20–30 % от среднесуточной).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЫЛЕВЫХ И САЖЕВЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ПРОЦЕСС СНЕГОТАЯНИЯ

А.В. Дмитриев, В.В. Дмитриев

Омский государственный педагогический университет

E-mail: vdmित्रiev@omgpu.ru; ftsoft@yandex.ru

Работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию процесса таяния снежного покрова, загрязненного пылевыми и сажевыми частицами, в окрестностях г. Омска по материалам зимне-весенних сезонов 2009/2010 года. Пространственно-временная динамика снеготаяния используется в качестве индикатора промышленного загрязнения пылевыми и сажевыми выбросами.

В работе использованы данные ДЗЗ полученные радиометром MODIS спутников Terra (продукт MOD09GA/MOD09GQ) и Aqua (MYD09GA/MYD09GQ). В случае недостатка данных также использовались и данные радиометров AVHRR со спутников NOAA-15–19. Данные о загрязнении снежного покрова были получены в ходе наземных измерений. При этом определялись: содержание пылевых и сажевых частиц в снегу, пространственное распределение загрязнений в окрестностях г. Омска, плотность и влагозапас снежного покрова. В ходе лабораторных исследований определялись гранулометрические и физические характеристики загрязняющих веществ. Использовались архивные погодные данные с ресурса «Погода России», разработанного ИКИ РАН.

В ходе работы проводились:

- 1) исследование пространственно-временной динамики снеготаяния по спутниковым данным аналогично работам предыдущих (2006–2009) годов;
- 2) моделирование пространственного распределения промышленных сажевых загрязнений вследствие ветропереноса с привлечением наземных погодных архивов;
- 3) уточнение теплофизической модели снежного покрова применительно к процессу снеготаяния, учитывающей накопление тепловой энергии снегом за счёт внешних источников (прямая и рассеянная солнечная радиация с учётом влияния рельефа, турбулентный теплоперенос и т. д.) и поглощение излучения пылевыми и сажевыми частицами;
- 4) проверка модели процесса таяния загрязненного снежного покрова по результатам спутниковых и наземных исследований с учётом параметров загрязняющих частиц.

ТРЕХМЕРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОЛЕЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В ЗОНАХ ТРОПОСФЕРНЫХ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

*М.В. Бухаров*¹, *Н.С. Миронова*¹, *Е.А. Сизенова*¹, *В.М. Лосев*², *В.М. Бухаров*²,
*Л.А. Мисник*³

¹ ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

² ГУ «Гидрометцентр России», Москва

³ Филиал «МЦ АУВД» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», Москва

E-mail: bmv@planet.iitp.ru

Обзорная трёхмерная информация о текущих значениях максимальной скорости ветра в тропосфере и высотных границах струйных течений представляет большой интерес при организации безопасного и экономичного воздушного движения. Последовательный анализ ветровых условий на картах, строящихся для каждого изобарического уровня, требует значительного времени. Поэтому разработка обобщенной карты, сразу дающей трёхмерное представление о границах слоя с сильным ветром в тропосфере, является одной из важных задач метеорологического обеспечения руководителей полетов.

Учитывая это, в докладе рассматривается подход к решению такой задачи, который основан на использовании учащенно рассчитываемых выходных данных гидродинамической модели регионального прогноза (ГМРП) Гидрометцентра России. Данные ГМРП позволяют получать оценки ветровых и температурных условий полета на разных изобарических поверхностях и имеют пространственную детальность 0,5° географической широты и долготы.

Проведенный опрос руководителей полетов показал, что обобщенная карта о ветре должна содержать детальную информацию о максимальной скорости ветра в атмосфере до высот ~16 км, пространственно закругленные значения высоты нижней и верхней границ слоя струйного течения, где скорость ветра превышает 100 км/ч, обобщенное направление максимального ветра и температуру воздуха.

Для выполнения этих требований максимальная скорость ветра рассчитывается по всем изобарическим уровням в диапазоне от 925 до 100 гПа, что соответствует высотам от ~0,7 до ~16 км. Минимальная нижняя и максимальная верхняя границы скоростей ветра свыше 100 км/ч оцениваются в пределах прямоугольника 1,5×2° географической широты и долготы соответственно. Зоны струйных течений (более 100 км/ч) отмечаются ярким темно-фиолетовым цветом. Фоновое направление ветра и температура воздуха оцениваются по их значениям на поверхности 300 гПа (~9 км).

По поступившим отзывам, новая экспериментальная карта позволила сократить время на анализ ветровой обстановки и оказалась полезной в работе.

В качестве иллюстраций приводятся примеры новых карт для АРМ руководителя полетов МЦ АУВД, выпуск которых освоен в ГУ «НИЦ «Планета» с периодичностью 15 мин.

**ТРЕХМЕРНЫЙ ДИАГНОЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБЛЕДЕНЕНИЯ В ОБЛАКАХ
ПО КОМПЛЕКСУ СПУТНИКОВОЙ И ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

*Н.С. Миронова*¹, *М.В. Бухаров*¹, *Е.А. Сизенова*¹, *В.М. Лосев*², *В.М. Бухаров*²,
*Л.А. Мисник*³

¹ ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

² ГУ «Гидрометцентр России», Москва

³ Филиал «МЦ АУВД» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», Москва

E-mail: bmv@planet.iitp.ru

Пространственно детальная обзорная информация о текущем положении высотных границ слоя в облаках, где возможно сильное обледенение, представляет большой интерес для безопасности воздушного движения. Поэтому разработка и совершенствование таких карт является важной задачей метеорологического обеспечения руководителей полетов.

В докладе рассматривается новый подход к созданию карт трёхмерного диагноза интенсивности обледенения в облаках, проводимого по комплексу синхронной спутниковой и прогностической информации. При этом информация с геостационарного спутника используется для распознавания типов облаков, уточнения локальных значений максимальной интенсивности слоя обледенения и его высотных границ.

В процессе консультаций с руководителями полетов установлено, что на обобщенной карте желательнее отображать следующую информацию:

- границы зон слабого, умеренного и сильного обледенения;
- значения высот верхней границы сильного обледенения в облаках;
- пространственно заглубленные значения экстремальных высот нижней и верхней границ слоя сильного обледенения и размеры окна анализа;
- среднее направление и скорость переноса облачности в регионе;
- высоту изотермы 0 °С.

Для выполнения этих требований интенсивность обледенения рассчитывается для высот с температурой воздуха от 0 до -40 °С. Минимальная нижняя и максимальная верхняя границы слоя сильного обледенения оцениваются в пределах прямоугольника 1,5×2° географической широты и долготы соответственно. Граница зон сильного обледенения (более 1 мм/мин) дополнительно обведена синим контуром. Фоновое направление и скорость ветра оцениваются по их значениям на поверхности 500 гПа (~5 км).

По поступившим отзывам, новая карта имеет удовлетворительную точность, и оказалась одной из самых востребованных при управлении воздушным движением в холодное полугодие. В качестве иллюстраций приводятся примеры новых карт трёхмерного диагноза интенсивности обледенения для АРМ руководителя полетов МЦ АУВД, экспериментальный выпуск которых начат в ГУ «НИЦ «Планета» в январе 2010 г. с периодичностью 15 мин.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ВНЕТРОПИЧЕСКОГО
ЦИКЛОНА КСИНТИЯ (ФЕВРАЛЬ 2010 г.) ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ**

А.Ф. Нерушев, А.Э. Бархатов, Л.И. Петрова

НПО «Тайфун», Обнинск Калужской обл.

E-mail: nerushev@typhoon.obninsk.ru

На основе данных зондирования атмосферы с геостационарного (Meteosat-9) и полярноорбитальных (Terra, Aqua) спутников исследованы динамические характеристики атмосферы, структура и динамика облачных систем

в зоне зарождения и развития сильного внетропического шторма Ксинтия (февраль 2010 г.). Шторм затронул большую часть стран Западной Европы, причинил значительный ущерб по маршруту его движения и привел к гибели более 60 человек. Наибольшие разрушения были во Франции и Западной Германии.

Динамические характеристики атмосферы определялись на основе предложенного ранее метода (Нерушев А.Ф. и др. // Изв. РАН. ФАО. 2007. Т. 3. № 4. С. 442–450). При этом были разработаны новые более гибкие программные средства. Для проведения расчётов использовались данные измерений спектрометра SEVIRI спутника Meteosat-9 в видимой и ИК-области спектра, в том числе в каналах водяного пара (6,2 и 7,3 мкм). Получены пространственные распределения модуля скорости горизонтального ветра (V), коэффициента горизонтальной турбулентной диффузии (K_d), завихрённости ($\text{rot}V$) и вектора горизонтальной скорости ветра на разных атмосферных уровнях на стадиях зарождения и развития циклона.

Выявлены существенные различия всех указанных характеристик в верхней и нижней тропосфере на стадии максимального развития циклона (давление в центре $p \approx 967$ гПа) и малое их различие на ранней стадии ($p > 9-90$ гПа). Так, скорость ветра в циклоне возрастает с высотой в 2 раза от нижней тропосферы до верхней, достигая значений 70 м/с (252 км/ч) и выше. Коэффициент K_d в нижней тропосфере существенно выше, чем в верхней. Циклоническая завихрённость в среднем и нижнем слоях в центре циклона сменяется нулевой или слабой антициклонической завихрённостью в верхней тропосфере. Если в передней части циклона направления векторов горизонтального ветра в верхнем и нижнем слоях тропосферы практически совпадают, то в тылу циклона они существенно различаются, в некоторых областях векторы практически ортогональны.

Отмечается интересная особенность в облачной структуре циклона. В течение нескольких дней жизни вплоть до максимальной стадии развития он был связан протяженной облачной грядой с тропической зоной. На её фоне выделялась тонкая облачная нить, слабо изменявшаяся в течение нескольких суток. Определены параметры облачной гряды и нити и динамические характеристики их эволюции. Обсуждаются возможные физические механизмы образования такой облачной структуры.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08-05-00885).

ШИРОТНО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА КВАЗИДВУХЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ РАДИОТЕПЛОВОГО ПОЛЯ И СТРАТОСФЕРНОГО СРЕДНЕГО ЗОНАЛЬНОГО ВЕТРА В ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Г.Р. Хайруллина, Н.М. Астафьева

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: x.g.r.@list.ru; ast@iki.rssi.ru

Изучаются межгодовые колебания тропосферы и, в особенности, квазидвухлетние колебания (КДК) — яркий пример квазирегулярной изменчивости атмосферы на межгодовых масштабах. В отличие от большинства исследований, посвященных КДК зонального ветра в экваториальной стратосфере, в данной работе исследуются межгодовые колебания радиотеплового поля Земли. Используются данные микроволнового спутникового мониторинга — глобальные радиотепловые поля из электронной коллекции GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp/>) за период 1999–2006 гг. на частотах, содержащих информацию о распределении влаго- и водозапаса

тропосферы. Поскольку влага заморожена в движении воздуха, на суточных радиотепловых полях области повышенного влагосодержания являются трассерами — отпечатками пространственно-временной динамики тропосферы. Анализ пространственно-временной структуры серий глобальных радиотепловых полей позволил изучить структуру междовых колебаний тропосферы и, в частности, КДК. Показано, что КДК, являющиеся важнейшим процессом экваториальной стратосферы, характерны и для радиотеплового поля Земли в микроволновом диапазоне, т. е. для тропосферы. Широтная структура КДК тропической области тропосферы неодинаковая в разных полушариях.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В СИСТЕМЕ ОКЕАН—АТМОСФЕРА В АРКТИКЕ

И.А. Репина^{1,2}, *И.И. Пинко*³, *А.Н. Салюк*³, *А.С. Смирнов*¹

¹ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

² Институт космических исследований РАН, Москва

³ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток

E-mail: repina@ifaran.ru

С начала XX столетия произошло значительное увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере. Экосистема Арктики наиболее чувствительна к климатическим изменениям и, соответственно, наиболее уязвима. Но при этом углеродный обмен в Арктических районах изучен мало. В настоящее время широкое применение получают дистанционные методы исследования газообмена атмосферы с подстилающей поверхностью, но имеющиеся средства наблюдения редко охватывают Арктический бассейн, а данные нуждаются в валидации, т. е. в проведении специализированных подспутниковых экспериментов. При этом наземные измерения потоков углекислого газа ограничиваются береговыми зонами — приарктическими болотами как источниками поступления CO_2 в атмосферу, и тундрой. Поэтому роль Северного Ледовитого океана как источника или стока CO_2 до сих пор не определена. Практически нет данных об участии льда, полыней, снежниц в газообмене. В докладе представлены результаты прямых измерений потоков углекислого газа, проводившиеся в прибрежных и центральных районах Арктики в период 2005–2009 гг. с борта ледокола. Установлено, что в основном Арктический океан является стоком для углекислого газа, при этом лед препятствует газообмену, но в период образования снежниц газообмен интенсифицируется. В летне-осенний период из-за низкой температуры воды и высокой сезонной продуктивности арктические моря представляются потенциальным стоком для атмосферного CO_2 . Однако наши исследования показали, что летом юго-западная часть Восточно-Сибирского моря является значимым источником углекислого газа в атмосферу. Предполагается, что положительный поток возникает вследствие влияния речного стока. До настоящего времени нет единого мнения о предпочтительности использования того или иного метода расчёта потоков CO_2 в системе океан — атмосфера, в частности, для полярных районов. В работе представлены результаты сравнения расчётных значений, полученных с использованием различных алгоритмов, с величинами потоков, измеренных микрометеорологическим методом. Полученные данные могут быть использованы для интерпретации спутниковых измерений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-00930-а).

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА И ЛЕДЯНЫХ ПОКРОВОВ

АЛГОРИТМ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО СКАНЕРА MODIS В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОГО БЛИКА

М.В. Лихачева, О.В. Копелевич, С.В. Шеберстов
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
E-mail: likhacheva.m@gmail.com

Предложенный нами ранее новый алгоритм атмосферной коррекции данных спутникового сканера цвета MODIS позволяет осуществлять коррекцию солнечных бликов по данным самого сканера MODIS без привлечения дополнительной информации о скорости ветра. Его применимость показана путем сравнения с данными судовых измерений в отдельных точках в Атлантическом океане и Каспийском море (материалы Шестой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 2009 г). Цель настоящей работы — применение вышеуказанного алгоритма для построения изображений по данным сканера цвета MODIS, скорректированных на солнечный блик. Напомним, что в новом алгоритме яркость на верхней границе задается шестью неизвестными коэффициентами: двумя для крупной и мелкой фракции аэрозоля в двупараметрической модели аэрозольной яркости, тремя для малопараметрической модели водной толщи и неселективным множителем, характеризующим вклад блика. Пренебрегая вышедшим из воды излучением в ближнем ИК-диапазоне (748, 869, 1240 нм) находим аэрозольные яркости и неселективный множитель, определяемый распределением уклонов на морской поверхности и геометрией наблюдения. При известном вкладе блика решение обратной задачи сводится к нахождению пяти неизвестных коэффициентов для вклада воды и аэрозоля. Необходимая точность решения достигается применением метода итераций.

Алгоритм атмосферной коррекции реализован в виде программ, работающих с подготовленным файлом первого уровня L1B, который содержит 27 входящих параметров: яркости на верхней границе атмосферы для 10 длин волн, релейевские яркости для 10 длин волн, зенитные и азимутальные углы Солнца и спутника, оптическую толщину озона, давление и глубину моря. Для его создания используются файлы первого уровня MODIS с разрешением 1 км и 500 м и соответствующие метеофайлы.

В результате для каждого пиксела получают спектральные значения нормализованной яркости водной толщи, оптической толщины аэрозоля и коэффициента отражения от взволнованной морской поверхности.

В работе представлены результаты применения разработанного алгоритма для разных акваторий мирового океана. Полученные с помощью нашего алгоритма коэффициенты яркости воды лучше совпадают с данными натурных измерений в области солнечного блика, чем полученные с помощью стандартного алгоритма SeaDAS. Увеличивается количество пикселей, для которых может быть решена обратная задача. Также применение алгоритма позволяет устранить наиболее распространенную ошибку — отрицательные значения нормализованной яркости для спектральных каналов 412 и 443 нм, возникающие при обработке снимков высоких широт и прибрежных вод.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-00936).

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПРИВОДНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА AMSR-E И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ К АНАЛИЗУ ПОГОДНЫХ СИСТЕМ В ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

М.Л. Митник, Л.М. Митник

Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток
E-mail: maia@poi.dvo.ru

Первые измерения уходящего микроволнового излучения системы океан-атмосфера, выполненные со спутника «Космос-243» в 1968 г., продемонстрировали возможность оценки температуры поверхности океана $T_o = t_o + 273,15$ и скорости приводного ветра W . Для оценки T_o и W оптимален диапазон частот $f < 15$ ГГц, что обусловлено резким уменьшением влияния атмосферы на яркостную температуру поверхности океана $T_{яo}$. Вариации $T_{яo}$ определяются в основном изменчивостью температуры и скорости приводного ветра. Микроволновые измерения на $f < 15$ ГГц ведутся в настоящее время со спутников TRMM, Aqua и Coriolis. Для восстановления T_o и W по измеренным яркостным температурам $T_{я}(f)$ на различных поляризациях разработан ряд алгоритмов, усовершенствование которых продолжается. Большинство алгоритмов является статистическими, и их погрешности во многом зависят от точности учёта влияния параметров атмосферы на трансформацию излучения океана и неопределённости в описании коэффициентов излучения водной поверхности. В данной работе исследуется оригинальный алгоритм, в котором оценка скорости ветра выполняется по приращению яркостной температуры взволнованной поверхности океана на частоте 10,7 ГГц на горизонтальной (г) поляризации относительно её значения при $W = 0$ м/с: $\Delta T_{яo}(W, T_o) = T_{яo}(W, T_o) - T_{яo}(W = 0, T_o)$. При увеличении t_o от 25 до 31 °С значения $T_{яo}(W = 0, T_o)$ возрастают от 69,5 до 70,5 К, т. е. примерно на 1 К, что исключает необходимость использования в алгоритме оперативных данных о ТПО. Суммарный вклад восходящего излучения атмосферы $T_{\uparrow яатм}$ и её нисходящего излучения $T_{\downarrow яатм}$, отраженного поверхностью океана и ослабленного атмосферой, определяется расчётным путем по значениям паросодержания атмосферы V и поглощения в облаках на частоте 10,7 ГГц, восстанавливаемых по измерениям $T_{я}$ на частотах 23,8 и 36,5 ГГц на вертикальной (в) поляризации. В алгоритме использованы экспериментальные данные о зависимости коэффициентов излучения взволнованной поверхности океана от скорости ветра в широком диапазоне изменения скорости ветра, включая $W > 20$ м/с. Погрешности алгоритма определены по замкнутой схеме с учётом шумов радиометра AMSR-E с использованием массива модельных значений яркостных температур $T_{я,в}(f)$ над океаном, рассчитанных для каналов радиометра AMSR-E по данным судовых аэрологических измерений в тропической зоне мирового океана. Приводятся примеры восстановления полей ветра, паросодержания атмосферы, поглощения в облаках, восходящего $T_{\uparrow яатм}$ и нисходящего излучений атмосферы и др. параметров по яркостным температурам, измеренным AMSR-E при различных погодных системах в тропических районах Тихого океана. Показано, что поля ветра, восстановленные по измерениям AMSR-E и скатерометра SeaWinds, хорошо согласуются друг с другом при $W < 20$ м/с. При $W \geq 20$ м/с значения W , найденные по данным AMSR-E, как правило, выше найденных по скатерометрическим данным. Рассматриваемый вариант алгоритма применим при ситуациях с водозапасом облаков $Q < 1$ кг/м² и отсутствии интенсивных осадков, что иллюстрируют примеры обработки полей $T_{я}(f)$ над тропическими циклонами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-13569-офи_ц), договора 4/09 программы «Мировой океан» и проекта № 111 по соглашению между JAXA и ТОИ ДВО РАН.

АНАЛИЗ МЕЖГОДОВЫХ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНО ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

С.В. Шеберстов, О.В. Копелевич, Е.А. Лукьянова
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
E-mail: sheberstov@ocean.ru.

Анализируются результаты расчётов по спутниковым данным глобальных характеристик температуры поверхности океана (ТПО) и концентрации хлорофилла (Хл) для различных широтных поясов Атлантического океана от 60° ю. ш. до 60° с. ш. Цель проводимых исследований — оценка межгодовых трендов рассматриваемых характеристик. Основные задачи заключались, во-первых, в исследовании возможности учёта влияния потери данных из-за облачности и по другим причинам на наблюдаемые изменения рассчитанных спутниковых значений ТПО и Хл, во-вторых, в количественной оценке трендов ТПО и Хл в различных широтных поясах Атлантического океана, включая статистические оценки их достоверности.

Для анализа использовались временные ряды среднемесячных значений ТПО по данным ИК-радиометров AVHRR с 1985 по 2010 г. и микроволнового радиометра AMSR-E на спутнике Aqua с июня 2002 по апрель 2010 г.; концентрации хлорофилла Хл по данным сканера цвета SeaWiFS с сентября 1997 по июль 2010 г. (с заполнением пробелов по данным сканера MODIS Aqua с июля 2002 по декабрь 2009 г.); данные по облачности программы ISCCP с 1983 по 2008 г.

Сравнение данных AVHRR и AMSR-E (для последнего облачность «прозрачна») дает возможность оценить влияние потери данных (среднемесячные покрытия данными AMSR-E составляли примерно 97 % для широтных поясов 0–40° и 85–97 % для поясов 40–60°, тогда как по данным AVHRR покрытия могли уменьшаться до 40 % в поясах 40–60°). Также оценивалось влияние на потери данных разного пространственного осреднения и использования разных флагов качества.

Оценка линейных трендов проводилась разными методами. Наибольшие значения наклонов по данным AVHRR (с 1985 по 2010 г., разрешение 72 км, флаг качества не менее 2) получены в северном полушарии — 0,035 и 0,04 град/год, тогда как в южном — 0,02 и 0,006 град/год соответственно. По данным AMSR-E (с июня 2002 по апрель 2010 г.) тренд практически отсутствовал. Для Хл значащий тренд наблюдался лишь в широтном поясе 40–60° ю. ш. (возрастание примерно на 0,1 мкг/л с 1997 по 2010 г.).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований № 20 Президиума РАН.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО МИНИМУМА ВБЛИЗИ 510–520 нм В СПЕКТРЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЯРКОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ, ВЫХОДЯЩЕГО ИЗ ВОДНОЙ ТОЛЩИ

С.В. Вазюля

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

E-mail: svershova@mail.ru

Коэффициент яркости излучения, выходящего из водной толщи, является важнейшей гидрооптической характеристикой в методах дистанционного зондирования океана. Его используют в качестве входного параметра во многих алгоритмах оценки биооптических характеристик морской воды: концентрации пигментов фитопланктона, показателя поглощения растворённого органическим веществом, концентрации взвешенных частиц. Это связано с тем, что величина коэффициента яркости слабо зависит от условий освещения и определяется, главным образом, оптическими свойствами воды (содержанием в воде взвешенных и растворённых веществ).

Анализ натурных измерений коэффициента яркости, выполненных лабораторией оптики океана ИО РАН в Баренцевом, Каспийском морях и в трансатлантическом рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов», выявил значительное число спектров с заметным локальным минимумом вблизи 510–520 нм. Особенно часто такие спектры встречаются при измерениях в Каспийском море. Спектры с похожим минимумом были найдены и в общедоступной базе данных *in situ* измерений NOMAD (the NASA bio-Optical Marine Algorithm Data set), которая охватывает все районы Мирового океана.

Цель работы — анализ возможных причин возникновения обнаруженной особенности спектра. Для этого была использована малопараметрическая полуаналитическая модель оптических свойств морской воды. Модельные расчёты показали, что локальный минимум в спектре коэффициента яркости обусловлен спектральными особенностями показателя поглощения чистой водой и зависит от количества растворённого жёлтого вещества.

АНТИЦИКЛОНИЧЕСКАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ ВЫСТУПА ВОД АМУРА В САХАЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ ПО СПУТНИКОВЫМ И МОРСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Н.В. Шлык¹, К.А. Рогачёв¹, В.С. Тамбовский²

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток

² «Экологическая компания Сахалина», Южно-Сахалинск
E-mail: shl@poi.dvo.ru

Экспериментальные исследования циркуляции вод Сахалинского залива до сих пор не проводились. В настоящей работе мы представляем первые результаты прямых измерений динамики вод, основанных на спутниковых и прямых наблюдениях. Циркуляция вод в Сахалинском заливе и в смежном с ним заливе Академии изучена на основе совместного анализа спутниковых и морских наблюдений. Используются данные видимых каналов радиометра AVHRR с пространственным разрешением 1,1 км (спутники серии NOAA), а также 1-го (видимого) канала радиометра MODIS с разрешением 250 м (спутники Aqua и Terra). Автоматизированная обработка спутниковых

данных проводилась с помощью программных средств, разработанных в центре коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН. Морские наблюдения включают данные спутниковых буёв Аргос, любезно предоставленные Экологической компанией Сахалина, и СТД-наблюдения, полученные в разные годы. Спутниковые наблюдения указывают, что вода низкой солёности, вытекающая в Сахалинский залив, формирует стоковый клин или выступ. Стоковый выступ формирует антициклоническую циркуляцию, которая аккумулирует значительную часть речного стока Амура. Начальная скорость стока устанавливает положение выступа вод низкой солёности и его последующую динамику. Спутниковые данные вместе с наблюдениями за дрейфующими буями ARGOS выявили антициклоническую циркуляцию в заливе на поверхности. Полученные данные о циркуляции в Сахалинском заливе сравниваются с аналогичными наблюдениями, проведенные нами в смежном с ним заливе Академии. Характеристики циркуляции в заливе Академии получены на основе спутниковых наблюдений за траекторией отдельных льдин и заякоренных буёв. Результаты этих наблюдений сопоставляются с существующими моделями, что позволяет установить природу циркуляции и её основные характеристики. На основе этих наблюдений сделан вывод, что циркуляция является эстуарной.

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ПО ДАННЫМ AVISO ПЯТНАДАТИЛЕТНЕЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Т.В. Белоненко

Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: btvlisab@yandex.ru

Рассматривались массивы абсолютной и относительной динамической топографии (ADT и SLA). Период наблюдений 15 лет: с 14.10.1992 г. по 17.10.2007 г. Вейвлет-изображения строились в 37 пунктах акватории, ограниченной 30–70° с. ш., 125–200° в. д., для двух диапазонов: для масштаба до 12 лет и для сезонной и синоптической изменчивости; отдельно рассмотрен диапазон масштабов до полутора лет.

Показано, что основная энергия колебаний ADT сосредоточена на масштабах 10–11 и 6–7 лет. Заметим, эти масштабы выделяются во всех 37 пунктах акватории, что говорит о том, что эти колебания обусловлены крупномасштабными глобальными процессами изменчивости уровня океана. Отметим, что величины вейвлет-коэффициентов для 6–7-летних масштабов приблизительно в два раза меньше, чем для 10–11-летних. В отдельных пунктах выделяется ещё 3-летний цикл (например, для пункта 40° с. ш., 150° в. д.), но в целом 10 и 6 лет — это основные масштабы изменчивости абсолютной динамической топографии в диапазоне больше одного года, выделенные на основании анализа этих данных.

Годовой цикл выделяется далеко не во всех пунктах, причём отмечается лишь для некоторых динамически активных областей северо-западной части Тихого океана, в частности:

- для района течения Куроисио 35–40° с.ш. с 145° до 180° в. д., причём для широты 35° характерны ещё и полугодовые масштабы изменчивости;
- для района, характеризующего северную ветвь Северо-Тихоокеанского течения — 45° с. ш., 160–180° в. д.;
- для 50° с. ш., где проходит с востока на запад Аляскинское течение.

В то же время для пунктов, расположенных в стрезне Камчатского течения, и системы течений Берингова моря годовой цикл практически не выделяется.

Следует отметить существенную нестационарность годовой составляющей абсолютной динамической топографии во всех пунктах, где она присутствует, в частности, для пункта 35° с. ш., 170° в. д., где вклад её становится заметным, лишь начиная с середины 2002 г., в то время как в промежутке 1992–2002 гг. годовой ход практически отсутствует. Такая же особенность характерна и для полугодового цикла: полугодовая составляющая проявляется для 1992–1999 гг. повышенными значениями вейвлет-коэффициентов, практически отсутствует в промежутке 1999–2002 гг., но после 2002 г. опять вклад полугодовой составляющей в общую изменчивость этой характеристики довольно существен.

В то же время изменчивость относительной динамической топографии — аномалий уровня океана (массив SLA), в отличие от абсолютной динамической топографии, имеет яркое разнообразие и происходит в широком диапазоне масштабов. Выражена пространственная неоднородность этой характеристики, что, очевидно, связано со значительным расстоянием между различными пунктами, превышающими пространственные масштабы мезомасштабной и синоптической изменчивости. В отличие от АДТ, изменчивость характеристики SLA невозможно соотнести с региональными особенностями циркуляции океана.

Проанализировав вейвлет-изображения SLA для всех исследуемых 37 пунктов акватории, следует сделать вывод, что для относительной динамической топографии невозможно выделить общие параметры изменчивости, в каждом из пунктов выделяются свои масштабы изменчивости, и вклад этих составляющих имеет свои особенности, проявляющиеся в их временном ходе. На вейвлет-изображениях для 10 пунктов из 37 выделяются масштабы изменчивости в 10–12 лет, что, вероятно, связано с солнечной активностью, причём в некоторых из пунктов отмечается тенденция к перераспределению интенсивности колебаний в область меньших масштабов — от 3600 до 1500 сут. В 23 пунктах максимумы энергии наблюдаются для масштабов 5–7 лет — нутационный период, в 16 пунктах — для масштабов 3–5 лет. 2–3-летние колебания наблюдаются для 25 пунктов. Почти во всех пунктах выделяются циклы с годовым периодом (отсутствуют только в трёх пунктах с координатами — 45° с. ш., 150° в. д.; 35° с. ш., 160° в. д.; 30° с. ш., 180° в. д.). Нестационарные полугодовые колебания отмечаются лишь в 29 пунктах, причём интенсивность этих колебаний (значения вейвлет-коэффициентов) значительно уступает колебаниям годового цикла. Как годовые, так и полугодовые колебания SLA проявляются ярче всего в системе течений Куроисио, для пунктов, расположенных в зоне Куроисио, здесь значения шкалы вейвлет-коэффициентов больше, чем для других пунктов.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА МИКРОВОЛНОВЫЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕДЯНЫХ ПОКРОВОВ

Г.С. Бордонский, А.А. Гурулев, С.Д. Крылов

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита
E-mail: lgc255@mail.ru

В работе выполнены измерения поляризационных характеристик, прошедшего через пресный ледяной покров линейно поляризованного излучения на частотах 13–14 ГГц. Измерения поляризационных диаграмм выполнено

в виде зависимости мощности принимаемого излучения от угла поворота плоскости поляризации приёмной системы. Использовано 12 линейных поляризаций. Частотное сканирование выполняли с шагом 0,08 ГГц. Выполнены измерения температуры и температурных деформаций ледяного покрова на льду исследуемого озера. Установлено, что перед началом таяния ледяного покрова поляризационные диаграммы на некоторых частотах имеют значительные отличия от случая регистрации линейно и эллиптически поляризованного излучения. Обсуждается гипотеза влияния таяния льда на электромагнитные свойства и проявления активности среды, при которой недостаточно описания волн в двух ортогональных базисных состояниях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-02-00088а).

ВОЗМОЖНОСТИ СПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСЛОВИЙ ОБИТАНИЯ БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

И.Л. Цыпышева, Т.Н. Крупнова

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
Владивосток

E-mail: tsypysheva@tinro.ru

В данной работе представлены предварительные исследования возможности применения спутникового дистанционного зондирования для характеристики условий обитания бурых водорослей в северном прибрежье Приморья, в частности, ламинарии японской (*Laminaria Japonica*) в связи с её высокой промысловой значимостью. Такие факторы среды как солёность, освещение, наличие питательных элементов и скорости течений являются важными характеристиками для роста водорослей. Однако для развития их ранних стадий, являющихся основой закладки будущего урожая, определяющим фактором служит температура воды. Отклонение значений температуры воды от оптимума сказывается на длительности прохождения стадии гаметофита. На основе регулярных спутниковых данных инфракрасного и оптического диапазона сенсора AVHRR спутника NOAA (принятых и обработанных в Центре спутникового мониторинга ИАПУ ДВО РАН) анализируются термические условия в осенний период за последние 10 лет с целью определения благоприятных условий для размножения ламинарии. Дополнительно использовались судовые измерения, альтиметрические данные, карты погоды. Особое внимание уделено гидрологическим условиям 2000 г., аномальные океанографические события которого привели к значительному снижению запасов ламинарии в последующие годы. Инструментальные судовые измерения температуры поверхности моря (ТПМ) (материалы океанографических съёмок НИС ТИНРО-Центра в 2008 и 2009 гг.) и стационарные измерения ТПМ с берегового пункта показали хорошее согласование с дистанционными измерениями датчиком AVHRR спутника NOAA. В последние годы контактные измерения с научно-исследовательских судов в районе северного Приморья были ограничены, поэтому является актуальным изучение динамики изменчивости водных масс с помощью данных дистанционного зондирования. Так, анализ инфракрасных снимков позволил обнаружить в отдельные годы существование прибрежных мелкомасштабных теплых антициклонических вихрей (25–30 км в диаметре), которые влияют на процесс перемешивания и циркуляции прибрежных вод, обуславливая повышение температуры воды в локальных районах, что приводит к существенному понижению репродуктивного материала ламинарии. Таким образом, использование данных дистанционного

зондирования позволяет получить оперативную информацию для оценки состояния полей ламинарии и прогнозирования динамики запасов этой водоросли.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДИСПЕРСИИ НАКЛОНОВ КРУПНОМАСШТАБНОГО ВОЛНЕНИЯ ПО ДАННЫМ PR-РАДИОЛОКАТОРА

В.Ю. Караев¹, М.Б. Каневский¹, Е.М. Мешков¹, К. Чу²

¹ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

² Институт океанологии Китайской академии наук, Циндао

E-mail: 46volody@hydro.appl.sci-nnov

Применение современных методов дистанционного зондирования позволяет измерять скорость ветра в приповерхностном слое океана и, в совокупности с данными наземных метеорологических станций, дает уникальную возможность построения глобальной модели приповерхностного ветра. В связи с этим особую актуальность приобретает задача повышения точности восстановления скорости ветра, а также получение дополнительной информации о поверхностном волнении.

Ошибки при восстановлении скорости ветра по радиолокационным данным в значительной степени обусловлены тем, что сечение обратного рассеяния зависит не только от скорости ветра, но и от дисперсии наклонов крупномасштабного волнения, которые пока не измеряются радиолокационными методами.

Для измерения дисперсии наклонов крупномасштабного волнения предлагается использовать данные космического PR-радиолокаатора. PR-Ресipitation предназначен для измерения интенсивности осадков в атмосфере, однако радиолокаатор способен также измерять сечения обратного рассеяния отражающей поверхности. Радиолокаатор работает в широкой полосе обзора (угол падения от -18 до 18 , 49 лучей). В результате ширина полосы обзора составляет 215 км с элементом разрешения около 5 км.

В рамках двухмасштабной модели поверхности и в приближении метода Кирхгофа были разработаны алгоритмы обработки, позволяющие восстанавливать дисперсию наклонов вдоль траектории полета. Впервые были построены зависимости дисперсии наклонов крупномасштабного волнения от скорости ветра, полученные на основе экспериментальных данных.

Кроме того, информация о наклонах позволила трансформировать сечения обратного рассеяния, полученные под разными углами падения, в сечение обратного рассеяния, соответствующее надирному зондированию. Эти данные могут обрабатываться алгоритмами, разработанными для восстановления скорости ветра по радиоальтиметрическим данным.

Следующим этапом станет разработка алгоритма восстановления скорости ветра с учётом восстановленной дисперсии наклонов крупномасштабного волнения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 10-05-00181-а, 09-05-97016-р-п-а) и программы ОФН РАН «Радиофизика».

ДЕШИФРИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ СИНХРОННОГО ДИАГНОЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПО ИНФОРМАЦИИ METEOSAT-9

З.В. Андреева, М.В. Бухаров, В.А. Кровотынцева
ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва
E-mail: arkweid@yandex.ru

Возможность обнаружения из космоса нефтяных пленок на морской поверхности в микроволновом диапазоне определяется эффектом сглаживания плёнками высокочастотной составляющей морского волнения. Присутствие пленок на взволнованной морской поверхности приводит к уменьшению радиолокационного рассеяния по сравнению с чистой водой, что вызывает значительное падение яркости на радиолокационных изображениях. Космическая радиолокация является наиболее эффективным средством мониторинга нефтяных загрязнений на море благодаря всепогодности и независимости от солнечного освещения.

Сглаживание ветрового волнения на морской поверхности может быть вызвано не только нефтяными плёнками, но и самыми разнообразными процессами в верхнем слое моря и придном слое атмосферы. Зоны ветрового затишья, штилевые области, дождевые ячейки, плавающая растительность, плёнки биогенного происхождения (связанные с цветением фитопланктона) и др. могут создавать похожие поверхностные проявления на радиолокационных изображениях, которые легко спутать с сигнатурами нефтяных разливов.

Правильное распознавание причин сглаживания ветрового волнения на морской поверхности требует учёта дополнительной спутниковой много-спектральной и метеорологической информации. Учитывая это, специалисты ГУ «НИЦ «Планета» и ГУ «Гидрометцентр России» разработали систему спутникового диагноза (по ИСЗ Meteosat-9) метеорологических условий в момент радиолокационной съёмки. С помощью этой системы удастся распознать разные метеорологические явления (шквалы, грозы, осадки, облачность), оценить скорость и направление ветра, температуру воды и воздуха у поверхности. Такие карты выпускаются с периодичностью 15 мин и имеют пространственное разрешение $0,1^\circ$ по ширине и долготе.

Использование синхронных карт спутникового диагноза позволяет более точно распознать причины сглаживания ветрового волнения на радиолокационных изображениях морской поверхности.

В качестве иллюстраций приводятся примеры карт спутниковой радиолокационной и диагностической информации, используемых для распознавания районов и уточнения причин ослабления капиллярного ветрового волнения на поверхности Чёрного моря.

ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЁХСЛОЙНЫХ СРЕД С ТОНКИМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ СЛОЕМ В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ

А.А. Гурулев, А.О. Орлов, С.В. Цыренжапов
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита
E-mail: lgc255@mail.ru

Структура с тонким переходным слоем характерна для слоистых земных покровов и представляет интерес при обработке данных микроволновых изме-

рений. В природной среде к таким структурам можно отнести ледяные покровы с толщинами порядка длины волны излучения, увлажненный грунт с сухим тонким поверхностным слоем, промерзающий грунт в начальной стадии замерзания, снежный покров с толщинами в несколько длин волн, слой некоторых веществ на водной поверхности (например, ровный слой нефти или пены), слой растительности на грунте и некоторые другие объекты. Для изучения особенностей излучательных поляризационных характеристик трёхслойных сред с тонким промежуточным слоем в СВЧ-диапазоне нами были выполнены расчёты и натурные эксперименты.

При расчётах радиояркостной температуры слоистой среды состоящей из воздуха, промежуточного слоя и нижнего полубесконечного слоя, с более высоким значением диэлектрических потерь, чем промежуточный слой на двух линейных поляризациях (горизонтальной поляризации — ГП — и вертикальной — ВП) в СВЧ-диапазоне наблюдалось необычное поведение при больших углах наблюдения. Так, при определенных толщинах промежуточного слоя значение радиояркостной температуры на ГП оказывалось большим, чем на ВП. Кроме того, при увеличении толщины промежуточного слоя наблюдаются осцилляции радиояркостной температуры как на ГП, так и на ВП, причём при малых углах наблюдений осцилляции находятся в фазе, при больших углах — они в противофазе.

При использовании специально подобранных длин волн можно наблюдать противофазные вариации поляризационной разности сигнала в двух радиометрических каналах. В этом случае можно ставить задачу определения толщины верхнего слоя.

Выполненные расчёты были подтверждены полученными экспериментальными данными на примере растущего пресного ледяного покрова на длинах волн 0,88 и 2,3 см, а также при исследовании теплового излучения песка, представляющего собой слоистую среду, нижний достаточно влажный песок большой толщины (полубесконечный слой) и верхний сухой слой песка. Измерения были выполнены для различных углов наблюдений.

ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЗВОЛНОВАННОЙ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДОПЛЕРОВСКИМ РАДИОЛОКАТОРОМ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Ю.А. Титченко, В.Ю. Караев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

E-mail: gt-george@yandex.ru

Современные радиолокаторы позволяют измерять различные характеристики морской поверхности, например высоту волнения, скорость и направление ветра. В настоящее время при восстановлении параметров рассеивающей поверхности анализируется мощность отражённого сигнала, выражаемая через удельное сечение обратного рассеяния. В этом докладе рассматривается задача увеличения числа характеристик поверхности, которые могут быть измерены дистанционными методами, за счёт совместного анализа спектральных и энергетических характеристик отраженного радиолокационного сигнала, а именно ширины доплеровского спектра и сечения обратного рассеяния.

Предложен радиолокационный метод измерения характеристик волнения при прямолинейном движении носителя на небольшой высоте. Особенностью нового метода является независимость от угла между направлением распространения волнения и направлением движения радио-

локатора. В методе используются две взаимно перпендикулярные антенны с ножевыми диаграммами направленности. Алгоритм восстановления основан на зависимости сечения обратного рассеяния от дисперсий наклонов вдоль и поперек направления распространения волнения и зависимости доплеровского спектра отраженного сигнала от основных статистических характеристик волнения.

При размещении измерительного радиолокационного комплекса на спутнике появляется проблема нестационарности волнения в пределах рассеивающей площадки. В этом случае ширина доплеровского спектра и сечения обратного рассеяния антенны несут информацию о статистических параметрах слишком большой площади поверхности, например, при высоте полета 500 км и ширине диаграммы направленности антенны 25°, размер рассеивающей площадки равен 222 км. Известно, что волнение можно считать стационарным на расстоянии 25–50 км. Таким образом, дисперсия наклонов, скорость ветра будут меняться внутри рассеивающей площадки, и восстановить их невозможно в рамках рассмотренного подхода.

Была разработана специальная процедура обработки, которая позволяет определить дисперсию наклонов водной поверхности вдоль направления движения спутника по зависимости мощности отраженного сигнала от угла падения излучения для элементарной рассеивающей площадки, где волнение можно считать стационарным, например, 15×15 км. Принцип обработки основан на применении антенны с широкой ДНА с последующей доплеровской или временной селекцией отраженного сигнала. Благодаря такому подходу отраженный сигнал от выбранной элементарной рассеивающей площадки принимается в течение всего времени пролета под разными углами падения. Первый этап обработки сводится к тому, чтобы выделить сигнал, пришедший от выбранной площадки, и построить зависимость сечения обратного рассеяния от угла падения. На втором этапе полученная зависимость используется для вычисления дисперсий наклонов вдоль направления движения носителя на выбранной рассеивающей площадке.

В результате проведенного исследования были предложены оптимальные схемы проведения измерений и разработаны алгоритмы обработки данных, позволяющие восстанавливать основные статистические характеристики поверхностного волнения при движении носителя как на небольшой, так и на большой высоте. Для проверки алгоритмов были обработаны реальные данные, полученные в ходе вертолетного эксперимента на Горьковском водохранилище.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-00181-а) и программы ОФН РАН «Радиофизика».

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ БЕРИНГОВА МОРЯ

Н.М. Вакульская

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток

E-mail: vakulskaia@poi.dvo.ru

Для эффективного развития акватории Берингова моря необходимо получение оценок режимных характеристик ледовых условий их пространственно-временной изменчивости и построение моделей эволюции ледяного покрова. Исследование фактографического материала и выявление основных свойств функционирования системы является одним из предварительных этапов построения математической модели явления. Это возможно только

при условии полноты информационного архива характеристик ледового режима Берингова моря в цифровом виде.

Основой используемого фактографического материала послужили: ежегодные карты ледовых авиаразведок над Беринговым морем с 1963 по 1996 г. и ежегодные спутниковые снимки ледяного покрова моря, получаемые с ИСЗ серий NOAA, «Метеор», «Космос» с 1996 г. по настоящее время.

Для численного представления полей ледовых характеристик акватория моря разбивалась на ряд сравнительно однородных районов. Использовались осредненные в рамках этих районов значения ледовых элементов, отнесенных к центрам соответствующих районов. Степень детализации сведений о ледовых условиях в данном случае напрямую зависит от размеров элементарных ячеек сетки, которой покрывается акватория моря для снятия значений ледовых характеристик. В прибрежных зонах, наиболее интересных с точки зрения их хозяйственного освоения, площади районов для снятия ледовых характеристик обычно уменьшались. В каждом выделенном районе фиксировались значения общей сплоченности ледяного покрова, его преобладающей толщины льда (возраста) и преобладающего размера льдин (формы), температуры воздуха на двухметровом горизонте надледного слоя и скоростей ветра на десятиметровом слое воздуха.

В рамках крупномасштабной модели эволюции морского ледяного покрова А.Н. Четырбоцкого рассмотрена изменчивость ледяного покрова Берингова моря. На основании программной реализации этой модели исследован полный цикл эволюции площадей и объемов льдов припая и льдов открытого моря, который позволил выявить повторяющиеся ситуации и установить закономерности в последовательности смены одних процессов другими. Весь период полного цикла эволюции покрова разделяется на отдельные промежутки. На каждом из них доминирует категория льда только одной из градаций толщин. Согласно модели выявлено отсутствие симметрии в распределениях отдельных толщин в процессах формирования покрова и его разрушения. В период начальной стадии годового цикла эволюции ледяного покрова при понижении температуры следует быстрый рост площадей тонкого льда, которые доминируют над остальными. На этом временном отрезке в соответствии с последовательным термическим ростом площадей льдин, механизмом появления льдин и торошением льда начинают появляться образования морского льда последующих градаций толщин. На стадии таяния ледяного покрова площади льда высоких градаций толщин переходят в площади их первых градаций, которые затем замещаются площадями открытой воды (выбывают из системы). Поскольку площадь тонкого льда первой выбывает из системы, то её значения на протяжении почти всей этой стадии существенно меньше площадей остальных градаций толщин. Таяние также сопровождается разломом льда припая и выносом его фрагментов в открытое море. Продолжительность периода формирования ледяного покрова выше продолжительности его разрушения. Характер распределения ледовитостей и объемов льдов открытого моря подобен характеру распределений ледовитостей и объемов льдов припая. Значимые отличия между ними отмечаются только для определенного периода таяния льда весной, когда при распаде припая его обломки выносятся в открытое море и последовательно переходят в категории льда открытого моря. В этот период ледовитости и объемы различных градаций толщин льдов открытого моря растут, а ледовитости и объемы припая соответствующим образом падают.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РАЙОНОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ПРОМЫСЛА ТИХООКЕАНСКОГО КАЛЬМАРА В ЯПОНСКОМ МОРЕ

Е.В. Самко, А.В. Каншутер

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
Владивосток

E-mail: samko@tinro.ru

Проведен анализ зависимости между промыслом тихоокеанского кальмара и динамикой вод в Российской зоне Японского моря, на основе данных ежедневных уловов кальмара в летне-осенний период 2003 г. и информации об уровне океана по данным спутниковой альтиметрии.

Тихоокеанский кальмар (*Todarodes pacificus Steenstrup*, 1880) является одним из массовых видов пелагических сообществ открытых и прибрежных вод Японского моря. Биомасса этого вида в российских водах Японского моря по оценкам ТИНРО-Центра в последние годы колебалась в пределах 200–500 тыс. т, что позволяет вылавливать свыше 100 тыс. т. Объём его добычи в российских водах рыбаками Японии и Республики Корея в настоящее время не превышает 6 тыс. т. Всё это позволяет рассматривать тихоокеанского кальмара как одного из перспективных объектов для отечественной рыбной промышленности Дальнего Востока.

Уровень океана можно рассматривать как интегральный показатель интенсивности термодинамических и динамических процессов в океане, отражающих абиотические условия обитания и распределения промысловых организмов.

Уровень океана является более показательным предиктором абиотических условий, чем температура воды, так как:

- он отражает термодинамические условия всей толщи океана, а не только поверхности океана;
- он дает более адекватное описание течений, вихрей, зон апвеллинга и даунвеллинга;
- прямо, а не опосредованно, связан с изменчивостью атмосферных условий.

Мы использовали данные ежедневных уловов добывающего флота в 2003 г. в период нагула в водах России. В водах России кальмар встречается с июня по ноябрь, а пик промысла отмечается в июле–октябре.

Мы использовали альтиметрические данные с сайта Колорадского центра астродинамических исследований, США, <http://argo.colorado.edu/~-realttime/>, представляющие собой карты аномалий уровня моря, рассчитанные относительно средней высоты морской поверхности по данным спутниковой альтиметрии, полученные со всех доступных спутников. Альтиметрическая информация выбиралась для района ведения промысла, 40–44° с. ш., 134–139° в. д.

Кроме того, были рассчитаны величины изменчивости (тенденции) уровня океана (T) в местах лова относительно предшествующего срока путем вычитания от аномалий уровня в момент проведения лова аномалий уровня в предшествующий срок. При $T < 0$ происходит дивергенция полного потока, в то время как при $T > 0$ происходит конвергенция потока. Области повышенной дивергенции в океане связаны с фронтальными зонами и интенсивным апвеллингом, определяющим, как правило, высокую общую биологическую и промысловую продуктивность, а области конвергенции течений обуславливают скопления кормового планктона и планктоноядного нектона.

Распределение уловов рассматривалось как двумерная функция переменных A и T . При этом четверти координатной плоскости в поле переменных A и T легко интерпретируются следующим образом:

- 1 четверть: $A > 0$ и $T > 0$, «растущая» зона конвергенции;
- 2 четверть: $A > 0$ и $T < 0$, «разрушающаяся» зона конвергенции;
- 3 четверть: $A < 0$ и $T < 0$, «растущая» зона дивергенции;
- 4 четверть: $A < 0$ и $T > 0$, «разрушающаяся» зона дивергенции.

В результате проведенного анализа было получено, что большинство уловов (62,3 %) было выполнено в 1-й четверти, в «растущей» зоне конвергенции. Подавляющее большинство высоких и очень высоких уловов отмечались при аномалиях уровня моря от -2 до 4 см, и тенденции уровня от -1 до 2 см.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА НЕЛИНЕЙНОЙ РАДИОТЕПЛОЙ РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

И.Н. Садовский

Институт космических исследований РАН, Москва

Владимирский государственный университет

E-mail: ilya_nik_sad@mail.ru

Настоящая работа нацелена на оценку принципиальной возможности определения характеристик спектра гравитационно-капиллярных волн в океане по данным дистанционных радиополяриметрических измерений со спутника с использованием метода нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРРС). Работа выполняется в рамках подготовки космического эксперимента (КЭ) «Определение вектора скорости приводного ветра и спектра волнения Мирового океана по измерениям параметров Стокса микроволнового радиотеплового излучения с РС МКС». В соответствии с техническим заданием, в ходе КЭ будут проводиться измерения интенсивности собственного излучения поверхности океана (на вертикальной, горизонтальной и скрещенной поляризациях) одновременно в полосе частот вблизи волн $0,8$ и $2,25$ см. Антенны двух радиометров-поляриметров РПК-0,8 и РПК-2,25 должны быть расположены под углами 0 ; 30 и 60° относительно надира.

Анализ условий проведения планируемого КЭ позволил сформулировать основные этапы представляемой работы: во-первых, сформировать базу данных пространственной картины радиотеплового излучения для различных условий волнообразования, которая будет использоваться в качестве входных данных при оценке возможности определения спектра ГКВ; во-вторых, провести серию модельных расчётов по восстановлению характеристик спектра ГКВ с применением метода НРРС и, в заключение, определить устойчивость получаемых решений к влиянию ошибок различного характера. В работе представлены результаты модельных расчётов трёх модифицированных параметров Стокса собственного излучения морской поверхности для длин волн принимаемого излучения $0,8$ и $2,25$ см, в диапазоне скоростей ветра от 3 до 20 м/с. При выполнении расчётов, в качестве модели ветрового волнения использована модель Апеля (Apel). Кроме того, в работе представлены предварительные результаты использования метода НРРС (второй этап работы), позволяющего осуществлять переход от данных угловых радиополяриметрических наблюдений к таким характеристикам спектра как ненаправленный спектр кривизны ГКВ и усредненные

по азимутальному углу функции дисперсии уклонов и дисперсии уклонов крупных волн.

Показано, что использование метода НРРС в модельных условиях (соответствующих условиям проведения КЭ) обеспечивает точность восстановления на уровне 27, 12 и 9 % для ненаправленного спектра, функции дисперсии уклонов и дисперсии уклонов крупных волн, соответственно.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00890-а, 09-02-00780-а, № 09-05-10075-к, 10-02-10019-к, 10-05-10054-к) и гранта Президента РФ № МК-927.2009.2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СПЕКТРА ГКВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕРИИ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ CAPMOS

И.Н. Садовский^{1,2}, *Д.С. Сазонов*^{1,2}

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Владимирский государственный университет

E-mail: ilya_nik_sad@mail.ru

В работе представлены некоторые результаты натурных исследований микроволнового излучения взволнованной водной поверхности, выполненных в период с 2005 по 2009 г. в рамках серии международных экспериментов CAPMOS (Combined Active/Passive Microwave Measurements of Wind Waves for Global Ocean Salinity Monitoring). Все описываемые в работе результаты были получены с исследовательской платформы «Кацивели», расположенной на южной оконечности полуострова Крым близ пос. Кацивели, Украина.

Целью экспериментов серии CAPMOS являлось изучение взаимосвязи характеристик частично поляризованного собственного излучения морской поверхности в микроволновом диапазоне и её состояния при различных метеорологических условиях, присутствии плёнок поверхностно-активных веществ (ПАВ), а также при различных условиях волнообразования.

Приоритетной задачей экспериментов являлось исследование характеристик спектра гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) на основе данных дистанционных радиополяриметрических измерений. Для этих целей применялась оригинальная методика нелинейной резонансной радиотепловой спектроскопии (НРРС), разработанная коллективом ИКИ РАН. В соответствии с разработанной методикой, используя данные угловых измерений интенсивности собственного излучения морской поверхности, можно осуществить переход в результате решения системы интегральных уравнений, сформированных на основе двухмасштабной модели излучения ветровых волн) к таким характеристикам волнения как ненаправленный спектр кривизны ГКВ и усредненные по азимутальному углу функции дисперсии уклонов и дисперсии уклонов крупных волн.

Использование метода НРРС позволило не только восстанавливать указанные характеристики спектра ГКВ, но и отслеживать их динамику в ходе проведения исследований. Период получения сведений о состоянии водной поверхности составляет, в среднем, 20 мин, что обусловлено временем измерения пространственной картины теплового излучения морской поверхности для всего диапазона вертикальных и азимутальных углов визирования. В работе представлены временные диаграммы поведения различных спектральных компонент волнения. Показано, что восстановленные характеристики волнения хорошо коррелируют со скоростью приповерхностного ветра.

Следует особо отметить, что платформа «Кацивели» находится на расстоянии около 600 м от берега при глубине моря около 30 м. При господствующих ветрах восточного и западного направления, тем более при южном ветре со стороны открытого моря, обеспечивается достаточный разгон ветровых волн, что позволяет относить волновые измерения к условиям глубокой воды и развитого волнения. В связи с этим, наблюдаемая корреляция характеристик спектра со скоростью ветра является не только подтверждением достоверности их восстановления, но и позволяет использовать полученные результаты для разработки эмпирической модели спектра ГКВ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00890-а, 09-02-00780-а, 09-05-10075-к, 10-02-10019-к, 10-05-10054-к) и гранта Президента РФ № МК-927.2009.2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ВОСТОЧНЕЕ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ ПО СПУТНИКОВЫМ И СУДОВЫМ ДАННЫМ

Е.В. Самко, Н.В. Булатов

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,

Владивосток

E-mail: samko@tinro.ru

По материалам судовых наблюдений, выполненных на НИС «Профессор Леванидов» 21 июля – 10 августа 2002 г., а также спутниковых ИК-изображений и альтиметрических данных проведено исследование динамических образований восточнее Курильских островов. Основное внимание уделяется верификации данных различного происхождения и возможности совместного использования их при мониторинге динамических образований.

Совместный анализ данных судовых и спутниковых: ИК- и альтиметрических данных показывает, что, несмотря на различия во времени наблюдений и пространственно-временном разрешении, отмечается неплохое соответствие характеристик гидрологического режима, полученных на их основе.

ИК-изображения дают наиболее подробное представление о распределении температуры воды на поверхности океана и динамических образованиях в поверхностном слое океана. На них получили отображение почти все динамические образования, выделенные на карте динамической топографии. На ИК-изображениях также выделялись динамические образования, не получившие отображения в судовых данных, поскольку оказались между гидрологическими станциями или ещё не сформировались во время проведения гидрологической съёмки, в том числе циклонические вихри и грибовидные вторжения на левой периферии Ойясио. Как обычно, циклонические вихри были выражены как малоградиентные, слабоупорядоченные области. Более отчётливо выделялись антициклонические вихри, имевшие спиралевидную структуру. В поле геострофических течений, рассчитанных по альтиметрическим данным (аномалии уровня океана), практически не выделялись стационарные течения, но вихревые образования проявлялись очень хорошо. Практически все отмечавшиеся по судовым данным вихри нашли свое отображение на картах, построенных по данным альтиметрии. Кроме того, выделялось несколько вихрей, которые по другим данным, кроме альтиметрических, не проявлялись.

Совместный анализ судовых и спутниковых данных показывает следующие особенности гидрологических условий второй половины лета 2002 г. в Южно-Курильском районе. Юго-восточнее о-ва Хоккайдо и Малой

Курильской гряды не наблюдалось крупного антициклонического вихря типа рингов Куроисио с тёплым ядром. Тёплые воды из фронтальной зоны распространялись к северу в виде мезомасштабных тёплых вихрей и меандров субарктического фронта. Воды Ойясио распространялись в восточно-северо-восточном (а не в южном, как обычно) направлении, при этом вторая ветвь течения, по существу, отсутствовала. Более развитыми были первая и третья ветви Ойясио, воды которых доходили до 42° с. ш. Перечисленные особенности вихревой структуры вод и течений в Южно-Курильском районе были типичными для летнего периода 2001–2003 гг.

Проведённый опыт сравнения, а также многолетний опыт использования квазисинхронных (± 1 сут) судовых и спутниковых ИК-данных показывает, что использование различных видов информации с большим различием во времени получения нежелательно. Конечно, использование альтиметрических данных существенно дополняет спутниковую ИК-информацию, а с учётом всепогодности этого типа информации роль спутниковой альтиметрии для круглогодичного мониторинга состояния океана трудно переоценить. Однако при использовании этого типа информации непременно необходимо учитывать положение и время прохождения каждого трека на рассматриваемой акватории.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И ТРОФИИ В АРКТИКЕ В УСЛОВИЯХ ПРОИСХОДЯЩИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Д.А. Петренко^{1,2}, Д.В. Поздняков²

¹ ГОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург

² Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия
E-mail: dmpetrenko@yandex.ru

Данная работа выполняется в рамках международного проекта FP7 по мониторингу и оценки региональных изменений климата в высоких широтах и Арктике (MONARCH-A [<http://monarch-a.nersc.no/>]).

Исследование пространственной и временной динамики первичной продуктивности (ПП) осуществлялась нами с применением алгоритмов восстановления ПП, использующих, в качестве входных, спутниковые, модельные данные и данные реанализа. Была создана обширная база спутниковых, судовых и модельных данных по Арктическому бассейну на период с 1998 по 2009 г. за летние месяцы, т. е. период открытой воды в Арктике. Спутниковые данные (в основном с датчиков SeaWiFS и MODIS) — это среднемесячные данных третьего уровня. База данных создана по 35 различным параметрам/информационным продуктам. Все данные приведены к одной азимутально-ламбертовской проекции с пространственным разрешением 4 км. Эта база данных может быть использована практически для всех современных алгоритмов восстановления ПП, основывающихся на спутниковых измерениях.

Для валидации алгоритмов нами использовались исторические данные *in situ* по ПП, начиная с 1957 г. по настоящее время. Поиск данных осуществлялся в отечественных и зарубежных публикациях, а также посредством прямых контактов с 25 различными зарубежными университетами и организациями. Всего было собрано более 8000 измерений ПП.

На данном этапе работы использовались два широко известных алгоритма, предложенных Бехренфельдом и др. (1997 и 2005 гг.). Для открытых частей Арктики оба алгоритма дают значения ПП, удовлетворительно сочетающиеся между собой и с данными *in situ*, но алгоритм Бехренфельда и др. (1997) обеспечивает всё-таки более высокую степень соответствия восстановленных значений ПП с соответствующими данными судовых измерений.

Дальнейшее развитие наших исследований предполагает расширение спектра предложенных к настоящему времени спутниковых алгоритмов восстановления ПП и возможной их модификации в целях повышения эффективности восстановления ПП в Арктике.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ЯПОНСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

С.П. Шкорба

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток
E-mail: sshkorba@yandex.ru

Изменчивость ледяного покрова Японского моря в явном или скрытом виде связана с процессами эволюции многих крупномасштабных гидрометеорологических факторов (аномалий температуры поверхности океана, циркуляции атмосферы и т. д.). Поэтому изучение разномасштабной изменчивости ледовых условий Японского моря представляется весьма актуальным, особенно в многолетнем плане. Интерес к подобным исследованиям связан также с решением проблемы выделения возможной антропогенной составляющей изменчивости природных процессов. Данное исследование проводилось по результатам спутникового мониторинга, океанографических съёмок. Использовались ежелекционные спутниковые снимки ледяного покрова моря, получаемые с ИСЗ серий NOAA, «Метеор», «Космос» с 1996 г. по настоящее время, а также ежелекционные карты ледовых авиаразведок над морем до 1996 г. Межгодовая и многолетняя изменчивость ледовитости обусловлена региональными аномалиями как метеорологических, так и океанографических характеристик, в частности, термического режима сезонного пикноклина моря. В свою очередь, региональная изменчивость составляющих теплового на поверхности моря и термического состояния вод может быть связана с аномалиями текущих и предшествующих крупномасштабных процессов в Арктике, Северо-Восточной Азии и северной части Тихого океана, что и оценивается в работе. Статистические связи ледовитости моря с аномалиями температуры воды в северной части Японского моря в зимний и предшествующие сезоны, заметно слабее и менее значимы, чем дальние связи с аномалиями ТПО в северной части Тихого океана.

ИССЛЕДОВАНИЕ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ЧЁРНОГО И БАЛТИЙСКОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОМЕТРИИ

С.С. Каримова

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: feba@list.ru

В работе исследуются мелкомасштабные вихри ($d < 10$ км) бассейнов Чёрного и Балтийского морей, регулярно наблюдаемые на спутниковых радиолокационных изображениях (РЛИ) ENVISAT ASAR и ERS-2 SAR. Общее количество проанализированных изображений около 1500. В работе были задействованы РЛИ следующих категорий:

- высокого пространственного разрешения (12,5 и 75 м) с широкой и узкой полосой обзора, полученные ENVISAT ASAR и ERS-1,2 SAR моря за апрель—октябрь 2003—2008 гг. и 1998—2008 гг. соответственно для российского сектора Чёрного моря;
- среднего пространственного разрешения (75 м), полученные ENVISAT ASAR и ERS-2 SAR за 2009 — начало 2010 г. для различных участков акваторий Чёрного и Балтийского морей; для этого периода временное покрытие исследуемых акваторий снимками достаточно равномерное.

Особое внимание в работе уделено различным механизмам, благодаря которым вихревые структуры проявляются на РЛИ: пленочный механизм, механизм взаимодействия коротких поверхностных волн со сдвиговым течением и ледовый механизм (только для Балтийского моря). На основе анализа всей совокупности радиолокационных данных для каждого из морей и для каждого из механизмов проявления были оценены характерный пространственный масштаб обнаруженных вихревых образований, знак закручивания, районы наиболее частого проявления, а также сезонная и межгодовая динамика указанных параметров за исследуемый период.

Для исследования гидрологической обстановки, в которой происходит образование детектированных спиральных вихрей, были привлечены спутниковые данные видимого и инфракрасного диапазонов, полученные радиометрами AVHRR NOAA, MODIS Aqua/Terra, MERIS ENVISAT и ETM+LANDSAT. В результате анализа пространственного расположения мелкомасштабных вихрей по отношению к циркуляционным структурам большего масштаба (выявленным по радиометрическим данным) было установлено, что многие из детектированных мелкомасштабных вихрей связаны либо с гидрологическими (в частности, термическими) фронтальными разделами, либо с периферическими (фронтальными) зонами мезомасштабных вихревых структур.

Сопоставление радиолокационных данных с полученными квазисинхронно радиометрическими изображениями видимого и инфракрасного диапазонов показало, что при проявлении на изображениях циркуляционных структур, близких по размерам к мезомасштабным, в 75 % случаев наилучшее соответствие с радиолокационными данными демонстрируют поля нормализованной яркости восходящего излучения (551 нм), в оставшихся 25 % — поля температуры поверхности моря (ТПМ). Концентрация хлорофилла-а оказывается самой информативной с точки зрения визуализации течений параметром (по сравнению с ТПМ и нормализованной яркостью восходящего излучения) лишь в исключительных случаях.

Также в результате сравнительного анализа спутниковых радиолокационных и радиометрических изображений было показано, что в Балтийском море в период летнего цветения цианобактерий изображения MODIS Aqua/

Terra, MERIS ENVISAT и ETM+LANDSAT, синтезированные в естественных цветах, практически не уступают радиолокационным данным в плане подробности отображения ими вихревых структур, а в некоторых случаях даже превосходят в связи с отсутствием лимитирующего влияния на них скорости ветра. Исключение составляет, вероятно, только самая мелко-масштабная составляющая вихревого спектра, которая может проявляться только на РЛИ в силу их высокого пространственного разрешения. Во время весеннего цветения диатомовых водорослей в Балтийском море такого соответствия установить не удалось.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00831, 10-05-00428), а также гранта Президента РФ МК-927.2009.2. Радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проекта AO Bear 2775. Радиометрические данные по Чёрному морю получены на Морском портале Морского гидрофизического института НАНУ, Севастополь.

ИТОГИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ЗА 2006–2009 гг.

Е.В. Бульчева¹, А.Г. Костяной²

¹ Атлантическое отделение ИО им. П.П. Ширшова РАН, Калининград

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

E-mail: kostianoy@online.ru

В рамках производственного экологического мониторинга нефтяного месторождения «Кравцовское» (D-6) ООО «Лукойл-КМН» проводится спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения Юго-Восточной Балтики. Для целей мониторинга используются радиолокационные изображения (РЛИ) трёх спутников — ENVISAT (ESA), RADARSAT-1 (CSA) и RADARSAT-2 (MDA). Дешифрованные РЛИ поступают от Конгсбергских спутниковых служб (KSAT, Норвегия).

В ходе анализа РЛИ поверхности моря в Юго-Восточной Балтике за 2006–2009 гг. (всего 804 снимка) было идентифицировано 638 нефтяных пятен, из которых 319 находились в районе экологического мониторинга Кравцовского месторождения. Анализ формы обнаруженных пятен и их сопоставление с данными AIS (автоматическая система идентификации судов) по расположению судов в Балтийском море однозначно указывает на то, что основным источником загрязнения поверхности моря нефтепродуктами является судоходство.

В качестве показателя межгодовой и сезонной изменчивости нефтяного загрязнения поверхности моря была выбрана площадь обнаруженных с помощью спутниковых РЛИ нефтяных пятен. Площади отдельных пятен определялись с помощью ArcGIS 9.2.

В 2006 г. суммарная площадь нефтяного загрязнения составила 371,8 км², в 2007 г. — 213,6, в 2008 — 198,7, в 2009 г. — 81,1 км². Отмечается уменьшение количества обнаруженных пятен в холодный и штормовой период года, что связано, по-видимому, с ограничением радиолокационного метода по скорости ветра. Кроме того, сильное волнение способствует более быстрому образованию эмульсии «вода в нефти» и «нефть в воде», что препятствует возникновению поверхностных нефтяных пленок. С другой стороны, в тёплый период наблюдается интенсивное цветение водорослей, что при слабом ветре приводит к выглаживанию поверхности моря и на-

блюдению сликов естественного происхождения, которые можно принять за нефтяные пятна.

Сравнение количества обнаруженных пятен на утренних и вечерних снимках показало, что вероятность обнаружить нефтяное загрязнение на утренних снимках выше, чем на дневных и вечерних. Этот факт свидетельствует о том, что нелегальный сброс нефтепродуктов с судов происходит именно по ночам, когда зафиксировать сливы оптическими приборами или видеосъёмкой невозможно. Это лишний раз подтверждает преимущества радиолокационной съёмки для мониторинга нефтяного загрязнения морских акваторий.

КАЛИБРОВКА КАК ЧАСТЬ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАДИОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Д.С. Сазонов^{1,2}, *И.Н. Садовский*^{1,2}

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Владимирский государственный университет

E-mail: I3ij_apostol@mail.ru

В процессе разработки новых подходов и моделей физических процессов невозможно обойтись без постановки натурных экспериментов, так как проведение измерений в лабораторных условиях не может в полной мере отразить сущность изучаемого процесса или явления. Одной из главных частей любых экспериментов является обработка полученных данных.

Настоящая работа посвящена особенностям обработки данных натурных радиополяриметрических исследований. Для анализа использованы данные, полученные в рамках международного натурального эксперимента CAPMOS'07.

На первом этапе обработки данных осуществляется калибровка оборадовования, т. е. устанавливается взаимно-однозначное соответствие между температурой поверхности исследуемого элемента пространства и выходными показаниями радиометрической системы.

Известно, что выходное напряжения радиометра линейно зависит от яркостной температуры. Следовательно, для построения калибровочной прямой (определения калибровочных коэффициентов) достаточно знать координаты удаленных друг от друга точек (традиционно, яркостной температуры абсолютно чёрного тела — АЧТ, реликтового излучения и соответствующих им выходных напряжений). Однако в силу того, что исследования производятся у поверхности Земли, к реликтовому излучению необходимо добавить нисходящее излучение атмосферы, которое зависит от угла наблюдения и интегрального поглощения атмосферы. Поэтому для нахождения калибровочных коэффициентов и интегрального поглощения атмосферы пара уравнений калибровочной зависимости должна быть дополнена.

Полученная система уравнений решается в три этапа:

- случайным образом в заданном диапазоне генерируются значения калибровочных коэффициентов и интегрального поглощения атмосферы;
- на их основе рассчитываются величины радиояркостных контрастов АЧТ и подсвета атмосферы;
- вычисляется функция невязки с экспериментальными данными.

Данный итерационный процесс повторяется более 1000 раз. В конце вычислений принимается решение, удовлетворяют ли найденные коэффициенты условию минимума функции невязки или нет. Если решение не

найдено, то процесс калибровки необходимо провести ещё раз, задав новые начальные значения и диапазон поиска определяемых коэффициентов.

Для уменьшения количества итераций, а следовательно, и времени калибровки, в работе было предложено разбить итерационный процесс на несколько равных частей, причём в каждой части изменять начальные значения калибровочных коэффициентов и сужать диапазон их поиска. Диапазон поиска коэффициентов сужался в 2; 3; 10 раз и по экспоненциальному закону. В ходе испытаний было отмечено, что при сужении диапазона в 10 раз и по экспоненциальному закону калибровочные коэффициенты находились быстрее, чем при фиксированном диапазоне. Однако при сужении диапазона в 10 раз возникала ситуация, что если в одной части итерационного процесса коэффициенты были подобраны неправильно, то в следующей части, после сужения диапазона поиска, генерируемые значения коэффициентов тоже оказывались ошибочными. Таким образом, было принято решение сужать диапазон поиска калибровочных коэффициентов по экспоненциальному закону.

Рассмотренные в работе вопросы позволили сократить время калибровки, а предложенный алгоритм поиска калибровочных коэффициентов был внесен в рабочую программу автоматической калибровки.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00890-а, 09-02-00780-а, 09-05-10075-к, 10-02-10019-к, 10-05-10054-к) и гранта Президента РФ № МК-927.2009.2.

КАЧЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ЮПИТЕРА НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ПЕРВОГО РОДА

В.А. Татарченко

Saint-Gobain Crystals

E-mail: vitali.tatartchenko@orange.fr

Предлагается качественная модель, объясняющая особенности цвета Юпитера и природу его красных пятен. Основой этой модели является новый физический эффект — инфракрасное характеристическое излучение (ИКХИ) фазовых переходов первого рода (конденсации, кристаллизации и сублимации — в нашем случае). При фазовом переходе первого рода ИКХИ испускается частицей (атомом, молекулой или кластером) в процессе её перехода из метастабильной фазы (пар или жидкость) в устойчивую фазу (жидкость или кристалл). Частота ИКХИ определяется как величиной скрытой энергии фазового перехода, так и характером связей, образуемых частицей в новой фазе, и обычно соответствует инфракрасному диапазону.

Предлагаемая модель вкратце сводится к следующему. Газообразные компоненты, нагретые в нижних слоях атмосферы планеты, поднимаются вверх в результате конвективной циркуляции. Здесь некоторые из них (главным образом, пары воды и аммиак) конденсируются, замерзают и сублимируют (кристаллы этих веществ обнаружены здесь) с испусканием неравновесного ИКХИ, которое смещает видимый цвет планеты в длинноволновую область. Красные пятна Юпитера являются устойчивыми атмосферными вихрями с более интенсивными процессами испускания ИКХИ в результате конденсации, кристаллизации и сублимации.

МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.А. Лебедев, С.Н. Шауро
Геофизический центр РАН, Москва
E-mail: lebedev@wddb.ru

Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ) развивается в области конвергенций и дивергенции Южного Океана, ограниченной с севера субантарктическим фронтом (САФ) и с юга — полярным фронтом (ПФ). Положение САФ и ПФ хорошо определяется по градиенту температуры морской поверхности (ТМП), полученной по данным ИК- и СВЧ-радиометрии. Анализ полученных результатов показал, что зоны максимальных градиентов ТМП соответствует положению изолиний 60 и 100 см поля климатической динамической топографии (КДТ), рассчитанного относительно динамической глубины 1500 м.

Для анализа изменчивости положения АЦТ определялась его ось как максимум геострофической скорости на поверхности океана по данным суперпозиции КДТ и альтиметрическим измерениям.

Положение оси АЦТ изменяется около широты 50° ю. ш. в Атлантическом и Индийском океанах, и между широтой, 55–60° ю. ш. в Тихом океане. В среднем геострофические скорости на оси АЦТ составляют 16–20 см/с, и изменяется от 10 до 15 см/с на границах его границах (САФ и ПФ).

В спектральной плотности сезонные вариации положения оси АЦТ и его интенсивности независят от долготы. Однако межгодовые изменения различны на акватории Южного океана. Например, в проливе Дрейка положение оси АЦТ почти не изменяется, а в районе Кергеленского плато она смещается на юг приблизительно со скоростью 0,02 град/с или 1,8 км/г.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 10-05-01123).

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВО ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЕ КУРОСИО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

Н.В. Булатов, И.Л. Цыпышева
Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
Владивосток
E-mail: tsypysheva@tinro.ru

По результатам спутникового мониторинга рассмотрена межгодовая изменчивость синоптических процессов — формирования и движения рингов Куроисио с теплым ядром и других антициклонических вихрей; образования интрузий вод Куроисио в субарктической фронтальной зоне с 1973 по 2010 г. Использовались ИК-изображения северо-западной части Тихого океана, полученные по системам АРТ и HRPT спутников NOAA, а также карты аномалий течений, построенные по альтиметрическим данным. Показано, что синоптические процессы во фронтальной зоне Куроисио существенно различаются в каждом десятилетии. Антициклонические вихри формируются различными путями: из первого (от Японии) меандра Куроисио или в результате взаимодействия тепловодных масс северо-восточной (первой) ветви

Курисио с вихрями, сформировавшимися из восточных меандров Курисио и движущимися на запад вдоль его фронта. Более крупные антициклонические (теплые) вихри наблюдались в 1970-х и 2000-х гг. Кроме того, синоптические процессы существенно различались в первой и второй половине каждого десятилетия. Особенно крупные антициклонические вихри-ринги Курисио с теплым ядром формировались во второй половине каждого десятилетия из первого меандра Курисио, а наиболее холодной была первая половина 1980-х гг. Сравнение процессов, протекавших в океане, с опубликованными данными об атмосферных процессах показывает, что особенно крупные антициклонические вихри и теплые интрузии во фронтальной зоне Курисио формируются при южных потоках в атмосфере, а более выраженное движение волн-меандров Курисио на запад наблюдается при юго-восточном переносе в атмосфере.

МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ И ЗАВИХРЕННОСТИ ВЕТРА НАД ЯПОНСКИМ МОРЕМ, ОСНОВАННЫЙ НА ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ СКАТТЕРОМЕТРИИ

О.О. Трусенкова¹, А.Н. Кожанов²

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток

² «Сперасофт», Санкт-Петербург

E-mail: trolia@poi.dvo.ru

Данные о приводном ветре на основе спутниковых скаттерометрических измерений доступны уже в течение 10 лет. Данные имеют высокое пространственное ($1/4$ и позже $1/8^\circ$) и временное (2 раза в сутки) разрешение в полосе зондирования. Однако их применение для многомерного статистического анализа затруднено эпизодическим расхождением спутниковых треков в некоторых районах, например, над южной частью Японского моря, а также точечными пропусками в районах интенсивных осадков, искажающих сигнал. Предпочтительным является использование полей, получаемых оптимальной интерполяцией спутниковых и модельных данных о ветре — QSCAT/NCEP Blended Ocean Winds. Этот массив содержит ежедневные (4 поля в сутки) зональную и меридиональную компоненты ветра, измеренные на высоте 10 м, как над морем, так и над сушей, с полуградусным пространственным разрешением за период с июля 1999 г. по июль 2009 г. Район исследования включает Японское море и прилегающую часть суши. Выполняется разложение векторов напряжения ветра на комплексные эмпирические ортогональные функции (ЭОФ) как для исходных полей, так и полей с отфильтрованной, на основе вейвлет-преобразования, синоптической изменчивостью. Оба разложения дают одни и те же две старшие моды. Первая мода, учитывающая 26 и 51 % дисперсии для исходных и низкочастотных полей соответственно, определяет преобладающее направление ветра над морем. Вклад второй моды противоположен по направлению в северном и южном районах, отклоняя ветер не более чем на 10 и $15\text{--}20^\circ$ соответственно. Третья статистически значимая мода присутствует только в исходных полях и соответствует синоптическому циклоническому или антициклоническому вихрю над всей областью.

Проанализированы гистограммы и временные ряды преобладающего направления ветра над Японским морем, основанные на старшей моде, полученной по фильтрованным данным. Как и ожидалось, с ноября по март преобладает северо-западный ветер. В переходные периоды между зимним и

летним муссоном (конец марта — апрель и октябрь) увеличивается повторяемость западных ветров. От зимы к весне ветер поворачивает на юго-запад, а к концу лета — на юго-восток и восток. Осенью ветер может поворачивать на юго-запад, запад и северо-запад или на северо-восток, север и северо-запад.

Пространственное распределение старшей ЭОФ-моды поля завихренности ветра (только над морем) соответствует свойственному северо-западным ветрам, преобладающим в период зимнего муссона, а временная функция близка к нулю с конца марта по октябрь. Характерной особенностью являются диполи циклонического и антициклонического вихря, обусловленные струйными ветрами, связанными с впадинами рельефа суши у высокого северо-западного берега моря. Вторая и третья моды вихря определяют его характер в теплые месяцы года: преобладание антициклонического вихря во второй половине марта и октяб্রে и колебания между циклоническим и нулевым (слабо антициклоническим) вихрем летом. Отмеченные особенности могут существенно влиять на циркуляцию вод Японского моря.

МОДЕЛЬ СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

С.А. Лебедев

Геофизический центр РАН, Москва

E-mail: lebedev@wdcб.ru

Понятия геоида и средней высоты морской поверхности (СВМП) имеют ключевое значение при правильной интерпретации данных спутниковой альтиметрии как в океанологических, так и в геодезических задачах.

Основными особенностями Каспийского моря являются два фактора. Первый — его уровень ниже уровня Мирового океана примерно на 27 м, второй — уровень Каспийского моря подвержен значительным межгодовым колебаниям. С 1830 г. по настоящее время размах его колебаний составил около 3,5 м. Это означает, что, в сравнении с уровнем Мирового океана, который по данным спутниковой альтиметрии изменяется со средней скоростью около 2,5 мм/год, эквипотенциальная поверхность, соответствующая невозмущенной поверхности Каспийского моря, даже за столь короткий временной интервал (с 1992 по 2009 г.) также изменяется на 60 см. Поэтому модель СВМП Каспийского моря, которая в первом приближении соответствует эквипотенциальной поверхности моря, должна соответствовать невозмущенной поверхности моря в каждый момент времени. Таким образом, в отличие от глобальных моделей СВМП, построенных по данным спутниковой альтиметрии, для Каспийского моря она должна зависеть не только от широты и долготы, но и от времени.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 10-05-01123).

**МОНИТОРИНГ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ НА ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЯХ
РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ
(СПУТНИКОВЫЕ И ПОДСПУТНИКОВЫЕ ДАННЫЕ)***В.В. Плотников*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток

E-mail: vlad_plot@poi.dvo.ru

Практически все виды деятельности на замерзающих морях во многом зависят от знания ледовой обстановки. Наличие различных источников информации о состоянии ледяного покрова создаёт определенные сложности, так как эффективное решение задач мониторинга возможно только при условии полноты и сопоставимости данных из различных источников, используемых при формировании архива ледовой информации.

Основой при выборке исходных данных о ледовом состоянии морей до 1990 г. служили данные ледовых авиаразведок, а после 1990 г. — наблюдения из космоса. Определялись значения ледовитостей, фиксировалось положение кромки льда, выделялись области с заданными ледовыми условиями, снимались значения ледовых характеристик (сплоченность, возраст, формы льда, торосистость, заснеженность и т. д.).

Для численного представления полей ледовых характеристик акватории морей разбивались на ряд сравнительно однородных районов. В зависимости от размеров моря, сложности ледовых условий, а также усилий, направленных на их изучение, размеры элементарных ячеек для каждого из морей существенно различаются.

В результате для оценки состояния льда на каждом из морей были сформированы информационные матрицы размерностью $M \times N \times P \times K$, где M — количество лет (1960–2007), N — количество декад ледового периода ($N = 18$, для Охотского и Берингова моря: с I декады декабря по III декаду мая и $N = 15$, для Японского моря: с I декады декабря по III декаду апреля), P — количество фиксируемых для данного моря ледовых параметров, K — количество элементарных ячеек (районов), по которым собиралась информация (156 для Берингова моря — размер ячейки 1° по широте и 2° по долготе; 482 — для Охотского моря, размер ячейки $0,5 \times 1^\circ$ и 114 — для Японского моря, размер ячейки $0,5 \times 0,5^\circ$).

Для решения вопроса сопоставимости данных ледовых авиаразведок и спутниковых снимков (дешифрированных) по совместным наблюдениям (данные 1970–1989 г.г.) проводился корреляционный анализ параллельных рядов ледовой информации. Полученные результаты свидетельствуют о высокой степени согласованности данных, полученных из этих источников (коэффициенты корреляции менялись от 0,9 для периода максимального развития ледяного покрова до 0,7 — для начального периода ледообразования). Эти оценки позволили после незначительной корректировки объединить имеющуюся информацию в один исторический архив с временными границами от 1960 г. по настоящее время.

Для восстановления пропущенных значений в узлах сетки использовались методы оптимизации, основанные на итерационных схемах расчёта, хорошо зарекомендовавшие себя в предшествующих исследованиях.

Кроме того, показано существование тесной связи между считавшимися независимыми параметрами ледяного покрова — сплоченностью и преобладающими размерами льдин. Как, показал проведенный анализ, для описания ледяного покрова, в частности Японского моря, вполне достаточно сведений о распределении двух независимых переменных: сплоченности

и возраста льда. Третью переменную (формы льда) можно легко оценить по уравнению линейной регрессии.

Полученные результаты весьма важны с прикладных позиций. В первую очередь это относится к оценке преобладающих размеров льдин, являющихся важной не только режимной, но и навигационной характеристикой ледовых условий. Обычно карты ледовой обстановки, построенные по спутниковым снимкам (например, карты выставленные на сайте www.natice.noaa.gov/pub/west_arctic/), не содержат сведений о распределении форм льда, поэтому, используя выявленную зависимость, можно достаточно эффективно восстановить пропущенную информацию, что и было сделано при формировании исторических архивов ледовой обстановки на дальнево-сточных морях России.

НАБЛЮДЕНИЕ НА ШЕЛЬФЕ ЧЁРНОГО МОРЯ ВНУТРЕННИХ ВОЛН БОЛЬШИХ АМПЛИТУД, СГЕНЕРИРОВАННЫХ АНТИЦИКЛОНИЧЕСКИМ ВИХРЕМ

А.Н. Серебряный

Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: serebryany@hotmail.com

Исследования внутренних волн в Чёрном море имеют особенный интерес, поскольку они позволяют изучать различные механизмы генерации внутренних волн, отличные от приливного. Недавно с помощью спутникового мониторинга на поверхности Чёрного моря были обнаружены следы пакетов внутренних волн, находящихся вблизи крупномасштабных вихрей. В предыдущих исследованиях, проводившихся контактными методами, механизм генерации внутренних волн, каким-либо образом связанный с крупномасштабными вихрями в море, выявлен не был. В связи с этим приводимые в докладе данные о наблюдении интенсивных внутренних волн в период прохождения над шельфом антициклонического вихря имеют особую ценность. Внутренние волны бесприливного моря в целом менее интенсивны по сравнению с их аналогами в приливных морях или океане. Обычно высоты внутренних волн, наблюдаемых в Чёрном море, не превышают нескольких метров, в связи с этим наблюдение волн с высотами около 10 м, что является рекордным для этого моря, вызывает повышенный интерес. При исследованиях течений на северо-восточном шельфе Чёрного моря 4 октября 2009 г. был зарегистрирован цуг внутренних волн необычно больших для бесприливного моря амплитуд. Цуг состоял из 8–10 волн, их высоты лежали в пределах 9–13 м, длины — 100–115 м. Появление цуга совпало с периодом прохождения в прибрежной зоне компактного антициклонического вихря (диаметром около 10 км). Зарегистрированные с помощью прибора ADCP особенности течений на разрезе позволяют сделать предположение о процессе, вызвавшем столь интенсивные волны. В части шельфа с глубинами более 50 м была зарегистрирована уединенная область с интенсивным вертикальным движением вод, её горизонтальные размеры (по нормали к берегу) составляли около 1300 м. Во фронтальной части образования скорость вертикальной компоненты достигала 10–12 см/с вниз, а в тыловой — до 10–15 см/с вверх. Этот гидравлический скачок был встроен в систему течений антициклонического вихря и двигался на берег, излучая пакет внутренних волн в прибрежную стратифицированную область моря с очень резким скачком плотности в придонном слое (на горизонте 45 м). Положение цуга интенсивных внутренних волн было ограничено, с одной

стороны, передним фронтом гидравлического скачка, а с другой — областью квазиоднородной по плотности прибрежной воды. На основании проведенных наблюдений мы можем указать на антициклонический вихрь как мощный источник генерации пакета наблюдавшихся интенсивных внутренних волн.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00831, 10-05-00428).

НАБЛЮДЕНИЯ ИЗ КОСМОСА ЗА ЯВЛЕНИЕМ ЭЛЬ-НИНЬО В МИРОВОМ ОКЕАНЕ

В.Е. Скляр, В.И. Бышев

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

E-mail: vsklyarov@km.ru

Выполнен анализ спутниковой информации для тропической зоны Мирового океана. Особое внимание уделялось рассмотрению особенностям временных рядов уровенной поверхности за период 1993–2009 гг. Отметим, что для событий Эль-Ниньо характерна реакция в тропической зоне всех трёх океанов. Реакция Тихого океана достаточно хорошо исследована и описана в научной литературе. Наиболее интересные результаты с нашей точки зрения были получены для Индийского океана в период яркого явления Эль-Ниньо в октябре–ноябре 1997 г.

Если рельеф уровенной поверхности в ноябре 1996 или 2000 г. соответствовал норме и характеризовался типичным для этого периода понижением уровня на западе океана и повышением на востоке, то в октябре–ноябре 1997 г. наклон уровенной поверхности имел противоположный знак. Отметим, что область пониженного уровня охватывала всю экваториальную зону с формированием у о-ва Суматра интенсивного апвеллинга. В то же время реакция Атлантического океана проявлялась только в его восточно-экваториальной части. По мнению авторов, в годы Эль-Ниньо в атмосфере происходит разрушение экваториальной циркуляции Уокера, и именно этот фактор объясняет наблюдаемые аномалии в Индийском океане в муссонный период года.

НАБЛЮДЕНИЯ ПО ДАННЫМ ДАТЧИКОВ ЦВЕТА ОКЕАНА МНОГОЛЕТНИХ И СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ БИСКАЙСКОГО ЗАЛИВА

Е.А. Морозов^{1,2}, Д.В. Поздняков¹, А.А. Коросов¹, В.И. Сычёв²

¹ Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», Санкт-Петербург

² Российский Государственный гидрометеорологический университет,

Санкт-Петербург

E-mail: evgeny.morozov@niersc.spb.ru

По гидрооптическим свойствам прибрежные и в значительной степени открытые части Бискайского залива не являются водами типа 1 в силу влияния ряда факторов, таких как интенсивный речной сток, ресуспензия донных отложений под влиянием сильных ветров, развитие кальцифицирующих водорослей. Это обстоятельство не позволяет эффективно использовать стандартные алгоритмы обработки цвета морской воды, предложенные

Национальной администрацией США по авиации и космосу / NASA для данных SeaWiFS и MODIS или Европейским космическим агентством / ESA для данных MERIS. Нами разработан набор новых, специализированных под изучаемый водный объект, алгоритмов для оценки количества и пространственного распределения концентрации общей взвеси, биомассы фитопланктона (через концентрацию хлорофилла-а), также идентификации и картирования областей цветения двух вредных видов фитопланктона — *Lepidodinium chlorophorum* и *Emiliania huxleyi*.

Мы использовали обширный банк данных *in situ* по концентрации хлорофилла фитопланктона (ХЛ) и общей взвеси (ОВ), сформированный французским институтом IFREMER. Алгоритмы, разработанные нами отдельно для ХЛ и ОВ и индивидуально для SeaWiFS и MODIS, основаны на использовании нейронных сетей (НС).

Посредством последовательной процедуры стыковки данных датчиков SeaWiFS и MODIS для таких оптически сложных вод сезонные и декадная динамика биогеохимических процессов в Бискайском заливе были задокументированы и выяснена их связь с внутренними гидрологическими процессами и внешними атмосферными воздействиями. Нам не известны разработанные к настоящему моменту алгоритмы для определения/идентификации *L. chlorophorum*. Как и для ХЛ и ОВ, для данного исследования были использованы НС. В этом исследовании были использованы данные датчика MODIS, нейрон в выходном слое отражал наличие или отсутствие этого вида планктона.

Районы цветения кокколитофор определялись по данным датчиков CZCS, SeaWiFS и MODIS. Для выявления пикселей, принадлежащих области цветения, использовался визуальный анализ RGB композитных изображений и алгоритм классификации, основанный на использовании характерных спектральных свойств цветений кокколитофор.

Разработанные алгоритмы для восстановления некоторых параметров качества воды и идентификации цветений вредных водорослей вместе с полученным достоверным подтверждением совместимости данных SeaWiFS и MODIS для Бискайского залива, позволили впервые установить и наблюдать во времени многочисленные сезонные, межсезонные и многолетние изменения в биогеохимических полях в прибрежных водах и пелагиальной зоне этого водного объекта. Синергетическое использование спутниковых данных о силе и направлении ветра, ТПО, данных о цвете океана и доступных *in situ* данных предоставило возможность интерпретировать наблюдаемую динамику биогеохимических полей в терминах региональных океанологических процессов и многолетних изменений.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗОН ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОЁМОВ

С.А. Ермаков, И.А. Капустин, Т.Н. Лазарева, И.А. Сергеевская
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
E-mail: stas.ermakov@hydro.appl.scinnov.ru

В акватории Горьковского водохранилища в 2009–2010 гг. выполнены натурные исследования по изучению возможностей дистанционной (радиолокационной) диагностики зон биогенного загрязнения, связанного с сезонным ростом концентрации сине-зеленых водорослей (СЗВ). Радиолокационное зондирование поверхности воды выполнялось с борта судна, где были установлены СВЧ-скаттерометры X и Ka диапазонов.

Одновременно с борта моторной лодки, движущейся параллельно судну проводился отбор проб СЗВ и пленок поверхностно-активных веществ, а также выполнялись измерения течений и акустического рассеяния в воде с помощью акустического доплеровского профилографа течений ADCP Workhorse Sentinel 600 kHz. Анализ объемных и поверхностных проб воды проводился в лабораторных условиях с целью оценки концентрации СЗВ и изучения физических характеристик пленок поверхностно-активных веществ. Было установлено, что областям с повышенной концентрацией СЗВ соответствовал меньший уровень радиолокационного сигнала. Лабораторные эксперименты по изучению механизма подавления гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) в присутствии СЗВ показали, что для исследовавшихся образцов воды эффективная вязкость воды с СЗВ (при снятой с поверхности воды плёнке) выше, чем для чистой воды, однако слабо зависит от концентрации СЗВ, в отличие от упругости плёнки. Сделан вывод о том, что эффект возрастания коэффициента затухания ГКВ с концентрацией СЗВ связан в основном с плёнкой.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00634, 08-05-97011, 09-05-97019, 10-05-00101, 10-05-10045-к).

О НЕОБХОДИМОСТИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬСТВА МОРСКОГО ГАЗОПРОВОДА «НОРД СТРИМ» В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

А.Г. Костяной¹, Е.С. Тетушкина²

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

² ИТЦ «СканЭкс», Москва

E-mail: kostianoy@online.ru

Морской газопровод «Норд Стрим» соединит Германию с месторождениями природного газа в России для обеспечения возрастающих потребностей в газе Германии и других европейских государств. Морской участок «Норд Стрима» пройдет от Выборга до Грайфсвальда. Ввод газопровода в эксплуатацию намечен на 2011 г., причём сначала планируется строительство одной нитки пропускной способностью около 27,5 млрд м³ газа в год. С введением второй нитки газопровода в 2012 г. его пропускная способность увеличится до 55 млрд м³ газа в год.

Поскольку экологическое состояние Балтийского моря (даже вне зависимости от строительства газопровода) по ряду причин вызывает большую тревогу у балтийских государств, то целой сетью национальных лабораторий и институтов осуществляется мониторинг различных физических, химических и биологических параметров Балтийского моря. Очевидно, что такой грандиозный проект как строительство «Норд Стрима» будет привлекать пристальное внимание со стороны национальных и международных организаций, отвечающих за охрану окружающей среды Балтийского моря. В связи с этим необходимо создать такую комплексную систему производственного экологического мониторинга и контроля соблюдения требований природоохранного законодательства (ПЭМиК) при строительстве и эксплуатации газопровода, которая соответствовала бы уровню этих международных организаций, включала современные научные приборы, технологии и разработки и осуществлялась специалистами, известными своими работами по мониторингу Балтики за рубежом. Желательно, чтобы технические средства мониторинга, технологии, методики, численные модели были не только западного образца, но и использовались самими балтийскими странами. Только в этом случае можно значительно повысить доверие к получаемым

результатам и снять вопросы, связанные с использованием российских приборов, методик и технологий.

Из небольшого числа потенциальных воздействий, которые можно приписать строительству газопровода, выделяются три основных вида:

- 1) загрязнение вод нефтепродуктами в результате штатной работы или аварийных сбросов на судах строительного потока (судне-трубоукладчике, дноуглубительных механизмах, буксирах, баржах и других вспомогательных плавсредствах);
- 2) загрязнение вод взвешенным веществом в результате дноуглубительных работ или отсыпки грунта;
- 3) цветение вод (биологическое загрязнение), которое можно при определенных условиях считать следствием вертикального перемешивания вод и подъёма к поверхности питательных веществ, происходящего при дноуглубительных работах или отсыпке грунта.

Составной частью любой программы современного мониторинга экологического состояния суши или морей является спутниковый мониторинг, который обладает большими дополнительными возможностями и преимуществами по сравнению с наземными средствами. Все три вида потенциальных загрязнений хорошо отслеживаются по спутниковым данным, поэтому программа комплексного экологического спутникового мониторинга должна быть ориентирована именно на контроль этих трёх параметров. Следует отметить, что контроля *in situ* в точке производства работ будет недостаточно, поскольку не известны пространственные характеристики наблюдаемых загрязнений, причиной которых могут быть естественные процессы в природе моря (взмучивание и цветение вод) или трафик судов в случае обнаружения «чужих» нефтяных пятен. Кроме того, спутники позволяют получать информацию о загрязнении на обширной акватории Балтики (включая все природоохранные зоны, за которыми ведется пристальное наблюдение со стороны национальных и международных экологических служб) и при необходимости в количественном виде сравнивать воздействие от строительства газопровода с другими природными или антропогенными факторами.

В докладе приводятся разработанные нами рекомендации по проведению комплексного экологического спутникового мониторинга строительства «Норд Стрима» в оперативном режиме (а также примеры спутниковой информации и численного моделирования), которые основываются на имеющемся уникальном опыте аналогичной работы в течение 18 мес в 2004–2005 гг. по контракту с ООО «Лукойл-Калининградморнефть», в котором объектами мониторинга являлись Кравцовское нефтяное месторождение, нефтяная платформа Д-6 и обширная окружающая акватория юго-восточной Балтики.

О ФОРМИРОВАНИИ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЬ-НИНЬО – ЛА-НИНЬА ТИХОГО ОКЕАНА

*А.Л. Бондаренко*¹, *И.В. Серых*²

¹ Институт водных проблем РАН, Москва

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
E-mail: albert-bond@mail.ru; iserykh@gmail.com

Существуют различные гипотезы формирования явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья. По одной из них оно образуется океаническими экваториальными волнами Россби Тихого океана. На наш взгляд, эта гипотеза наиболее состоятельна, поскольку доказательно обоснована обобщением различной натурной информации. Согласно гипотезе, вертикальная составляющая

движения воды волн подаёт холодные глубинные воды к поверхности океана и тем самым формирует температуру поверхностных вод, показателя развития явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья. По информации о волновых течениях в фиксированных точках океана и температуре воды (эксперимент ТОГА ТАО) получены высоко достоверные связи этих процессов, подтверждающие состоятельность принятой гипотезы. Фактически в данном случае информация была узколокальной.

В последние годы авторами доклада проведен большой по объёму и значимости анализ информации о температуре поверхности океана, атмосферном давлении, ветре, полученной из космоса по программе TOPEX/POSEIDON. Вертикальные движения воды волн хорошо «просматриваются» в температурном поле океана, что позволяет проследить эволюцию волн и температурного поля, а следовательно, и развития явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья. По этой информации удалось с большой точностью определить такие параметры волны, как её фазовую скорость распространения, длину, ширину фронтальной зоны и др. В частности, раньше считалось, что фазовая скорость волны равна 1,6 м/с, а длина 1600 км, но мы установили, что они равны 0,9 м/с и 900 км. Определение точных параметров волны необходимо для расчёта развития явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья в различных частях океана.

Представленные нами исследования демонстрируют состоятельность принятой гипотезы развития явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья и высокую значимость космической информации в проведении научных исследований.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАССЕЙНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ СИЛЬНО-НЕЛИНЕЙНЫМИ ГРАВИТАЦИОННО-КАПИЛЛЯРНЫМИ ВОЛНАМИ

И.А. Капустин, С.А. Ермаков, И.А. Сергиевская
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород
E-mail: kia@hydro.appl.sci-nnov.ru

Для развития методов радиолокационного зондирования морской поверхности крайне важным является анализ динамики сильно-нелинейных гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) на поверхности воды и, в частности, механизмов их обрушения. Целями данной работы являлось изучение гидродинамической природы рассеивателей радиоволн при обрушениях ГКВ и их проявлений в характеристиках радиолокационных сигналов. В ходе лабораторных экспериментов в кольцевом бассейне ИПФ РАН исследованы особенности рассеяния зондирующих СВЧ-сигналов сильно-нелинейными поверхностными ГКВ в широком диапазоне длин волн (от сантиметровых до длинных ГКВ метрового диапазона). Исследования проводились с использованием доплеровского СВЧ-скаттерометра с длиной волны излучения 8,7 мм (Ka-диапазон) при углах падения 50–60°. Для ГКВ сантиметрового и частично дециметрового диапазона установлено, что рассеяние радиосигнала обусловлено генерацией паразитной ряби, которая характеризует так называемое «микробрушение» ГКВ. Для более длинных поверхностных волн метрового диапазона рассеяние обусловлено сильным обрушением волны и генерацией при этом свободной (квазилинейной) капиллярной ряби. В промежуточном случае ГКВ дециметрового диапазона может наблюдаться рассеяние как на паразитной, так и на свободной ряби.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00634, 08-05-97011, 09-05-97019, 10-05-00101), программы ОФН РАН «Современные

проблемы радиофизики», Миннауки (госконтракт 02.740.11.0566), проекта IPY THORPEX.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИИ ВОД АРАЛЬСКОГО МОРЯ ЛЕТОМ 2009 г.

А.С. Ижицкий

МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: gil-gelad@mail.ru

В работе представлены результаты подспутниковых экспедиционных исследований на Аральском море летом 2009 г. Данные, используемые в работе, были получены при участии автора в ходе десятой Аральской экспедиции ИО РАН в августе 2009 г. Экспериментальный полигон находился в центральной, наиболее глубокой части западного бассейна Большого Арала.

В результате анализа спутниковых снимков Аральского региона был зафиксирован факт практически полного высыхания восточного бассейна в течение лета 2009 г. Водообмен между восточным и западным бассейнами в значительной степени определял гидрологические особенности последнего. В условиях отсутствия названного водообмена можно предполагать формирование отличной от прежней гидрологической структуры вод западного бассейна. Задачи подспутникового эксперимента были:

- изучение термохалинной структуры вод современного Аральского моря;
- выявление особенностей циркуляции вод современного Аральского моря и закономерностей отклика течений на ветровое воздействие;
- сравнение полученных результатов с результатами исследований прошлых лет.

Результаты подспутникового эксперимента показали, что летом 2009 г. в западном бассейне Аральского моря наблюдалась трёхслойная вертикальная стратификация вод с наличием двух локальных максимумов солёности в поверхностном и придонном слоях, разделённых более пресным промежуточным слоем. Наблюдаемый тип стратификации – результат совместного действия конвективного и адвективного механизмов формирования максимумов солёности. Результаты вычислений показывают, что, несмотря на полное высыхание восточного бассейна и ослабление роли адвективного механизма, полного перемешивания вод под действием осенне-зимней конвекции при наблюдаемых условиях произойти не может. По-видимому, в современном Аральском море под действием господствующих ветров сохраняется антициклонический характер циркуляции поверхностных вод. Несмотря на сократившиеся поперечные размеры моря, ставшие сопоставимыми с радиусом деформации, экмановский механизм формирования поверхностных течений сохраняет актуальность. Придонные течения имеют баротропный характер и организуются в виде циклонического круговорота.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ MODIS

Е.С. Гурова

Атлантическое отделение ЮО им. П.П. Ширшова РАН, Калининград

На основе анализа массива данных спутниковых сканеров цвета моря MODIS (Terра и Aqua) получена информация об особенностях распреде-

ления взвешенных и растворенных веществ в прибрежных водах юго-восточной части Балтийского моря с учётом геологического строения побережья и информации о стоках рек. По сериям снимков проанализированы гидродинамические процессы при разных метеорологических ситуациях: вихревые образования у северного побережья Самбийского полуострова, распространение и динамика плюмов рек Висла, Неман (Клайпедский пролив), Преголя (Балтийский пролив) в летнее, весеннее и зимнее время года. Проанализирована роль различных факторов (речной сток, минеральная взвесь вдали от устьев рек, цветение моря в летний период, неравномерное замораживание морской воды зимой) как индикаторов течений в исследуемом районе.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД НА СЕВЕРЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ВЕКОВОМУ МАССИВУ ДАННЫХ

М.Н. Писарева

МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: Empisareva@mail.ru

С целью составления карты-схемы ареала распространения северных баренцевоморских атлантических вод (СБАВ) на севере Баренцева моря было рассмотрено 7908 гидрологических станций с 1898 по 2007 г. из портала Национального центра океанографических данных [www.nodc.noaa.gov] в координатах 77–81° с. ш., 22–55° в. д. В результате анализа массива данных при помощи построения TS-диаграмм, разрезов характеристик и карт были выявлены границы ареалов среднего, максимального и минимального распространения СБАВ на севере моря. Согласно полученным результатам СБАВ не вносят свой вклад в ветвь атлантических вод, направленных в Карское море. Генерально СБАВ заходят в Баренцево море через северные проливы, не поднимаясь в регионы моря с глубиной менее 150 м на севере и северо-западе и 200–250 м южнее. СБАВ распространяются преимущественно до 79° с. ш., заходя в бассейн Хирлопен и занимая глубоководные желоба. Главный поток вод заходит в Баренцево море через желоб Франца-Виктории, прижимаясь к его левому склону. Вдоль его правого склона существует обратный поток. Дальность распространения СБАВ зависит от их мощности и температуры. В особо теплые годы ветвь СБАВ сливалась с ветвью южных баренцевоморских атлантических вод (ЮБАВ) западнее банки Персея. В результате анализа данных была построена карта-схема и общая таблица характеристик АВ на севере моря за исследуемый период. Данная карта является значительным дополнением, обновлением и уточнением существующих карт распространения АВ.

В докладе обсуждается возможность выявления Атлантических вод на севере Баренцева моря на спутниковых изображениях высокого разрешения.

ОЦЕНКИ КОНТРАСТОВ НЕФТЯНЫХ СЛИКОВ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ СОЛНЕЧНОГО БЛИКА

А.Г. Мясоедов^{1,2}, В.Н. Кудрявцев^{1,2}

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

² Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», Санкт-Петербург
E-mail: alexander.myasoe dov@gmail.com; kvn@niersc.spb.ru

Катастрофический разлив нефти в Мексиканском заливе и широкое использование оптических данных MODIS, MERIS и LANDSAT показали высокую эффективность спутниковых систем для мониторинга загрязнений окружающей среды.

Загрязнения поверхности могут иметь как естественное, так и антропогенное происхождение. Не зависимо от происхождения, поверхностные плёнки подавляют короткие ветровые волны, образуя на поверхности моря слики, — области выглаженной поверхности, легко наблюдаемые «невооруженным глазом». На сегодняшний день исследования поверхностных сликов осуществляется в основном методами РСА-зондирования. Однако существующие оптические сканеры также могут быть использованы для наблюдения и определения параметров поверхностных загрязнений.

В данной работе предлагается метод оценки параметров нефтяных загрязнений по изображениям солнечного блика оптическими сканерами типа MODIS, MERIS. В рамках предложенного алгоритма, по измеренным контрастам яркости восстанавливаются пространственные вариации СКН в нефтяных сликах. Приводится анализ зависимости контрастов СКН от скорости ветра, толщины нефтяной плёнки, выявляются пространственные особенности полей СКН. Измеренные контрасты сопоставляются с данными модельных расчётов.

Приводятся примеры сопоставления и количественного анализа поверхностных проявлений нефтяного загрязнения в Мексиканском заливе, полученных по данным оптических сканеров и РСА. Описываются их различия и подобия.

ПОСТРОЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ КАРТ ТЕМПЕРАТУРЫ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВ NOAA И MTSAT-1R

С.Е. Дьяков

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток
E-mail: sergdkv@gmail.com

Самым востребованным источником информации о температуре поверхности океана (ТПО) являются ИК-радиометры полярноорбитальных метеорологических спутников, что объясняется высокой точностью получаемых значений ТПО и малым размером пиксела. В случае безоблачной погоды, если не происходит значительного нагрева Солнцем поверхностного слоя, возможно наблюдение распределения ТПО и положения синоптических структур: течений, вихрей, апвеллингов. Традиционные композиционные карты ТПО являются объединением карт ТПО, полученных за определенный период времени, при этом объединение данных производится таким образом, чтобы исключить влияние облачности, обеспечить минимум стандартной ошибки измерений и отсутствие систематического смещения

измерений. При построении композиционных карт выполняется взаимная компенсация значений, отсутствующих на исходных картах ТПО, а также производится статистический контроль достоверности получаемых значений.

Традиционные композиционные карты NOAA не приспособлены для наблюдения за синоптическими объектами в дальневосточных морях — в силу значительной облачности период объединения данных для них выбирается достаточно большим (5 или 7 дней), а методом композиции данных является осреднение с использованием фильтрации и весовых коэффициентов.

В данной работе предлагается метод построения композиционных карт ориентированный на сохранение контуров синоптических объектов. При этом необходимо:

- 1) использовать робастные методы оценки значений ТПО;
- 2) улучшить качество фильтрации облачности для ночных снимков;
- 3) исключить влияние аномального прогрева поверхностного слоя морской воды и влияние отраженной солнечной радиации.

Фильтрация облачности обычно проводится на основе пороговых методов и карты опыта значений ТПО, дополненных проверкой временной и пространственной однородности значений ТПО. Качество этой проверки зависит от выбранных порогов, которые должны быть более слабыми в районах сильных градиентов ТПО. Поэтому фильтрация облачности по карте опыта должна дополняться оценками временной и пространственной изменчивости ТПО.

Прогрев поверхностного слоя морской воды возникает в безоблачных безветренных условиях и приводит к существенным ошибкам определения ТПО, достигающим 2–4 и даже 10°. В этом случае распределение значений ТПО, на основе которых строится композиция, существенным образом меняется, и построение композиции ТПО становится невозможным. Обнаружение случаев существенного прогрева поверхности океана и фильтрация данных производится на основе анализа временного ряда значений температур, наблюдаемых геостационарным спутником MTSAT-1R.

Метод апробирован на серии спутниковых изображений Японского моря за один летний и один зимний месяц. Проводятся оценки точности расчёта композиционных карт ТПО на основе сравнения с буйковыми измерениями.

Работа поддержана РФФИ (проекты № 08-07-00227-а, 09-01-98519-р_восток_a).

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЧАСТИЧНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ШАПКИ МАРСА ПО ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ ПРИБОРА «ОМЕГА»

Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, В.В. Егоров, В.А. Котцов, М.В. Стальная
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: Balter@mail.ru

Цель работы — моделирование временной динамики гиперспектральных данных. Этот вопрос мало исследован, потому что длинных временных рядов гиперспектральных данных почти нет: полоса пространственного захвата гиперспектрометра намного меньше, чем у других средств ДЗ, и перекрытие разновременной съёмки происходит редко. Мы пользуемся данными, полученными для Марса гиперспектрометром «Омега» на аппа-

рате «Марс-Экспресс» за период 2004–2010 г. Поскольку почти все орбиты проходят недалеко от полюсов, наложение трасс происходит автоматически и в диапазоне широт $-80...-90^\circ$ имеется 1000–1500 пригодных для обработки трасс. Для Земли гиперспектральных рядов сравнимой длины нет, и они не представляли бы интереса из-за приполярной облачности. Для Марса же этой проблемы нет, а кроме того, полярные шапки представляют собой интересный сложный объект с, пожалуй, наиболее богатой сезонной динамикой на всей планете.

Однако есть другая проблема: обилие пропусков данных, гораздо большее, чем в обычных задачах анализа временных рядов. Это связано с отсутствием съёмки в течение примерно половины времени (полярная ночь), а также с тем, что через каждую точку проходят не все 1000–1500 орбит, а в разы меньше. Мы же ставим себе цель построить полную модель динамики Южной полярной шапки (ЮПШ), т. е. обеспечить полное пространственное покрытие в заданном районе (обычно $-80...-90^\circ$) и полное временное покрытие, т. е. интерполировать динамику и на те периоды, когда съёмки нет. Эта задача достаточно трудна и интересна, и результаты её решения, как нам представляется, могут быть ценны не только для планетологов, но и для обработки временных рядов гиперспектральных данных по Земле, которых будет становиться всё больше.

Проблема пропущенных данных взаимодействует с другой трудной проблемой — высокой размерностью данных в этой задаче: спектр в точке поверхности имеет размерность 352, а временной ряд спектральной линии одного вещества — более 1000. Мы сосредоточились на линиях твёрдого и газообразного CO_2 , которые наиболее динамичны. Большинство стандартных методов статистического анализа (например, основанные на методе максимума правдоподобия) в этой размерности и с пропущенными данными просто не работают, так как корреляционные матрицы вырождаются и теряют положительную определенность.

Мы использовали цепочку из трёх алгоритмов, каждый из которых устойчив к указанным проблемам.

1. Проводилась кластеризация методом Кохонена для векторов — временных рядов указанных линий и получалось разбиение окрестности ЮПШ на области, имевшее осмысленную пространственную структуру.

2. Для каждой точки указанной окрестности строилась регрессионная модель зависимости глубины указанной линии от фазы сезона. Она служила начальным приближением для более тонкого анализа с помощью фильтра Калмана.

3. К каждому из пространственных кластеров применялся современный тип фильтра Калмана — многочастичный фильтр, хорошо работающий с нелинейностями. Он применялся в дуальном режиме: как для обучения нелинейной зависимости глубины линии от фазы сезона, так и для собственно фильтрации на основе указанной зависимости. Фильтрация и есть способ интерполяции модели динамики на зоны пропуска данных.

Итоговая модель динамики ЮПШ получается в двух видах: «эйлеровом», при котором каждый кластер фиксируется в пространстве и меняет во времени свое состояние — глубину линий CO_2 — и «лагранжевом», при котором кластер дрейфует в пространстве соответственно изменению глубины линий во времени.

**ПРИМЕР ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ
НА ОСНОВЕ РЛ-СНИМКОВ АПВЕЛЛИНГА В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ***И.Е. Козлов, В.Н. Кудрявцев*Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург

Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», Санкт-Петербург

В данной работе показаны предварительные результаты восстановления температуры поверхности моря (ТПМ) на основе РЛ-изображений морской поверхности. Известно, что при наличии облаков получение информации о ТПМ в ИК-диапазоне невозможно. В связи с этим интерес представляют данные спутниковых радиолокаторов, свободные от влияния облачности. На примере идентификации прибрежного апвеллинга в Балтийском море в синхронных РЛ- и ИК-данных, дается оценка возможности восстановления ТПМ по соответствующим радиолокационным снимкам.

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ
ПРОЯВЛЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН НЕПРИЛИВНОЙ ПРИРОДЫ
В РАЗЛИЧНЫХ МОРЯХ***М.И. Митягина, О.Ю. Лаврова*

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: mityag@iki.rssi.ru

В докладе обобщаются результаты исследования особенностей генерации и распространения внутренних волн неприливно происхождения, полученные в ходе регулярного спутникового мониторинга Чёрного, Каспийского и Балтийского морей. Мониторинг основывался на анализе радиолокационных данных высокого разрешения, получаемых с помощью ASAR ENVISAT и ERS-2 SAR, а также данных сенсоров MODIS Aqua/Terra и AVHRR NOAA в оптическом и инфракрасном диапазонах. На радиолокационных изображениях морской поверхности бесприливных морей идентифицированы поверхностные проявления цугов внутренних волн и восстановлена их пространственная и временная изменчивость. По данным спутниковой радиолокации восстановлены основные пространственно-временные характеристики внутренних волн неприливно происхождения и локализованы районы их зарождения для различных акваторий. Для различных морей бесприливно типа проведен сравнительный анализ поверхностных проявлений внутренних волн и выявлены основные отличительные особенности их возникновения, распространения и проявления в данных спутниковой радиолокации морской поверхности. Отмечено наличие сезонной и межгодовой изменчивости волновой активности. На основе совместного анализа данных спутниковой радиолокации и данных спутниковых приборов оптического и ИК-диапазонов выявлены возможные факторы, приводящие к генерации наблюдаемых внутренних волн неприливно происхождения, и сделаны предположения о соответствующих механизмах их генерации.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00831-а, 10-05-00428-а). Спутниковые радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством (ЕКА) в рамках проектов С1Р.6342, Bear 2775 and С1Р.1027.

ПРОХОЖДЕНИЕ ПОЛОСЫ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 11 ИЮЛЯ 2010 г. ЧЕРЕЗ ТИХИЙ ОКЕАН

А.Г. Пахомов

МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: a_pakhomow@mail.ru

Рассматривается возможность влияния солнечных затмений на физические характеристики океана. Представлены результаты измерения температуры поверхности воды по данным спутниковых наблюдений. Аномальные изменения температуры связаны с прохождением полосы полного солнечного затмения 11 июля 2010 г. в южной части Тихого океана с 18 до 21 ч по Всемирному времени. Полоса затмения прошла через остров Пасхи и острова Кука. Предлагается проводить регулярные океанологические наблюдения полных солнечных затмений, ближайшее из которых пройдёт также через Тихий океан в ноябре 2012 г.

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОНТРАСТ ВЕТРОВОЙ РЯБИ НА ВОЛНЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.Я. Матвеев¹, А.Г. Боев², А.А. Боева³

¹ Центр радиофизического зондирования Земли им. А.И. Калмыкова НАНУ и НКАУ, Харьков, Украина

² Радиоастрономический институт НАНУ, Харьков, Украина

³ Харьковский Национальный политехнический институт, Украина

E-mail: matweev@list.ru

Задача о радиолокационном контрасте коротких волн, развивающихся под действием ветра на поверхности длинной морской волны, имеет важное практическое значение. Шероховатости морской поверхности, вызванные короткими волнами, позволяют, в частности, обнаруживать с помощью радиолокатора волны сейсмического происхождения, обладающие малой амплитудой и очень большой длиной волны [Доценко С.Ф. Возбуждение волн цунами в непрерывно стратифицированном океане подвижками участка дна // Исследования цунами. М., 1988. № 3. С. 7–17; Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985, 264 с.].

В работе решена задача о радиолокационном контрасте морских ветровых волн короткого гравитационного и гравитационно-капиллярного диапазонов на длинной волне сейсмического происхождения. Найдено выражение спектра высот и радиолокационного контраста коротких волн в зависимости от параметров длинной волны, зондирующей радиоволны и глубины моря. Показано, что короткие волны могут характеризоваться как стационарным, так и нестационарным спектрами и радиолокационными контрастами. Причиной нестационарности является параметрический резонанс, хорошо известный в теории колебаний. Рост амплитуды коротких волн в этих условиях ограничивается их нелинейным взаимодействием. Для линейных (стационарной и нестационарной) стадий развития коротких волн проведены расчёты радиолокационных контрастов для зондирующих радиоволн с длинами, соответственно, 3 и 5,66 см.

РАЗНОМАСШТАБНЫЕ ВИХРИ И СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ДИСТАНЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ)*В.И. Пономарёв, П.А. Файман, В.А. Дубина*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток

E-mail: pvi711@yandex.ru

В заливе Петра Великого и над прилегающим материковым склоном Японской котловины наблюдается интенсивная разномасштабная вихревая динамика. В работе исследуются особенности формирования и эволюции различных по времени жизни и пространственным масштабам вихрей в заливе Петра Великого и прилегающей части моря. Новые результаты получены на основе анализа AVHRR, PСA-спутниковой информации и численного эксперимента с вихреразрешающей моделью циркуляции вод в этом районе Японского моря. Для моделирования вихревой динамики используется слоистая квазиизопикническая численная модель циркуляции с кинематическим граничным условием для превышения уровня над поверхностью моря (условием свободной поверхности). Модель, разработанная в 1998 г. Н.Б. Шапиро и Э.Н. Михайловой в Морском гидрофизическом институте НАНУ Украины (Севастополь), адаптировалась О.О. Трусенковой, В.И. Пономарёвым и П.А. Файманом сначала для крупномасштабных условий Японского моря, а затем и для шельфа залива Петра Великого. В этой модели априори постулируются скачки температуры, солёности и плотности на границах раздела между слоями. Глубины залегания слоев, включая глубину верхнего перемешанного слоя, рассчитываются наряду с уровнем моря, температурой, солёностью, плотностью и тремя компонентами скорости течения в слоях. Отмеченные переменные модели являются функциями горизонтальных координат и времени. Горизонтальное разрешение в численном эксперименте 2 км, вертикальное — 9 слоёв, шаг по времени — 4 мин. Модель интегрируется на 2 года от заданных по данным океанографической съёмки начальных условий для температуры и солёности с учётом реалистичного рельефа дна, неоднородность которого соответствует пространственному разрешению модели. Внешние метеорологические условия задаются с суточным разрешением по данным NCEP NCAR реанализа. Показано, что модель удовлетворительно описывает формирование и эволюцию струйных течений и вихрей синоптического масштаба в заливе Петра Великого, наблюдаемых на спутниковых изображениях. Дистанционными методами выявлен перемещающийся циклонический вихрь субсиноптического масштаба, время жизни которого около суток, а горизонтальный масштаб изменяется от 3 до 10 км. В численном эксперименте в силу меньшего разрешения этот вихрь моделируется, как короткоживущая циклоническая завихренность с масштабом около 8–10 км, формирующаяся на северо-западной периферии более крупного и устойчивого бароклинного антициклонического вихря, имеющего синоптический масштаб.

Работа выполнена при поддержке инициативного гранта ДВО РАН 2008–2010 В.И. Пономарёва.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА И ВЗВЕСИ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СКАНЕРОВ ЦВЕТА

*Т.В. Буканова*¹, *С.В. Вазюля*², *О.В. Копелевич*², *В.И. Буренков*²,
*А.В. Григорьев*², *А.Н. Храпко*², *С.В. Шеберстов*²

¹ Атлантическое отделение ИО им. П.П. Ширшова РАН, Калининград

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

E-mail: felice04@rambler.ru

Воды Балтийского моря характеризуются высокой концентрацией окрашенного органического вещества, и, как показали исследования, выполненные специалистами Института океанологии Польской академии наук по результатам их судовых измерений 1993–2001 г., стандартные алгоритмы расчёта концентрации хлорофилла (Хл) по данным спутниковых сканеров цвета SeaWiFS и MODIS в водах Балтийского моря дают значительно завышенные значения. Позже польские специалисты разработали по данным своих судовых измерений региональный алгоритм (DESAMBEM) для расчёта Хл, систематическая ошибка которого для безоблачных условий оценена как порядка 10 %, а случайная — примерно 57 %.

Задача наших исследований заключалась в разработке региональных спутниковых алгоритмов для юго-восточной части Балтийского моря. Исследования проводились по двум направлениям: во-первых, валидация существующих алгоритмов по данным судовых измерений концентраций хлорофилла и взвеси, проведенных в АО ИОРАН в 2003–2009 гг.; во-вторых, проведение более полных валидационных измерений, в сочетании со спутниковыми наблюдениями, и комплексный анализ полученных данных. Такие измерения были выполнены в экспедициях, проведенных в апреле, июне и июле 2010 г.; они включали, наряду с определениями концентраций хлорофилла и взвеси, измерения спектральных коэффициентов яркости выходящего из водной толщи излучения с помощью плавающего спектро-радиометра.

По первому направлению получен отрицательный результат: ни один из рассмотренных алгоритмов не дал удовлетворительного согласия с результатами прямых определений. Данные судовых измерений 2010 г. позволили оценить ошибки, возникающие как в результате атмосферной коррекции данных различных сканеров цвета (SeaWiFS, MODIS-Terra, MODIS-Aqua, MERIS), так и ошибки применяемых биооптических алгоритмов. На основе данных экспедиционных измерений плавающим спектро-радиометром исследованы подходы к созданию региональных биооптических алгоритмов, наилучшим образом адаптированных к реальным ошибкам атмосферной коррекции.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-90718-моб_ст).

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРО-АПСШЕРОНСКОГО РАЙОНА КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Т.М. Татараяев, Л.Н. Фараджева, К.Г. Новрузова, Б.А. Бабаева
Институт экологии Национального аэрокосмического агентства
Азербайджана, Баку
E-mail: t.tatarayev@mail.ru

Северо-Апшеронский район является одним из наиболее детально изученных районов на Каспийском море. Наличие здесь Дербентской впадины, Апшеронского полуострова, ряда нефтегазодобывающих управлений, а также крупного промышленного центра г. Сумгаита вызывает широкий спектр гидрофизических явлений. Следует отметить, что указанные вихревые образования легко обнаруживаются в температурных полях, полученных с помощью ИСЗ.

Наличие г. Сумгаита со своими сильно загрязненными промышленно-бытовыми отходами привели к серьезной экологической напряженности в рассматриваемой акватории. Настоящая работа посвящена системному анализу гидрофизических факторов, определяющих загрязненность и экологическое состояние района.

Как известно, в этом районе располагается «эпицентр» скоростей северных ветров, что вызывает здесь области наибольших скоростей течений и интенсивность волнения. Следует отметить, что именно в этом районе наблюдается стрежень главного циклонического течения на Каспии. Динамика юго-восточного течения и его меандрирование было детально исследовано ещё в 1937 г. В.Б. Штокманом. При сильной интенсификации этого течения под влиянием Апшеронского полуострова к северо-востоку от него могут образовываться циклонические вихри с размерами 10–50 км. Под действием ветров южных направлений в Северо-Апшеронском районе, как и по всему западному побережью Среднего Каспия, происходит подъем глубинных вод, который четко наблюдается на космических снимках. Указанные процессы достаточно детально изучены по данным как контактных, так и аэрокосмических наблюдений.

Вышеуказанные процессы определяют характер распределения загрязнённости в рассматриваемом регионе. В работе исследована изменчивость распределения загрязнителей от основных определяющих факторов. Оказалось, что ветер является основной причиной распространения нефти и её продуктов. Распространение других загрязнителей подчиняется общим законам гидрофизики. В этом районе выполнено огромное число гидрофизических экспериментов с применением как контактных, так и дистанционных методов исследования. На основе результатов выполнена параметризация процессов турбулентного обмена по гидрометеорологическим условиям в рассматриваемом районе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЕРАТИВНОГО СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ЧЁРНОГО, БАЛТИЙСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ В 2009–2010 гг.

О.Ю. Лаврова, С.С. Каримова, М.И. Митягина, Т.Ю. Бочарова, А.Я. Строчков
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: olavrova@iki.rssi.ru

На современном этапе исследование океана нельзя представить без использования информации, полученной с помощью приборов дистанционной

диагностики, установленных на различных спутниках, специализированных на дистанционном зондировании Земли. В последнее время во всем мире запущено большое количество спутников с научной аппаратурой на борту, работающей в разных диапазонах электромагнитного спектра. Огромное количество поступающей со спутников информации используется не только в чисто научных целях, но и для решения многих хозяйственных и природоохранных задач. Наибольшую ценность представляют регулярные и оперативные наблюдения одних и тех же районов всеми доступными сенсорами, что предоставляет возможность всестороннего изучения характерных процессов и явлений, установления взаимосвязей между ними, закономерностей и особенностей их возникновения и развития.

Лаборатория аэрокосмической радиолокации ИКИ РАН с начала 2009 г. проводит ежедневный оперативный спутниковый мониторинг акваторий Чёрного, Азовского, Балтийского и Каспийского морей. За это время получено огромное количество спутниковой информации, только радиолокационных данных высокого разрешения ASAR ENVISAT и SAR ERS 2 до августа 2010 г. обработано 1717 изображений. Практически ко всем из них была подобрана комплементарная информация: данные оптических и ИК-сенсоров и данные метеостанций. Огромный массив данных дал огромную информацию о состоянии и загрязнении этих морей, позволил провести сравнение современного состояния с предыдущими годами.

Предварительный анализ позволил уже на настоящем этапе выявить и детально изучить внутренние волны в бесприливных морях, определить районы их наиболее частых поверхностных проявлений, высказать предположения об источниках их генерации. Вторая важная задача, которая решалась на основе данных спутникового мониторинга, — это исследование мелкомасштабных вихревых структур и их тонкой пространственной структуры за счёт сликового механизма проявления на РЛИ. Третья, традиционная задача, — это выявление антропогенных загрязнений морской поверхности и сравнение современного состояния с предыдущими годами. Впервые нашим коллективом начата работа по мониторингу ледового покрова в Балтийском, Азовском морях и в северной части Каспийского моря.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00831-а, 10-05-00428-а). Спутниковые радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проектов С1Р.6342, АОВЕ 2775 and С1Р.1027.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОКЕАНОГРАФИИ И КОСМИЧЕСКИХ ОТБРАЖЕНИЙ ОКЕАНСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНЕ ЯПОНСКОГО АРХИПЕЛАГА

В.Б. Дарницкий¹, М.А. Ищенко², Н.В. Булатов¹, И.В. Машкина²

¹ Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
Владивосток

² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток

E-mail: laitik@mail.ru.; maksim@poi.dvo.ru

Проблему пространственной организации океанических течений удобнее рассматривать не глобально, что в принципе хорошо известно, а на региональном уровне, на примере структуры отдельных крупных регионов, где с той или иной степенью детальности и достоверности можно анализировать не только горизонтальную структуру течений, но и её изменчивость

во времени с различной дискретностью, учитывая основные, наиболее важные, этапы её эволюции. Один из таких регионов Тихого океана, достаточно хорошо насыщенный океанографическими наблюдениями, — его северо-западная часть, простирающаяся к югу, юго-западу и юго-востоку от Японии и являющаяся локализованным западным звеном Субтропического круговорота (ЗСТК) в северной части Тихого океана. Западной границей круговорота является гряда подводных гор и о-вов Рюкю, насчитывающая в общей сложности около 98 горных вершин. Архипелаг протягивается от о-ва Тайвань на северо-восток приблизительно на 1200 миль, совокупная площадь островов 4,8 тыс. км². Вследствие взаимодействия струи Курусио с островодужной системой на различных схемах океанологами разных стран приводятся различные режимы поведения струйного потока относительно оси этой системы. Полимодальные взаимодействия основной струи и отдельных вторичных струй, возникающих вследствие бифуркации основного потока, не позволяют дать однозначную стационарную схему течений, хотя в различные периоды они (схемы), конечно, отражали особенности циркуляции вод.

На больших временных масштабах разнообразные палеонтологические данные свидетельствуют о чередовании в истории Земли медленных изменений термохалинной циркуляции океана и резких её переходах от одного состояния к другому. Эта особенность указывает на возможность существования разрывных автоколебаний термохалинной циркуляции океана. Численные решения эволюционных уравнений для климатической системы атмосфера — океан — континентальный лед показывают, что отношение длительности периодов существования «нормальной» термохалинной циркуляции климатического масштаба к аномальной составляет приблизительно 1:3, тогда как переходы одной формы циркуляции к другой на этих масштабах происходят почти мгновенно. Такие переходы обуславливаются скачкообразными изменениями перепадов солёности, перепады же температуры воды, а также средних значений температуры и солёности остаются непрерывными и совершают асимметричные колебания с преобладанием продолжительности стадии падения над продолжительностью стадии роста. Сами по себе факты быстрых переходов от одной формы циркуляции к другой и, следовательно, существования разрывных автоколебаний находят отражение и на внутриклиматических, межгодовых и меньших масштабах. В приложении к системе Курусио это проявляется, например, в бимодальности его траекторий у берегов Японии — к югу от Энсю-Нада. Бимодальность траектории вблизи хребта Идзу-Огасавара и само течение Курусио к югу и востоку от Японии — сегодня наиболее изученные элементы циркуляции в пределах ЗСТК. В литературе имеются указания на то, что внутренние районы ЗСТК могут быть иногда «упакованы» локальными вихревыми системами, которые также претерпевают значительные изменения во времени и пространстве. Однако довольно длительных регулярных исследований этих процессов до сих пор не проводилось. Вместе с тем в настоящее время очевидно влияние вихревых систем на перераспределение в океане биологических объектов различных трофических уровней, а их интенсивность, изменяющаяся в межгодовых и внутригодовых масштабах времени, безусловно, должна находить отражение и в цикличности некоторых экологических процессов, происходящих в морской биоте.

Внутренняя организация циркуляционной системы ЗСТК подчинена некоторым закономерностям, которые можно установить как по современным исследованиям, так и по ретроспективной информации. Регулярность наблюдения некоторых локализованных структур, наблюдавшихся в раз-

личных экспедициях, свидетельствуют об их определенной организованности под влиянием внешних воздействий, либо в некоторых случаях речь может идти о самоорганизации всей макроструктуры ЗСТК — синергетики, согласно современной терминологии.

В докладе будут рассмотрены океанографические наблюдения второй половины XX в. и космические фрагментарные наблюдения в совпадающих пространственных и временных координатах, как это сделано ранее. Привлекаются также данные эксперимента АРГО.

СЕЗОННЫЕ И МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЁРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

В.И. Буренков, О.В. Копелевич, С.В. Шеберстов, С.В. Вазюля
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва
E-mail: bur-07@yandex.ru

Для анализа использовались данные спутникового сканера MODIS-Aqua. Основные параметры, анализируемые по спутниковым данным, — концентрация хлорофилла-а (CHL), показатель рассеяния назад взвесью b_{br} на длине волны 555 нм и поверхностная температура (SST). Две первые величины определялись по алгоритмам, разработанным в лаборатории оптики океана ИО РАН.

Расчёты выполнялись для различных регионов Чёрного моря, выделенных в соответствии с ранее опубликованными работами. Для этих регионов производилось усреднение указанных выше параметров.

Сезонная изменчивость СНЛ в открытых районах моря характеризуется наличием трёх периодов заметного возрастания концентрации хлорофилла. Первый приходится преимущественно на март и связан с весенним цветением фитопланктона. Второй, несколько меньшей амплитуды, наблюдается в осенний период (октябрь—ноябрь). Третий, наиболее слабый, приходится на июнь и связан с цветением кокколитофорид. Для шельфовой зоны западного побережья ситуация существенно иная: максимальные значения СНЛ наблюдаются в апреле-июне, что связано с периодом половодья.

Совершенно иная сезонная изменчивость, по спутниковым данным, регистрируется для показателя рассеяния назад взвесью b_{br}. Здесь ярко выраженный максимум b_{br} приходится на июнь, а в период весеннего и осеннего цветения фитопланктона он практически отсутствует. Наличие указанного максимума может объясняться двумя причинами: цветением кокколитофорид и повышением речного стока, вызывающего одновременно вынос минеральной взвеси и приток биогенных элементов.

Важно отметить существенные межгодовые вариации значений СНЛ и b_{br} во всех регионах. Их причины весьма разнообразны: гидрометеоусловия, изменчивость течений, вариации речного стока. В связи с отсутствием в последнее время данных по речному стоку использовались только доступные спутниковые данные по SST. Основной механизм влияния SST на биопродуктивность состоит в том, что в осенне-зимний период охлаждение поверхностных вод приводит к интенсивной вертикальной конвекции, способствующей поступлению биогенных элементов в поверхностный слой. Сочетание этого фактора с увеличением в весенний период улова солнечной радиации должно приводить к повышению продукции фитопланктона. Таким образом, в принципе должна наблюдаться антикорреляция между минимальными значениями SST в зимний период и концентрацией хлорофилла в период весеннего цветения.

Эти качественные рассуждения подтверждены анализом спутниковых данных. Показано, что для большинства регионов Чёрного моря наблюдается отчётливая антикорреляция между SST в феврале и SNL в марте. Аналогичная зависимость обнаружена между SST в феврале и bbr в июне. Построенные спутниковые карты среднемесячных распределений SNL в марте и bbr в июне показывают их существенное различие для «теплых» и «холодных» зим.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-00936-а) и Программы фундаментальных исследований № 20 Президиума РАН.

СИНОПТИЧЕСКАЯ ВИХРЕВАЯ ДИНАМИКА НАД СЕВЕРО-ЗАПАДНЫМ МАТЕРИКОВЫМ СКЛОНОМ И ШЕЛЬФОМ ЯПОНСКОГО МОРЯ (МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСТАНЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ)

В.И. Пономарёв, П.А. Файман, В.А. Дубина, С.Ю. Ладыченко, В.Б. Лобанов
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
Владивосток
E-mail: pvi711@yandex.ru

Для северо-западной части Японского моря, районов континентального склона Японской котловины и шельфа Приморья характерна интенсивная вихревая динамика, наиболее выраженная в теплый период года, когда вертикальная стратификация плотности и бароклинность существенно усиливаются по сравнению с зимним сезоном. Цель нашей работы — выявить особенности формирования, структуры и эволюции синоптических (мезомасштабных) антициклонических вихрей, доминирующих в этом районе моря. Результаты получены на основе анализа AVHRR-спутниковой информации, данных океанографических съёмок и численных экспериментов с вихреразрешающей моделью циркуляции вод. Для моделирования вихревой динамики используется слоистая квазиизопикническая численная модель циркуляции с кинематическим граничным условием для превышения уровня над поверхностью моря (условием свободной поверхности). Модель, разработанная в 1998 г. Н.Б. Шапиро и Э.Н. Михайловой в Морском гидрофизическом институте НАНУ (Севастополь), адаптировалась для условий Японского моря О.О. Трусовой, В.И. Пономарёвым и П.А. Файманом. В этой модели априори постулируются скачки температуры, солёности и плотности на границах раздела между слоями. Глубина залегания границ раздела между слоями и, соответственно, толщины слоев рассчитываются наряду с уровнем моря, температурой, солёностью, плотностью и тремя компонентами скорости течения в слоях. Отмеченные переменные модели являются функциями горизонтальных координат и времени. Горизонтальное разрешение в численном эксперименте 2 км, вертикальное — 9 слоёв, шаг по времени — 4 мин. Модель интегрируется на 2 года от заданных по данным детальной океанографической съёмки 1999 г. начальных условий для температуры и солёности с учётом реалистичного рельефа дна, неоднородность которого соответствует пространственному разрешению модели. Внешние метеорологические условия задаются с суточным разрешением по данным NCEP NCAR реанализа. Моделируется субарктический круговорот Японского моря, Приморское течение и эволюция антициклонических вихрей, перемещающихся на юго-запад вниз по течению вдоль крутого участка материкового склона Японской котловины и захватываемых широким шельфом залива Петра Великого. Определена скорость перемещения этих вихрей и выполнены оценки влияния различных факторов на генерацию

вихрей и изменчивость струйных течений. Показаны отличия этих вихрей от бароклинных рингов субарктической фронтальной зоны и южной, субтропической, части моря. Генерация под влиянием сильного синоптического ветра, направление и скорость перемещения антициклонических вихрей вдоль крутого материкового склона соответствуют аналогичным свойствам бароклинной топографической волны Кельвина.

Работа выполнена при поддержке инициативного гранта ДВО РАН 2008–2010 В.И. Пономарёва.

СИНОПТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ВДОЛЬ ТРЕКОВЫХ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Д.К. Старицын, В.Р. Фукс

Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: d_starik@mail.ru

По данным трёх треков, проходящих с юга-запада на северо-восток вдоль Японских островов, Курильской гряды и восточного побережья Камчатки, описывается синоптическая изменчивость уровня северо-западной части Тихого океана

По трековым альтиметрическим данным построены изоплеты уровня и проведен феноменологический и статистический анализ пространственной и временной изменчивости уровня океана.

Выделены выраженные энергонесущие максимумы на волновых числах $0,028-0,042$; $0,07-0,09$ и $0,11-0,23$ цикл·км⁻¹, соответствующих 500–800, 250–300 и 98–200 км. Дана гидродинамическая интерпретация механизмов этой изменчивости. Оценены стерическая и динамическая составляющие и их сравнительный вклад в изменчивость уровня океана. Динамическая изменчивость интерпретируется как стоячие поступательные волны Россби. Оценены параметры этих волн.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА АРКТИКИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Е.В. Шалина

Санкт-Петербургский государственный университет

Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», Санкт-Петербург

E-mail: Elena.shalina@niersc.spb.ru

Ввиду значительных изменений в составе и протяжённости арктического ледяного покрова в течение последних десятилетий, а также в силу той важной роли, которую он играет в процессе формирования климата на нашей планете, арктический ледяной покров стал объектом пристального внимания научного сообщества. В качестве основного источника данных об изменениях параметров ледяного покрова Арктики в представляемом докладе использованы результаты пассивных спутниковых измерений в микроволновом диапазоне. Для уточнения границы многолетних льдов использованы данные скаттерометра; для валидации результатов использованы измерения радаров с синтезированной апертурой и данные оптического диапазона.

Площадь арктических льдов меняется в течение года от минимальной протяжённости в конце лета, после сезона таяния, до наибольшей протяжённости в конце зимы. Обычно минимальное значение площади арктических льдов наблюдается в сентябре. Измерения показывают, что при общей тенденции сокращения арктического ледяного покрытия наиболее высокая скорость сокращения площади льдов наблюдается для периода август–сентябрь. После рекордного сокращения сентябрьской площади льдов Арктики в 2007 г. принято сравнивать сентябрьское ледяное покрытие, наблюдаемое в каждый последующий год, с упомянутым минимумом. В нынешнем году измерения пассивных микроволновых радиометров указывают на то, что площадь ледяного покрытия в сентябре 2010 г. больше рекордного минимума; при этом она меньше, чем в 2009 г., но больше, чем в 2008. Таким образом, тенденция сокращения площади арктических льдов сохраняется; среднегодовая скорость сокращения площади ледяного покрытия Арктики держится на уровне 4,6 % за декаду, а скорость сокращения сентябрьского льда составляет примерно 11 % за декаду.

СПИРАЛИ НА ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА — МИКРОКОПИИ УРАГАНОВ В АТМОСФЕРЕ

Г.С. Голицын

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

E-mail: gsg@ifaran.ru

На морской поверхности со спутников наблюдаются при подходящих условиях спирали. Они впервые были описаны Уолтером Манком в 2000 г. Их размеры от нескольких до 20 км, время жизни порядка суток, имеют свой сезонный цикл и никогда не наблюдаются в полосе широты вокруг экватора. Гипотезы об их происхождении благодаря сдвиговой или бароклинной неустойчивости плохо подтверждаются: так, при этом подобные вихри должны были бы развиваться одну-две недели. Наблюдаемым условиям могут удовлетворить по всем статьям конвективные вихри, образующиеся в верхнем квазиоднородном слое, ВКС, моря при отдаче его теплосодержания в атмосферу интенсивностью порядка 100 Вт/м^2 . Атмосферная конвекция забирает такое тепло при испарении воды и путём прямой теплоотдачи. Опускание охлаждаемой и осолоняемой при испарении с поверхности воды организует конвекцию в ВКС. Последняя при учёте суточного вращения планеты образует вихри нужных размеров, сезонного и суточного хода, аналогично тому, как атмосферная конвекция с достаточно больших площадей над океаном организует полярные и тропические ураганы в атмосфере (Голицын Г.С. // Изв. РАН. ФАО. 2008. Т. 44. № 5. С. 579–590).

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТУРБУЛЕНТНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД КРУТЫМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОЛНАМИ

Ю.И. Троицкая, Д.А. Сергеев, О.С. Ермакова, Г.Н. Баландина

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

E-mail: yuliya@hydro.appl.sci-nnov.ru

Последние достижения в исследовании детальной структуры воздушного потока над волнами связаны с применением метода цифровой оптиче-

ской анемометрии (ЦОА). Такая техника применялась в работах [Reul N., Branger H., Giovanangeli J.-P. // *Physics of Fluids*. 1999. V. 11. P. 1959–1961; Veron F., Saxena G., Misra S.K. // *Geophysical Research Letters*. 2007. V. 34. L19603. doi: 10.1029/2007GL031242] и показала наличие отрыва воздушного потока от гребней поверхностных волн на мгновенных полях скорости. Следует заметить, что отрыв ветрового потока от гребня поверхностной волны является нестационарным турбулентным процессом с характерным масштабом, малым по сравнению с периодом волны. Можно ожидать, что процессы турбулентного обмена между океаном и атмосферой и генерации волн ветром, которые имеют временные масштабы, значительно превосходящие период волны, обусловлены полями ветрового потока, осредненными по турбулентным пульсациям. Это означает, что для корректной экспериментальной проверки моделей атмосферного пограничного слоя над взволнованной поверхностью воды не достаточно мгновенных реализаций полей скорости над волнами, а требуется наличие статистического ансамбля, по которому может быть произведено осреднение. В данной работе для изучения турбулентного воздушного потока над волнами применяется метод видео-ЦОА, основанный на применении скоростной видеосъемки и позволяющий получать статистические ансамбли реализаций мгновенных векторных полей скорости.

Эксперименты по исследованию турбулентного ветрового потока над взволнованной водной поверхностью проводились в кольцевом ветро-волновом бассейне ИПФ РАН. Воздушный поток над водной поверхностью создавался вентилятором со средней скоростью на оси бассейна 4 м/с. Поверхностные волны генерировались с помощью программируемого волнопродуктора клиновидной формы, который совершал колебания на частоте 2,5 Гц с амплитудами 6,5; 14; 20 мм.

Для проведения измерений мгновенных полей скорости в воздушный поток с помощью специального устройства вместе со сжатым воздухом инжестировались сферические частицы полистирола диаметром 20 мкм. Рабочая область освещалась непрерывным излучением лазера Nd:Yag LCS-318-300, 200 мДж с длиной волны 532 нм, преобразованным системой линз в световой нож толщиной 3 мм. Изображение освещенных частиц снималось на цифровую CCD видеокамеру со скоростью 1000 кадров в секунду. Размеры рабочей области составляли 1280×500 пикселей (274×107 мм). По видеофильмам с помощью алгоритма ЦОА восстанавливались векторные поля скорости воздушного потока в криволинейной области выше взволнованной поверхности воды с разрешением 7 мм (32 пиксела) в вертикальном и 14 мм (64 пиксела) в горизонтальном направлениях. При каждом значении параметров ветра и волн было получено 30 видеофильмов длительностью от 200 до 600 мс.

Полученные в результате ансамбли реализаций представляли собой временные ряды векторных полей скорости и формы поверхности в рабочей области. Эти временные ряды, зарегистрированные при фиксированной горизонтальной координате x , совмещались по фазе волны на воде, а затем подвергались статистической обработке. Такое условное осреднение эквивалентно осреднению по ансамблю реализаций в случае, когда масштаб турбулентных флуктуаций меньше длины волны.

Было проведено сравнение экспериментальных данных с предсказаниями квазилинейной модели турбулентного пограничного слоя над волнами, развитой в работе [6]. Модель основана на решении системы уравнений Рейнольдса, замыкаемых с помощью градиентной аппроксимации, в которой коэффициент турбулентной вязкости считается заданной функцией

координат, учитывающей вязкий подслоя логарифмического пограничного слоя вблизи водной поверхности. Для описания взаимодействия ветра и волн используется квазилинейное приближение, при этом волновые возмущения, индуцированные в воздухе волнами на поверхности воды, рассматриваются в линейном приближении, что предполагает безотрывное обтекание поверхности воды, а в уравнении для средних компонент скорости учитываются нелинейные слагаемые — волновые напряжения. Основные физические предположения модели (гипотеза замыкания турбулентного переноса и квазилинейное приближение) проверялись на основе сопоставления с экспериментальными данными.

Было показано, что безотрывная квазилинейная теория применима для описания осреднённых аэродинамических полей в ветровом потоке над волнами даже в тех случаях, когда отрыв потока от гребней волн наблюдается на мгновенных полях скорости. Этот факт можно качественно объяснить двумя причинами: сильной нестационарностью процесса отрыва и малым характерным масштабом неоднородностей потока в области отрыва. При этих условиях мелкомасштабные вихри, генерируемые в области отрыва, действуют на средний поток и волновые возмущения как сильная вихревая вязкость. Следовательно, можно ожидать, что сильнонелинейные эффекты, такие как, отрыв воздушного пограничного слоя, не должны наблюдаться на аэродинамических полях, осреднённых по турбулентным флуктуациям, а волновые возмущения потока могут быть описаны в квазилинейном приближении.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 09-05-00779а, 07-05-00565а, 07-05-12011, 08-05-97011, 08-05-97013, 10-05-00339-а) и Гранта Президента МК 1982.2009.5.

ТОНКАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЙ, ВЫЯВЛЯЕМАЯ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

О.Ю. Лаврова, М.И. Митягина, К.Д. Сабинин, А.Н. Серебряный
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: olavrova@iki.rssi.ru

Представлены результаты совместного использования спутниковых и натуральных наблюдений тонкой пространственной структуры течений в прибрежной зоне Чёрного моря. Исследование тонкой пространственной структуры течений проводилось на основе поведения и перераспределения в них плёнок поверхностно-активных веществ, которые гасят мелкомасштабную составляющую волнения и тем самым образуют на морской поверхности области выглаживания — слики. Сливовые полосы, которые хорошо проявляются на спутниковых радиолокационных изображениях в виде темных полос, по нашим представлениям формируются в зонах конвергенций течений. Для оценки трёхмерного строения тонкой пространственной структуры течений проводились подспутниковые измерения с помощью ADCP. Анализ данных выявил наличие в толще воды струй, выход на поверхность которых связан с положением сликовых полос.

Рассмотрена также тонкая пространственная структура течений внутри и вне прибрежных вихрей, регулярно наблюдаемых в прибрежной зоне северо-восточной части Чёрного моря.

Проведены оценки пространственных и временных характеристик выявленных структур и сделаны предположения об источниках их генерации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-00428-а). Спутниковые радиолокационные данные предоставлены Европейским космическим агентством в рамках проектов С1Р.6342, АОВЕ 2775 и С1Р.1027.

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОКЕАНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ

Д.М. Ермаков^{1,2}, *М.Т. Смирнов*¹

¹ Фрязинский филиал ИПЭ им. В.А. Котельникова РАН

² Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: dima@ire.rssi.ru

Теоретическое моделирование и натурные эксперименты показывают, что мелкомасштабное поверхностное волнение является одним из важных факторов, обуславливающих корреляционную связь между данными дистанционных наблюдений океана в видимом и микроволновом спектральных диапазонах. Эта связь дает основание для разработки специальных методов совместного анализа оптических и микроволновых данных ДЗ океана, ориентированного на две важные задачи: оценку «искажающего» вклада волнения в регистрируемое восходящее от поверхности океана излучение и оценку параметров волнения. Сложность совместного анализа заключается в том, что проявления вариаций поверхностного волнения в дистанционных данных имеют существенно нелинейный характер и возникают на фоне ряда других факторов, разрушающих корреляционную связь между данными разных типов. Применительно к спутниковым изображениям дополнительная сложность заключается в пространственных масштабах измерений, при которых характеристики поверхностного волнения нельзя считать постоянными (или слабо меняющимися) по всей области наблюдения.

Предложенная авторами методика совместного анализа спутниковых оптических и микроволновых изображений океана опирается на модель факторного анализа, но значительно трансформирует её с учётом физических представлений о формировании обрабатываемой матрицы данных. Общая идея состоит в том, что поверхностное волнение рассматривается как единственный генеральный фактор, распределенный неизвестным образом по области наблюдений и проявляющийся независимо в каждом пикселе пространственно совмещенных спутниковых изображений. Генеральный фактор обуславливает в каждом пикселе изображений лишь часть (априорно неизвестную) зарегистрированного сигнала, а другая часть определяется суммой действий всех независимых (характерных) факторов, имеющих каждый свое (также неизвестное) распределение по области изображений. Независимость факторов понимается в смысле пространственной некоррелированности их вкладов в спутниковые данные. С помощью специальных ограничительных предположений, отражающих физическую модель формирования матрицы данных, решаются две частные подзадачи факторного анализа: оценка факторной нагрузки и оценка фактора (применительно к генеральному фактору, т. е. пространственному волнению). Смысл первой подзадачи — расчёт чувствительности выбранного типа измерений (например, оптических) к вариациям волнения. Особенность авторского подхода в том, что факторная нагрузка полагается принципиально не постоянной, а зависящей от величины самого фактора, что позволяет ввести в факторную модель нелинейность. Вторая подзадача (оценка фактора) соответствует расчёту «искажающего вклада» волнения в дистанционные данные, т. е.

представления последних в виде простой суммы двух величин, первая из которых обусловлена только действием волнения, а вторая — совокупным действием остальных факторов (например, для оптических данных — биогеохимическим составом толщи воды).

В докладе приводятся результаты тестирования предложенной методики с помощью численного моделирования, а также апробации на архивных данных спутникового сканера цвета SeaWiFS и микроволнового спутникового сканера SSM/I. Результаты численного моделирования свидетельствуют о перспективности авторского подхода для совместного анализа данных, если имеют место указанные выше специфические ограничения. При анализе реальных спутниковых данных возникают дополнительные методические трудности, анализ которых дан в докладе. Дальнейшая работа по развитию методики будет направлена на преодоление этих трудностей и накопление статистически достоверных результатов совместной обработки спутниковых данных.

ЧЁРНОЕ И АЗОВСКОЕ МОРЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ (1982–2009 гг., СПУТНИКОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ)

А.И. Гинзбург, А.Г. Костяной, Н.А. Шеремет

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

E-mail: sheremet@ocean.ru

Исследование сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности (ТПМ) взаимосвязанных Чёрного и Азовского морей выполнено на основе спутниковых массивов проекта PATHFINDER (еженедельные значения с пространственным разрешением 4 км, quality 5) в период 1982–2009 гг. В Чёрном море анализ выполнен как для моря в целом, так и для трёх его регионов: прибосфорского, северо-восточного и прикерченского; в Азовском — для двух открытых регионов моря: центрального (с глубинами более 10 м) и западной части Таганрогского залива (с глубинами более 5 м) в навигационный период (апрель–ноябрь).

Установлено дальнейшее (по сравнению с нашим предшествующим анализом изменчивости ТПМ до 2006 г.) потепление Чёрного моря. Среднегодовая температура воды в море в целом, не превышавшая в 1982–1993 гг. 15 °С, в 2007–2009 гг. увеличилась до ~16 еС. Положительный тренд среднегодовой ТПМ в Чёрном море в целом за весь рассматриваемый период оказался равным ~0,06 °С/год, а в его прибосфорском, северо-восточном и прикерченском регионах — ~0,05; 0,06 и 0,08 °С/год соответственно. В период с апреля по ноябрь, для которого имеются спутниковые данные по Азовскому морю практически без пропусков, этот тренд составил ~0,07 °С/год в Чёрном море и был существенно меньшим в Азовском море: ~0,03 °С/год в его центральной части и ~0,02 °С/год в Таганрогском заливе. Сезонный ход в центральной части Азовского моря отличается от такового в Таганрогском заливе: в период весеннего прогрева (осеннего выхолаживания) ТПМ в нем ниже (выше), чем в более мелководном заливе, а максимальная летняя температура выше. Самая высокая температура в центральном регионе наблюдается в 60 % случаев в августе, в заливе в 57 % случаев — в июле (в Чёрном море в 82 % случаев — в августе). В отличие от периода 1945–1986 гг. с отрицательными трендами температуры в июле–сентябре (по данным береговых станций), в 1982–2009 гг. тренд ТПМ в обоих открытых регионах Азовского моря в эти месяцы (и в другие месяцы

навигационного периода) был положительным, с ростом ТПМ (в среднем) примерно с середины 1990-х гг. Зима 2006 г. с наиболее низкими зимними ТПМ в Чёрном море в 2000-х гг. была наиболее суровой, судя по опубликованным данным, и в Азовском море.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-00097).

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА АРАЛЬСКОГО МОРЯ В 1982–2009 гг. ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

А.И. Гинзбург, А.Г. Костяной, Н.А. Шеремет

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

E-mail: sheremet@ocean.ru

За антропогенный период (с 1961 г.) произошли существенные изменения морфометрических параметров Аральского моря: его суммарная площадь сократилась с 66 400 км² в 1961 г. до 10 400 км² в 2008 г. (в основном за счёт мелководной восточной части); к 1989 г. Малое море отделилось от Большого, и с 2005 г. наблюдается заметный рост его уровня; к 2001 г. произошло фактическое разделение Большого моря на западную и восточную части, соединяющиеся лишь узким проливом на севере. Таким образом, в настоящее время Арал представляет собой три раздельных водоема со своими собственными гидрологическими режимами. Эволюция температуры поверхности моря (ТПМ) этих водоемов в период 1982–2009 гг. исследована на основе еженедельных данных проекта Pathfinder (quality 3; пространственное разрешение 1 км, разрешение по температуре 0,1 °С), основанных на измерениях AVHRR-радиометров спутников NOAA.

Выявлены региональные особенности эволюции сдвига весенней и осенней температурных фаз сезонного цикла по сравнению с условно-естественным периодом. В западной части Большого Арала итоговый сдвиг обеих фаз к 2009 г. составил примерно месяц в сторону их более раннего наступления, причём наибольшие сезонные сдвиги в этом направлении произошли до 1993 г.; после 1993 г. имел место сдвиг весенней фазы в том же направлении, а осенней — в противоположном. Характер эволюции сезонного цикла ТПМ в относительно глубоководной части Малого моря в 1982–2009 гг. был примерно таким же, как и в западной части Большого, хотя весеннее потепление в этом более северном бассейне в 1994–2009 гг. начиналось несколько позже, а осеннее выхолаживание — раньше. Итоговый сдвиг весенней и осенней температурных фаз в усыхающем восточном Арале к 2009 г. составил примерно 40 и 35 дней соответственно. Максимумы летних ТПМ во всех трёх бассейнах к 2009 г. сместились с середины августа на вторую половину июля. В течение всего периода 1982–2009 гг. (1982–2006 гг. для восточной части Большого Арала) происходило увеличение максимальной летней температуры, причём с начала 1990-х гг. и до 2006 г. летний максимум ТПМ в восточной части Большого Арала был выше, чем в западной.

Прослежена динамика среднемесячных значений ТПМ в теплое время года. По сравнению с 1950-ми гг. в 2001–2009 гг. она увеличилась в мае примерно на 5 °С в Малом море и западной части Большого Арала и на 7 °С в его восточной части; в августе ТПМ возросла примерно на 1 и 0,5 °С в Малом море и в западном водоеме соответственно, тогда как в восточном бассейне она уменьшилась на 0,7 °С; средняя за ноябрь температура практически не изменилась в Малом море, уменьшилась примерно на 2,5 °С в западном водоеме и на 4,8 °С в оставшейся восточной части Большого моря. Годовой размах среднемесячных ТПМ в Большом море к 2009 г. превысил

28 °С (с учётом понижения температуры замерзания гиперсолёных вод). Выявленные изменения в температурном режиме Аральского моря хорошо согласуются с прогнозами, сделанными в 1950–1980-х гг. в связи с ожидаемым усыханием Арала. Это позволяет полагать, что наблюдаемая эволюция ТПМ в Арале обусловлена в основном уменьшением его глубины (и теплозапаса). Дополнительным фактором явилось, возможно, потепление в среднеазиатском регионе, наблюдающееся с 1960-х гг.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-00097).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ ВОЛН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

О.В. Шомина², С.А. Ермаков¹, И.А. Капустин¹, Т.Н. Лазарева¹

¹ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

² Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
E-mail: kia@hydro.appl.sci.nnov.ru

Затухание гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) в присутствии турбулентности является классической гидродинамической задачей, которая имеет и важные геофизические приложения, одно из которых связано с проблемой формирования радиолокационного и оптического изображения следа надводного судна на морской поверхности. Несмотря на важность проблемы гашения поверхностных волн турбулентностью, наблюдается явный недостаток соответствующих теоретических и экспериментальных работ. Что касается последних, то представляется весьма затруднительным сделать однозначные выводы относительно зависимостей коэффициентов затухания от характеристик волн и турбулентности. Это, помимо, связано с неутраченным влиянием на волны краевых течений сложной структуры, возникающих из-за ограниченности области генерации турбулентности и сильно маскирующих эффект подавления волн собственно турбулентностью. В настоящей работе разработана принципиально новая методика проведения экспериментов и выполнены первые исследования затухания волн на турбулентности. Изучалось гашение турбулентностью стоячих ГКВ, параметрически возбуждаемых в кювете, установленной на вибростенде. Для возбуждения поверхностных волн и турбулентности использовался двухчастотный режим (сумма двух гармонических колебаний); высокочастотный сигнал малой амплитуды — для параметрического возбуждения волн, низкочастотный сигнал большой амплитуды — для возбуждения турбулентности при обтекании перфорированной пластины. Коэффициент затухания волн определялся по порогу их возбуждения, а параметры турбулентности — с использованием методик PIV и PTV. Получены зависимости коэффициентов затухания ГКВ от частоты при различной интенсивности турбулентности, сделаны оценки величины турбулентной вязкости и проведено сравнение с оценкой в рамках полуэмпирической теории турбулентности (ПТТ). Получено хорошее согласие различных оценок, что свидетельствует об адекватности использования ПТТ для описания эффектов гашения ГКВ турбулентностью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00634, 08-05-97011, 09-05-97019, 10-05-00101), Миннауки (госконтракт № 02.740.11.0566), программы ОФН РАН «Современные проблемы радиофизики», проекта IPY THORPEX.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СПЕКТРА ГКВ, ПОЛУЧЕННАЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ РАДИОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

И.Н. Садовский^{1,2}, *А.В. Кузьмин*¹

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Владимирский государственный университет

E-mail: [iia_nik_sad@mail.ru](mailto:iya_nik_sad@mail.ru)

Определение формы спектра ветрового волнения в гравитационно-капиллярном интервале волновых чисел является одной из наиболее сложных задач в исследовании поверхности океана. Знание параметров гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) и влияния на них различных факторов в природных условиях имеет огромное значение как для решения фундаментальных задач, связанных с изучением процессов в системе океан – атмосфера, так и для широкого спектра прикладных задач, наиболее показательной из которых является правильная интерпретация данных дистанционного зондирования Мирового океана микроволновыми средствами из космоса. За последние десятилетия был проведен ряд экспериментов с целью получения соответствующих данных с помощью оптических и радиолокационных методов, однако значительный разброс полученных результатов не позволяет оценить ситуацию в этой области как удовлетворительную. Расхождение предсказаний различных моделей ветрового волнения и опубликованных результатов экспериментальных измерений как в бассейнах, так и открытом море, очень велико для волн короче 10 см, а оценки спектральной плотности отличаются на порядок величины и более.

В настоящей работе представлены предварительные результаты разработки эмпирической модели спектра ветровых ГКВ. Модель охватывает диапазон волновых чисел от 0,31 до 40,0 рад/см и может использоваться для модельных оценок ненаправленного спектра кривизны развитого волнения в диапазоне скоростей приповерхностного ветра от 3,0 до 12 м/с. Отличительной особенностью представленной модели является то, что при её разработке использовались данные дистанционной диагностики состояния водной поверхности. Метод нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии (НРПС), разработанный в ИКИ РАН, основан на резонансном характере излучения коротковолновых компонент ветровых волн и позволяет восстанавливать параметры спектра ГКВ на основе данных дистанционных измерений характеристик частично поляризованного собственного излучения морской поверхности.

Разработанная модель основана на результатах статистической обработки обширного банка данных микроволнового зондирования, накопленного коллективом ИКИ. В частности, в него вошли результаты трёх лет натурных исследований с океанографической платформы «Кацивели» (данные натурных экспериментов серии CAPMOS 2005, 2007 и 2009 гг.).

Помимо этого, в работе представлены результаты сравнения различных модельных оценок спектральных характеристик ветровых волн в гравитационно-капиллярном интервале. Разработанная модель спектра ГКВ демонстрирует не только значительно большие (в два и более раза, в зависимости от рассматриваемой скорости приповерхностного ветра) значения в области второго спектрального максимума, но и инвариантность его положения к интенсивности ветрового потока. Объяснением значительных расхождений в предсказаниях разработанной и существующих моделей волнения являются, в первую очередь, использование данных измерений в естественных

условиях, а также привлечение дистанционного метода диагностики состояния морской поверхности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-05-00890-а, 09-02-00780-а, 09-05-10075-к, 10-02-10019-к, 10-05-10054-к) и гранта Президента РФ № МК-927.2009.2.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

АЛГОРИТМ АВТОНОМНОГО ВЫБОРА МЕСТА ПОСАДКИ КА «ФОБОС-ГРУНТ» ПО ТЕЛЕВИЗИОННЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Б.С. Жуков, С.Б. Жуков

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: bzhukov@nserv.iki.rssi.ru

При посадке КА «Фобос-Грунт» на поверхность Фобоса по изображениям, получаемым широкоугольной телевизионной камерой (ШТК), входящей в состав телевизионной системы навигации и наблюдения, будет строиться и передаваться в бортовой вычислительный комплекс (БВК) карта неоднородности поверхности, по которой в БВК может определяться пригодность места посадки, прогнозируемого по текущим траекторным измерениям, а в случае его непригодности — приниматься решение о перенацеливании КА на наиболее ровный участок заданного размера в поле зрения ШТК. Карта неоднородности строится по признаку относительной дисперсии яркости изображения с дополнительным учётом наличия теней и близости крупных неоднородностей. С этой целью обработка изображений ведётся в движущемся окне, размер которого соответствует требуемому размеру посадочной площадки (~10 м) и подстраивается при снижении КА. Для более точного определения оптимального места посадки анализ проводится с перекрытием окон, которое увеличивается при снижении КА. На малых высотах проводится дополнительное заглубление изображений для того, чтобы избежать влияния текстуры реголита на контраст изображений.

Бортовое программное обеспечение, реализующее данный алгоритм, написано на языке Си. Время выполнения операций по построению карты неоднородности на процессоре ADSP-21060 ШТК с тактовой частотой 24 МГц составляет около 0,1 с. Карта неоднородности передается в БВК наряду с репортажным кадром и результатами измерения высоты и бокового смещения один раз в 6 с.

Алгоритм отработан по реальным изображениям Фобоса, Луны и Марса высокого разрешения, а также по модельным изображениям шероховатых поверхностей.

ВЛИЯНИЕ АПРИОРНОЙ МОДЕЛИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАРСИАНСКОГО АЭРОЗОЛЯ, ВОССТАНАВЛИВАЕМЫЕ ИЗ ДАННЫХ СПЕКТРОМЕТРА OMEGA МИССИИ MARS-EXPRESS

*Б.С. Майоров*¹, *А.В. Васильев*², *Ж.-П. Бибринг*³

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Санкт-Петербургский государственный университет

³ Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay, France

E-mail: Bogdan.Mayorov@iki.rssi.ru

На основе разработанного авторами алгоритма из данных лимбовых режимов наблюдения спектрометра OMEGA европейской миссии Mars-Express восстанавливались высотные профили микрофизических параметров марсианского аэрозоля (вертикальные профили концентрации и радиуса аэрозольных частиц для различных марсианских сезонов, широт и местных времён).

Для анализа использовались данные одновременно 12 «аэрозольных каналов» (диапазон длин волн от 0,4 до 3,5 мкм). Моделирование переноса излучения в атмосфере Марса осуществлялось на базе известного радиационного кода SCATRD (в основе расчёта — метод статистического моделирования Монте-Карло, позволяющий учесть многократное рассеяние излучения в сферической атмосфере). Восстановление аэрозольных параметров выполнено на основе предложенной авторами модели, в которой минимизировано количество микрофизических параметров для описания аэрозоля.

В данной работе исследованы зависимости получаемых высотных профилей от различных априорных предположений и параметров применённой модели. А именно, рассмотрено влияние на результат следующих предположений:

- доминирование одной аэрозольной фракции на всех высотах (фиксированность химического состава): рассмотрены водяной лёд и пыль из популярной полумпирической модели MarsDust и показано решающее значение выбора аэрозольного вещества для восстановления параметров аэрозоля;
- выбор одинакового для всех высот одномодового модифицированного гамма-распределения аэрозольных частиц по размерам (с $\gamma = 0,5$ и $\alpha = 1,5$): результирующие профили эффективных размеров частиц слабо чувствительны к вариациям параметра α (отвечающего за ширину функции распределения; вариации в пределах от 1,0 до 2,0);
- фиксированное спектральное альbedo поверхности планеты: рассмотрена зависимость результатов от вариации альbedo поверхности от 0,2 до 1,0 на примере 8-го аэрозольного канала (длина волны 1,256 мкм);
- сферичность формы частиц аэрозоля: при расчётах на основе известного метода Т-матриц (Мищенко М.И.) с использованием вытянутых сфероидальных частиц с отношением осей 1/2 (равных по объёму сферам) результаты меняются слабо; степень влияния зависит от фазового угла;
- поле зрения прибора бесконечно узкое: у рассматриваемого прибора поле зрения в поперечном сечении имеет прямоугольную форму, но ввиду сложности рассмотрения это поле зрения было заменено полем зрения с круглым сечением, но с тем же телесным углом; зависимость результата от величины угла поля зрения в пределах ошибок не выявлена.

Таким образом, в используемой модели наиболее важен правильный выбор доминирующего аэрозольного вещества (т. е. выбор комплексного

показателя преломления). Поэтому при восстановлении необходимо априорное детальное исследование спектров с целью надёжной идентификации аэрозольного материала.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАКОВ ВЕНЕРЫ ИЗ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ АМС «ВЕНЕРА-13»

*И. Мельникова*¹, *Б. Майоров*²

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

² Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: Irinna.Melnikova@pobox.spbu.ru

Рассмотрены данные измерений АМС «Венера-13». Представлены вертикальные и спектральные зависимости. Произведена обработка данных с применением асимптотических формул теории переноса излучения и получены значения оптической толщины и альbedo однократного рассеяния. Получены первые результаты. Оказалось, что данные измерений на соседних уровнях измерений по высоте не всегда позволяют определить значения оптических параметров между уровнями измерений. Дополнительное сглаживание исходных данных улучшает результат восстановления искомых параметров.

ДВУОКИСЬ СЕРЫ НАД ОБЛАКАМИ ВЕНЕРЫ: ИЗМЕРЕНИЯ ПРИБОРОМ SPICAV/SOIR С БОРТА КА «ВЕНЕРА-ЭКСПРЕСС»

Д. Беляев^{1,2}, *Ф. Монтмессан*¹, *Э. Марк*¹, *Ж.Л. Берто*¹,

*А. Фёдорова*², *О. Кораблёв*²

¹ Лаборатория LATMOS (Центр научных исследований Франции CNRS)

² Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: dbelyaev@iki.rssi.ru

Двуокись серы (SO₂) играет одну из ключевых ролей в структуре облаков Венеры, состоящих из капель серной кислоты и полностью покрывающих планету. Изменения содержания SO₂ в надоблачном слое (высоты > 65 км) являются индикатором фотохимических реакций в атмосфере, а также возможной геологической активности на поверхности. За 40 лет измерений концентрации SO₂ над облаками Венеры (в основном, наблюдения в надири на дневной стороне) были обнаружены годовые вариации относительного содержания газа (от 0,01 до 0,5 ppm). Для объяснения причин такого поведения необходимо зондирование как высотных, так и широтных профилей двуокиси серы над облаками, а также исследование изменения содержания газа со временем суток.

С 2006 г. с борта орбитального аппарата «Венера-Экспресс» спектрометр SPICAV/SOIR осуществляет зондирование атмосферы Венеры в режимах солнечного затмения (просвечивания) и в надири. В данной работе мы представляем результаты затменного эксперимента в полосах поглощения SO₂: 4 мкм на высотах 70–80 км (прибор SOIR) и 215 нм на высотах 90–100 км (SPICAV). В нижней части профиля относительное содержание двуокиси серы изменяется в пределах 0,02–0,1 ppm; в верхней области наблюдается увеличение содержания от ~0,1 ppm на 90 км до ~1 ppm на 100 км. В работе также представлены результаты измерений спектрометра

SPICAV в надир в газовой полосе 215 нм на уровне верхней границы облаков (70–73 км). Анализ альbedo облаков Венеры при отражении и рассеянии солнечного излучения показал, что содержание SO_2 уменьшается с широтой от 0,5 ppm на экваторе до 0,02 ppm на полюсе.

Работа выполняется при поддержке Национального центра исследований космоса (CNES) во Франции и гранта РФФИ № 08-02-01383 в России.

КАЧЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ ЮПИТЕРА НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ПЕРВОГО РОДА

В.А. Татарченко

Saint-Gobain Crystals

E-mail: vitali.tatartchenko@orange.fr

Предлагается качественная модель, объясняющая особенности цвета Юпитера и природу его красных пятен. Основой этой модели является новый физический эффект — инфракрасное характеристическое излучение (ИКХИ) фазовых переходов первого рода (конденсации, кристаллизации и сублимации — в нашем случае). При фазовом переходе первого рода ИКХИ испускается частицей (атомом, молекулой или кластером) в процессе её перехода из метастабильной фазы (пар или жидкость) в устойчивую фазу (жидкость или кристалл). Частота ИКХИ определяется как величиной скрытой энергии фазового перехода, так и характером связей, образуемых частицей в новой фазе, и обычно соответствует инфракрасному диапазону.

Предлагаемая модель вкратце сводится к следующему. Газообразные компоненты, нагретые в нижних слоях атмосферы планеты, поднимаются вверх в результате конвективной циркуляции. Здесь некоторые из них (главным образом, пары воды и аммиак) конденсируются, замерзают и сублимируют (кристаллы этих веществ обнаружены здесь) с испусканием неравновесного ИКХИ, которое смещает видимый цвет планеты в длинноволновую область. Красные пятна Юпитера являются устойчивыми атмосферными вихрями с более интенсивными процессами испускания ИКХИ в результате конденсации, кристаллизации и сублимации.

НАБЛЮДЕНИЯ ДНЕВНОГО СВЕЧЕНИЯ КИСЛОРОДА В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА СПИКАМ НА КА МАРС-ЭКСПРЕСС

*С.А. Гусякова¹, А.А. Фёдорова¹, О.И. Кораблёв¹, Ж.Л. Берто²,
Ф. Монтмессан²*

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Лаборатория LATMOS (Центр научных исследований Франции CNRS)

E-mail: guslyakova@iki.rssi.ru

Эксперимент СПИКАМ на борту КА «Марс-Экспресс» проводит зондирование марсианской атмосферы в ультрафиолетовом и ближнем ИК-диапазоне. Инфракрасный спектрометр работает в диапазоне 1–1,7 мкм с разрешением $3,5 \text{ см}^{-1}$ в режиме надирных и лимбовых наблюдений, а также солнечных и звездных затмений.

Лимбовые наблюдения интересны тем, что позволяют получать вертикальные распределения атмосферных компонент. Малые составляющие атмосферы Марса играют важную роль в климате планеты. С точки зрения

фотохимии планеты большой интерес представляет исследование пространственных и временных вариаций озона и водяного пара. Это связано с вопросом стабильности марсианской атмосферы, который за последние двадцать лет рассматривался множеством фотохимических моделей. В докладе представлены результаты восстановления вертикального распределения озона по дневному свечению молекулярного кислорода в полосе 1,27 мкм, и проведено их сравнение с распределением озона, предсказанным последними фотохимическими моделями. Вторая часть доклада посвящена анализу надирных наблюдений свечения молекулярного кислорода, полученных за три с половиной марсианских года. Из сравнения с теоретическим распределением этого свечения, было получено более точное значение для скорости реакции столкновительной дезактивации возбужденных молекул кислорода углекислым газом.

ОДНОМЕРНАЯ МИКРОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ОБЛАКОВ В АТМОСФЕРЕ МАРСА

А.В. Бурлаков, А.В. Родин

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: burlakov_alex@gmail.com

Рассматривается одномерная численная модель микрофизических процессов в марсианских облаках водяного льда с разрешенным на сетке двухмоментным распределением по размерам, учитывающая седиментацию и турбулентную диффузию. Частицы пыли, взвешенной в атмосфере Марса, играют в модели роль ядер конденсации. На основе переменных температурных профилей, рассчитанных при помощи модели общей циркуляции атмосферы Марса, получен суточный цикл конденсационных процессов в атмосфере. Характерный размер ледяных частиц составляет 1–2 мкм в нижней части облачного слоя и 0,2–0,3 мкм — на высотах 50–60 км, что хорошо согласуется с данными эксперимента по солнечному просвечиванию в ближнем ИК-диапазоне СПИКАМ на борту КА «Марс-Экспресс». В приповерхностном инверсном слое при определенных значениях параметров формируются туманы. В работе исследована зависимость конденсационных процессов и макроскопических параметров облачного слоя от микрофизических свойств аэрозолей, в частности, от угла смачивания ядер конденсации, с учётом новых экспериментальных данных об адсорбционных свойствах минералов при низких температурах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН МЕТОДОМ АНАЛИЗА ПОРОГОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ НА ОСНОВЕ РАДИОЗАТМЕННЫХ ДАННЫХ О ТЕМПЕРАТУРЕ В АТМОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ И МАРСА

В.Н. Губенко, А.Г. Павельев, Р.Р. Салимзянов, В.Е. Андреев, А.А. Павельев

Фрязинский филиал ИПЭ им. В.А. Котельникова РАН

E-mail: vngubenko@gmail.com

Разработана оригинальная методика определения параметров внутренней гравитационной волны (ВГВ) по измерению индивидуального вертикального профиля температуры в атмосферах планет земной группы. Эта методика

может быть использована при анализе высотных профилей, измеренных любыми способами.

Сформулирован и обоснован критерий идентификации ВГВ, в случае выполнения которого наблюдаемые флуктуации температуры могут рассматриваться как волновые проявления. Методика базируется на анализе относительных амплитудных порогов волнового поля температуры, а также на положении линейной теории насыщенных ВГВ, согласно которому амплитудные пороги ограничиваются процессами динамической (сдвиговой) неустойчивости атмосферы. Предполагается, что когда амплитуда внутренней гравитационной волны достигает предела сдвиговой неустойчивости по мере распространения волны вверх, диссипация волновой энергии происходит таким образом, что амплитуда ВГВ поддерживается на уровне порога атмосферной неустойчивости. Применение методики к вертикальным профилям температуры, восстановленным в радиозатменнных экспериментах, дало возможность идентифицировать ВГВ в атмосферах Венеры и Марса и определить величины ключевых волновых параметров, таких как собственная частота, амплитуда вертикальных и горизонтальных возмущений скорости ветра, вертикальная и горизонтальная длина волны, собственная вертикальная и горизонтальная фазовая (групповая) скорости, кинетическая и потенциальная энергия волн, вертикальные потоки волновой энергии и горизонтального импульса. Представлены и обсуждаются результаты исследования внутренних гравитационных волн, полученные на основе анализа температурных данных радиозондирования атмосфер Венеры и Марса с помощью спутников «Венера-15 и -16», Magellan и Mars Global Surveyor.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЧАСТИЧНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДИНАМИКИ ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ШАПКИ МАРСА ПО ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ ПРИБОРА «ОМЕГА»

Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, В.В. Егоров, В.А. Котцов, М.В. Стальная
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: Balter@mail.ru

Цель работы — моделирование временной динамики гиперспектральных данных. Этот вопрос мало исследован, потому что длинных временных рядов гиперспектральных данных почти нет: полоса пространственного захвата гиперспектрометра намного меньше, чем у других средств ДЗ, и перекрытие разновременной съёмки происходит редко. Мы пользуемся данными, полученными для Марса гиперспектрометром «Омега» на аппарате «Марс-Экспресс» за период 2004–2010 г.

Поскольку почти все орбиты проходят недалеко от полюсов, наложенные трасс происходят автоматически и в диапазоне широт $-80...-90^\circ$ имеется 1000–1500 пригодных для обработки трасс. Для Земли гиперспектральных рядов сравнимой длины нет, и они не представляли бы интереса из-за приполярной облачности. Для Марса же этой проблемы нет, а, кроме того, полярные шапки представляют собой интересный сложный объект с, пожалуй, наиболее богатой сезонной динамикой на всей планете. Однако есть другая проблема: обилие пропусков данных, гораздо большее, чем в обычных задачах анализа временных рядов. Это связано с отсутствием съёмки в течение примерно половины времени (полярная ночь), а также с тем, что через каждую точку проходят не все 1000–1500 орбит, а в разы меньше. Мы же ставим себе цель построить полную модель динамики Южной полярной шапки (ЮПШ), т. е. обеспечить полное пространственное покрытие в за-

данном районе (обычно $-80...-90^\circ$) и полное временное покрытие, т. е. интерполировать динамику и на те периоды, когда съёмки нет. Эта задача достаточно трудна и интересна, и результаты её решения, как нам представляется, могут быть ценны не только для планетологов, но и для обработки временных рядов гиперспектральных данных по Земле, которых будет становиться всё больше.

Проблема пропущенных данных взаимодействует с другой трудной проблемой — высокой размерностью данных в этой задаче: спектр в точке поверхности имеет размерность 352, а временной ряд спектральной линии одного вещества — более 1000. Мы сосредоточились на линиях твёрдого и газообразного CO_2 , которые наиболее динамичны. Большинство стандартных методов статистического анализа (например, основанные на методе максимума правдоподобия) в этой размерности и с пропущенными данными просто не работают, так как корреляционные матрицы вырождаются и теряют положительную определенность.

Мы использовали цепочку из трёх алгоритмов, каждый из которых устоячив к указанным проблемам: 1) проводилась кластеризация методом Кохонена для векторов — временных рядов указанных линий и получалось разбиение окрестности ЮПШ на области, имевшее осмысленную пространственную структуру; 2) для каждой точки указанной окрестности строилась регрессионная модель зависимости глубины указанной линии от фазы сезона, она служила начальным приближением для более тонкого анализа с помощью фильтра Калмана. 3) к каждому из пространственных кластеров применялся современный тип фильтра Калмана — многочастичный фильтр, хорошо работающий с нелинейностями. Он применялся в дуальном режиме: как для обучения нелинейной зависимости глубины линии от фазы сезона, так и для собственно фильтрации на основе указанной зависимости. Фильтрация и есть способ интерполяции модели динамики на зоны пропуска данных.

Итоговая модель динамики ЮПШ получается в двух видах: «эйлеровом», при котором каждый кластер фиксируется в пространстве и меняет во времени свое состояние — глубину линий CO_2 — и «лагранжевом», при котором кластер дрейфует в пространстве соответственно изменению глубины линий во времени.

РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ДВУХЧАСТОТНОГО РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ВЕНЕРЫ

А.Л. Гаврик, Ю.А. Гаврик, Т.Ф. Копнина, Л.Н. Самознаев
Фрязинский филиал ИПЭ им. В.А. Котельникова РАН
E-mail: alg248@ire216.msk.su

Изучение особенностей распространения радиоволн в ионосферной плазме и разработка новых методов её исследования — актуальные задачи для планирования радиозатменных экспериментов в проекте «Венера-Д». В докладе представлены закономерности вариаций амплитуды, фазы и частоты радиосигналов, полученные при двухчастотном радиопросвечивании ионосферы Венеры с помощью спутников «Венера-15, -16», обсуждаются различия с данными аналогичных экспериментов.

Экспериментальная задача получения сведений об ионосфере Венеры методом двухчастотного радиопросвечивания требует анализа целого ряда факторов, так как распределение электронной концентрации с высотой над поверхностью планеты связано с измеряемыми параметрами радиосигналов

интегральными уравнениями. Обсуждается влияние флуктуаций частоты радиосигнала, обусловленных как шумами приёмной аппаратуры, так и вариациями параметров плазмы на трассе радиосвязи, на точность определения концентрации электронов и высотной протяжённости ионосферы. Обоснована допустимость использования сферически-симметричного приближения при решении обратной задачи радиопросвечивания ионосферы Венеры. Анализируется новое направление в интерпретации данных радиопросвечивания ионосфер — методика детектирования плазменных слоев, основой которой является теоретическая взаимосвязь рефракционного ослабления мощности зондирующей радиоволны с градиентом изменения частоты волны под влиянием ионосферы.

Работа выполнена при частичной поддержке программы ОФН РАН № VI.15 «Плазменные процессы в Солнечной системе» и проекта РФФИ (проект № 10-02-01015-а).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛОСЫ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ВБЛИЗИ 3 мкм: ВОДА ИЛИ ПРОТОНЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА?

Л.В. Старухина

Институт астрономии Харьковского национального университета
им. В.Н. Каразина, Украина

E-mail: starukhina@astron.kharkov.ua

Поиски воды на безатмосферных небесных телах представляют интерес как для понимания состава и эволюции этих тел, так и для осуществления длительных космических экспедиций. Высокие температуры при ударах водосодержащих комет о поверхность космических тел, а также летучесть водяного льда препятствуют отложению и сохранению молекул воды. Для их поиска в настоящее время использовались три метода дистанционного зондирования. Все они являются косвенными: в них обнаруживается не вода или лед H_2O , а его отдельные элементы или свойства. Так, повышенная яркость полярных областей, выявляемая в радарных наблюдениях Меркурия, означает лишь низкие диэлектрические потери поверхности, характерные, в частности, для силикатов при низких температурах; нейтронная спектроскопия (КА «Лунар Проспектор») выявляет распределение водорода, а поглощение света около 3 мкм, может означать лишь наличие гидроксильных групп ОН. Как водород, так и группы ОН могут быть результатом имплантации протонов солнечного ветра, которые связываются с кислородом мишени, как это неоднократно наблюдалось в лабораторных экспериментах.

Открытие полос поглощения около 3 мкм в инфракрасных спектрах различных участков лунной поверхности вызвало новый всплеск интереса к проблеме. Главный вопрос, который при этом возникает: является ли обнаруженное поглощение доказательством наличия воды на Луне или возможны другие интерпретации этих наблюдений? Одной из таких интерпретаций является химическое связывание протонов солнечного ветра в гидроксильные группы ОН.

Чтобы проверить, может ли накопление протонов солнечного ветра вызвать наблюдаемое поглощение, было проведено теоретическое моделирование модификации типичных спектров морской и материковой областей лунной поверхности под действием ионной имплантации.

Спектр поглощения ОН в аморфизованном слое силиката, содержащего различные катионы в разнообразных конфигурациях, квазинепрерывен,

поскольку спектральное положение максимума поглощения различно для ОН-групп, соседствующих с разными катионами, и зависит от расположения ближайших атомов. В различных облученных однокомпонентных оксидах максимум поглощения колеблется между 2,73 и 3,2 мкм. Для моделирования спектра отражения были взяты 10 субполос 2,78 (0,26); 2,82 (0,05); 2,86 (0,09); 2,9 (0,11); 2,94 (0,11); 3,01 (0,09); 3,06 (0,07); 3,12 (0,07); 3,18 (0,05); 3,25 (0,05) и 3,35 (0,03) мкм. (В скобках приведены весовые множители, соответствующие долям поглощения на указанных длинах волн.) Ширина каждой субполосы и величина удельного поглощения в максимуме были взяты такими же, как наблюдались в экспериментах по облучению SiO_2 .

Оказалось, что указанный набор субполос воспроизводит наблюдаемые спектры при концентрации ОН на единицу площади поверхности частицы грунта $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Это значение лежит между измеренным для образцов приэкваториального лунного грунта, и величиной насыщения, полученной в лабораторных экспериментах по облучению силикатов, которая может достигаться при низких температурах в полярных областях Луны.

Таким образом, наблюдаемые для лунного грунта глубины и форма полос поглощения света около 3 мкм могут быть вызваны химическим связыванием протонов солнечного ветра в отсутствие молекул воды.

Работа поддержана CRDF (проект № UKP2-2897-KK-07).

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИБЛИЖАЮЩИХСЯ К ОРБИТЕ ЗЕМЛИ АСТЕРОИДОВ 433 ЭРОС И 1627 ИВАР

Ф.П. Величко

Институт астрономии Харьковского национального университета
им. В. Н. Каразина, Украина
E-mail: fvelichko@ukr.net

В работе представлены результаты фотометрических наблюдений астероидов 433 Эрос и 1627 Ивар, которые приближаются к орбите Земли, имеют умеренное альbedo поверхности и по таксономической классификации относятся к S-типу. Наблюдения выполнены в BVRI стандартных спектральных полосах на 70-см рефлекторе института астрономии Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Вариации блеска 433 Эрос были измерены в августе 2009 г. на интервале времени около 5,5 ч при фазовом угле астероида $9,0^\circ$. Амплитуда кривой блеска в полосе R достигает 0,21 зв. вел. Вариации цвета V-R по поверхности астероида не превышают 0,02 зв. вел.

Кривая блеска астероида 1627 Ивар была получена во время нескольких его оппозиций в январе–феврале 1997, мае 2005 и марте 2010 г. при геометрии наблюдений, характеризующейся углом аспекта около 130° (наиболее южный аспект). По результатам наблюдений построена фазовая зависимость блеска в фильтре V, которая охватывает как область оппозиционного эффекта, так и линейную часть зависимости и характеризуется линейным коэффициентом $0,026 \pm 0,003$ зв. вел./град. Кривая блеска Ивара в ноябре 2008 г. имеет амплитуду 1,00 зв. вел. в фильтре V при угле фазы $10,25^\circ$ и близэкваториальном угле аспекта. Вариации цвета V-R по поверхности астероида не превышают 0,03 зв. вел. Сравнение фазовых зависимостей блеска Ивара, полученных при северной, экваториальной и южной

геометриях наблюдений указывает на то, что фотометрические свойства его поверхности различаются между собой в направлениях на север и на юг от экватора астероида.

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКЕ

GROUND DEFORMATIONS MONITORING BY PERSISTENT SCATTERER PAIRS (PSP) SAR INTERFEROMETRY

Mario Costantini¹, Francesco Trillo¹, Francesco Vecchioli¹, Alexander Vasileisky²

¹ E-GEOS — an ASI/Telespazio Company

² Design & Research Institute for Information Technology, Signaling and Telecommunication on Railway Transport (JSC «НИАС»), Moscow

E-mail: mario.costantini@{e-geos.it; gmail.com}; A.Vasileisky@gismps.ru

Synthetic aperture radar (SAR) interferometry is a powerful technology for measuring slow terrain movements due to landslides, subsidence, and volcanic or seismic phenomena. The extraction of this information is a complex task, because the phase of the signal is measured only modulo 2π and is affected by noise and systematic terms. The persistent scatterer (PS) approach brought important advances in the solution of this problem.

A new approach named persistent scatterer pairs (PSP) was recently developed for the identification of persistent scatterers in series of full resolution SAR images, and the retrieval of the corresponding terrain height and displacement velocity (Costantini M., Falco S., Malvarosa F., Minati F. A new Method for Identification and Analysis of Persistent Scatterers in Series of SAR Images // Proc. Int. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS). Boston MA, USA, 7–11 July 2008. P. 449–452). The PSP technique overcomes problems related to the presence of atmospheric and orbital artifacts in the signal by exploiting only the relative properties of neighboring points both for identification and analysis of PS, thus removing the need for model-based interpolations starting from a preliminary set of measurements obtained by radiometric or low resolution analyses. It does not require data calibration or pre-selection of radiometrically stable points, thus being robust to errors in the pre-selection phase and to density of pre-selected points.

The PSP method is characterized by the exploitation of redundant information, which makes for a very good robustness to noise. In particular, a new technique for robust finite-difference integration and phase unwrapping (which are key problems in SAR interferometry) was recently published. It uses redundant differential estimates (not only between nearest neighboring points) and multi-dimensional information (e.g. multitemporal, multi-frequency, multi-baseline), or external data (e.g. GPS measurements) (Costantini M., Malvarosa F., Minati F., A General Formulation for Robust and Efficient Integration of Finite Differences and Phase Unwrapping on Sparse Multidimensional Domains // Proc. ESA Fringe 2009 Workshop (ESA SP-677, also at <http://earth.eo.esa.int/workshops/fringe09>). Frascati, Italy, Nov.–Dec. 2009).

The PSP method has been extensively tested on real SAR data. The obtained results show that the proposed approach is very effective. In particular, it is expected to obtain a higher density of persistent scatterer measurements than previous techniques, at least in the cases where the atmospheric artefacts are not very well described by the models used in standard approaches. Moreover, the method

proved to be very robust to noise and disturbances. In this work we analyze the qualifying characteristics of the PSP method and show the results obtained in a large sample of cases.

In this work we also analyze the use of high resolution SAR data, both for the application of the PSP method and for SAR interferometry in general. In fact, the new X-band SAR missions provide SAR images characterized by a much higher resolution, opening new possibilities for SAR interferometry in a variety of applications. Thanks to the high resolution, a larger number of coherent points or persistent scatterers per unit area are typically found, resulting in more detailed and accurate measurements by means of SAR differential interferometry techniques, which is particularly important in monitoring of infrastructure objects applications.

OIL DEPOSITS MAPPING USING REMOTE SENSING / GROUND DATA AND PCI GEOMATICS TECHNOLOGIES

*M.A. Popov¹, S.A. Stankevich¹, S.P. Kovalchuk¹, A.I. Arkhipov¹, A. Kaushal²,
E. I. Levchik¹, O.V. Titarenko¹*

¹ Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, National Academy of

Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

² Rolta India Ltd, Mumbai, India

E-mail: mpopov@casre.kiev.ua

Long-term experience in world practice has demonstrated that remote sensing essentially increases efficiency of oil and gas exploration. The main tool for remote oil prospecting is the landscape optical field investigation. A scientific background for the oil deposits detection is the interaction between optical radiance and land covers (vegetation, soils), which provides the relevant information about oil prospectivity of explored area.

The landscape over oil deposit is designated by local variations of different parameters. The geophysical, geochemical and biochemical anomalies existence within oil-bearing patterns considered as proved. Inside these patterns, the alternation of high and low mechanical stress zones, intensive heat, liquid and gaseous fluids transfer presents. The low mechanical stress zones correspond to affected filtration properties of rocks, acid reduction and oxidation processes are propagated. Thereof, in such zones, the anomalies of geophysical, geochemical, biochemical fields are occurred. Their presences, certainly, condition the soil over oil fields, change a microbiological environment and provide particular specifics for plants growth. Accordingly, the vegetative cover modifies the self physiological and, hence, the optical features.

In remote sensing, the vegetation and soils act as detectors/amplifiers simultaneously for search signals. Such detectors can recognize very low drivers of environment due to cumulative effect. Thus, the vegetative cover collects the integral information about environment. This information can be registered remotely by optical reflective contrast between objects and background.

Quantitative analysis of optical anomalies intensity over oil deposit has demonstrated that general remote sensing typically is not suitable for their registration. For instance, the radiometric contrast between anomaly and background in 0.4–0.9 μm spectral band does not exceed sensitivity threshold of available systems for the Earth observation. There is a problem to detect the low contrast anomaly sites over oil deposit. It is necessary to integrate the processing of remote sensing data with geophysical data and ground spectrometry data to solve this problem.

Paper discusses various approaches to use the geoinformation technology for the oil deposits mapping using PCI Geomatics software.

The source data are prepared in the first step. Source data includes the multispectral imagery, digital elevations, and ground geophysical data. All data spatial regularization is fulfilled in the second step. Subsequently, the raster data cube integration is executed. In the end the vegetation ground spectrometry is carried for oil deposit borders detection.

To handle data cube, an application is being developed using software technologies from PCI Geomatics. The application uses the source data ingestion and its processing along with correct parameters and command options. Processing parameters are chosen within graphical user interface, designed in Python Tk graphic library.

To conclude, state of the art PCI Geomatics technologies provide the required support for oil deposits mapping using remote sensing and ground data.

АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ И НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ СТРУКТУР НА ТЕРРИТОРИИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

М.Г. Вахнин

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
E-mail: oilkominc@mail.ru

С использованием данных дистанционного зондирования были выделены линеаменты на территории Тимано-Печорской провинции. Полученные данные были объединены с геолого-геофизической информацией в геоинформационную систему для дальнейшей обработки и анализа.

В работе были использованы космические снимки, сделанные с помощью спутников LANDSAT-7. Данные были геопозиционированы в проекции Гаусса-Крюгера на эллипсоид Красовского в системе координат СК-42, десятая зона. Затем по элементам ландшафта выделялись прямолинейные участки (линеаменты).

Линеаменты и линеаментные зоны являются зонами (каналами) повышенной проницаемости земной коры. Они служат проводящими путями растворов и газов, как правило, более высокотемпературными по сравнению с поверхностью Земли [Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра, 1986. 144 с.]. Также в разломных зонах, особенно осадочных бассейнах, постоянно присутствует и перераспределяется флюидная система. Это приводит к возникновению интенсивных деформаций в разломных зонах, а, следовательно, выражению их в ландшафтных признаках, проявляющихся на космических изображениях в виде линеаментов [Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломных зон // Физика Земли. 2004. № 10. С. 95–111]. Поэтому облик линеаментов, выявляемых на космических изображениях, является генерализованным отражением на земной поверхности как деформаций, так и флюидного режима приповерхностных частей земной коры.

Для анализа была использована ГИС, реализованная на базе ArcGIS 9.2 и включающая в себя следующие карты: карты локальных структур, изученности сейсморазведочными работами и бурением, месторождений, структурные карты. Карта структур имеет в своем составе оцифрованные контуры структур с данными о глубине, отражающем горизонте (предполагаемом возрасте), морфологических характеристиках, состоянии структур (выявленных, подготовленных к бурению, опискованных бурением). Карта содержит основные тектонические границы и нефтегазоносные районы и области, месторождения.

После оцифровки линеаментов, расчёта длин и простираний были составлены таблицы длин и простираний линеаментов для различных тектонических элементов и на всей территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции в целом. Дополнительно было рассчитано значение анизотропии, где мерилум анизотропности распределения линеаментов является их векторная сумма.

Выявленные линеаменты были сопоставлены с установленными по данным сейсморазведки разломами и данными других геофизических методов. Были установлены закономерности между присутствием структур с залежами углеводородов, глубинными разломами и плотностью линеаментов. Значительное количество залежей расположено в непосредственной близости от глубинных разломов. Линеаменты, как правило, имеют доминирующее юго-западное и северо-восточное направление, хорошо согласующееся с планетарной трещиноватостью, которое обусловлено ротационным напряжением верхней оболочки земли.

Наибольшая плотность наблюдается вдоль таких глубинных разломов как Восточно-Тиманский, Припечорский, Восточно-Колвинский, Илыч-Чикшинский, Варандейский, Шапкинский глубинные разломы, которые считаются разломами прерывисто-непрерывного проявления. Также увеличение плотности линеаментов приурочено к местам пересечения глубинных разломов. Построенные роз-диаграммы показателей удельной плотности и анизотропии выбранных линеаментов на единицу площади на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции позволили выявить участки земной коры, отличающиеся по блоковой делимости, более нарушенные и, следовательно, более проницаемые. Данные участки совпадают с наиболее перспективными нефтегазоносными районами провинции.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что многие нефтегазоносные структуры отражаются в современных неотектонических процессах и пространственно связаны с линиями глобальной разрывной сети (линеаменты). Учёт данных закономерностей в региональных и поисковых работах позволит более эффективно заниматься разведкой месторождений углеводородов.

ВЫДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ НА ПОИСКИ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АЛМАЗОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ В УСЛОВИЯХ БОРЕАЛЬНОЙ ТАЙГИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Ю.Г. Кутинов, З.Б. Чистова, М.Ю. Гофаров

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск

E-mail: kutinov@iepn.ru

Район исследований характеризуется широким развитием растительного покрова, слабой расчлененностью и «молодостью» рельефа, большой мощностью четвертичных отложений (40–200 м). В совокупности с небольшими размерами трубок взрыва (200×200 м) это значительно затрудняет дешифрирование ДЗЗ для задач поиска кимберлитов.

При анализе пространственных закономерностей кимберлитового магматизма Архангельской алмазоносной провинции основное внимание уделялось выделению малоамплитудных тектонических дислокаций осадочного чехла. Был получен вывод, что в регионе реально выделить практически все тектонические нарушения.

Нами была проведена оценка связи трубок взрыва с тектоническим узлами. Для этой цели было подсчитано количество тел, приуроченных к узлам пересечения 2-х, 3-х, 4-х, 5-ти, 6-ти и более тектонических зон; определены площади, занимаемые узлами; оценена их перспективность в зависимости от количества пересечений. При этом получены следующие выводы: а) наиболее перспективными являются узлы с количеством пересечений 3 и более; б) трубки взрыва алмазонасных кимберлитов приурочены к пересечению, как минимум, 4-х разрывных нарушений, и общая площадь таких узлов на территории Зимнебережного кимберлитового района составляет всего 4,5 % (узлы, включающие 5 и более пересечений, занимают только 1,5 % площади).

Далее был проведен анализ площадной структуры растительного покрова в зависимости от степени дезинтеграции земной коры. Материалами для оценки пространственной гетерогенности растительного покрова послужили данные ДЗЗ (2 спектрзональных КС LANDSAT-7 за 18.07.2000 г. и 12.07.2001 г.). Перед дешифрированием была проведена цифровая коррекция данных для улучшения контрастности изображения (линейное растяжение и эквализация гистограмм). Для дешифрирования использовалось синтезированное изображение третьего (0,63–0,69 мкм) и четвертого каналов (0,75–0,90 каналов). Из-за 30-метровой разрешающей способности снимков реально наблюдаемым является интегральный спектр участка местности, сопоставимый с единичным пикселом снимка. Для анализа структуры растительного покрова использовался кластерный анализ ГИС-пакета GRASS 5.03. i.cluster и i.maxlik. В результате было выявлено, что растительный покров участков с небольшим числом тектонических пересечений (0–4) достаточно сходен и практически совпадает со средними значениями для всего Беломоро-Кулойского плато. В зонах с максимальной раздробленностью (5 и более) наблюдается изменение структуры растительности, выраженное в увеличении доли еловых лесов на 20 % по сравнению с другими территориями за счёт снижения доли мелколиственных лесов.

Таким образом, возможно выделение тектонических узлов, перспективных на поиски кимберлитов, с использованием данных среднемасштабных ДЗЗ по характеру растительного покрова.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08-05-99816_p_server_a) и Программы ОНЗ РАН № 9 «Межгеосферные взаимодействия», проект «Изучение процессов взаимодействия геосфер в активных геологических структурах на севере Русской плиты»

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПРОГРАММОЙ ALINA

М.В. Щенин

Softline, Москва

E-mail: scepin_m@mail.ru

В докладе представлен анализ возможности применения программного метода, реализованного в программе ALINA, для выявления предвестников землетрясений по результатам обработки изображений разновременных космических снимков исследуемого сейсмоактивного района, сделанных в период, предшествующий событию, исследуется динамика границ перепада яркости. Представлены несколько вариантов программной обработки, результаты которой могут быть использованы при среднесрочном про-

гнозе события, среди которых особо следует выделить индикацию динамики события с прогнозированием эпицентра по выявленным кольцевым структурам. Данные результаты получены при обработке изображений разновременных космических снимков MODIS сейсмоактивного района В Калифорнии, США.

ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЕЙ СЕЙСМИЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*Г.А. Соболев¹, Н.А. Закржевская¹, К.Н. Акатова¹, В.Г. Гитис²,
А.Б. Дерендаев², В.Д. Брагин³, Н. Сычёва³, С.И. Кузиков³*

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), Москва

² Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича, Москва

³ Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке

E-mail: Sobolev@ifz.ru

Изучена пространственно-временная динамика движений поверхности земной коры по данным GPS в сопоставлении с сейсмичностью по данным регионального каталога КНЕТ в пределах Бишкекского геодинамического полигона. Значительно усовершенствована сетевая ГИС GeoТайм 2.0, что позволило проанализировать в трёхмерном растре вариации полей сейсмичности и деформаций. Показано, что на территории полигона существует взаимосвязь полей сейсмичности и деформаций земной поверхности. В периоды экстремальных значений скорости сокращения или расширения размеров участков земной поверхности происходит усиление сейсмичности и возникают сильные землетрясения. В периоды экстремальных значений скорости поворота участков земной поверхности также происходит усиление сейсмичности и возникают сильные землетрясения. Увеличение пространственного градиента движений приповерхностных участков земной коры совпадает по времени с изменением азимутов осей сжатия, определяемым по механизмам очагов землетрясений, происходивших на глубинах до 25 км. Для улучшения геолого-геофизической интерпретации взаимосвязей полей деформаций и сейсмичности в пределах Бишкекского геодинамического полигона необходимо существенное улучшение пространственной системы пунктов спутниковой геодезии и повышения частоты сеансов измерений.

ЗОНЫ НЕУСТОЙЧИВОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Л.А. Латынина, Т.В. Гусева

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), Москва

E-mail: lat@ifz.ru; guseva@ifz.ru

В наше время получает развитие новая концепция проблемы прогноза землетрясений. Прогноз землетрясений имеет вероятностный характер и основан на информации о строении изучаемого региона, истории сильнейших землетрясений в его пределах и многих других геофизических факторах. Сильные землетрясения происходят в области, уже готовой к разрушению, т. е. в области неустойчивого состояния среды. Представление о землетрясении как фазовом переходе метастабильной среды в устойчивое состояние феноменологически соответствует особенностям развития сейсмического

процесса. Землетрясение готовится в литосфере многие тысячи лет, монотонно, без заметных проявлений этого процесса на земной поверхности. Сильное землетрясение происходит внезапно, на спокойном сейсмическом фоне, с выделением большого количества энергии. Существуют некоторые экспериментальные данные, трактуемые с точки зрения этих представлений. Изменения микросейсмического режима, которые были обнаружены перед сильнейшими Тихоокеанскими землетрясениями, Г.А. Соболев и его соавторы, связывают с неустойчивым состоянием среды на территориях континентального масштаба. В какой-то мере аналогичное явление наблюдалось на записях деформационных станций при сильнейшим за последние десятилетия Суматринском землетрясении 26.12.2004 г. В период до и после землетрясения произошла синхронизация длиннопериодических вариаций деформаций в диапазоне периодов от 2-х до 20 сут на большой территории, включающей очаг будущего землетрясения. Оба эти явления в разных частотных диапазонах могут быть связаны с неустойчивым состоянием земной коры в области подготовки будущего очага. Неустойчивое состояние среды способствует возникновению и синхронизации возникающих в её пределах колебаний. Это могут быть собственные колебания определенных структур, как в случае микросейсм, или вынужденные колебания, как в случае колебаний деформаций с периодами несколько суток. Причиной вынужденных колебаний земной поверхности на больших территориях могут быть крупномасштабные силовые источники в атмосфере, в ионосфере, в океане. Сделаны некоторые количественные оценки интенсивности и периодов деформационных колебаний, если их источником являются атмосферные возмущения. Интенсивные и синхронные колебания больших территорий можно рассматривать как показатель неустойчивого состояния среды, Они не являются прямыми предвестниками землетрясения, так как не связаны с процессами подготовки землетрясения. Но как показатель неравновесного состояния среды они с определенной степенью вероятности сигнализируют о возможности возникновения в данном районе сильного землетрясения. Представляется весьма интересным изучение природы этих колебаний с привлечением космических методов.

ИЗУЧЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ GRACE

М.А. Строчков

МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: mixastr@mail.ru

В настоящее время спутниковые данные используются для решения многих геофизических задач, в частности для выявления аномалий гравитационного поля Земли. На практике по аномалиям силы тяжести (АСТ) выявляются плотностные неоднородности и геологические структуры, скрытые осадками глубинные разломы, оценивается перспективность регионов на наличие рудных и углеводородных месторождений, а также ведётся их поиск и разведка. Космонавтика немыслима без учёта АСТ как при запусках искусственных спутников, так и при расчётах траекторий космических аппаратов, при пусках военных межконтинентальных баллистических ракет, при работе инерциальных навигационных систем подводных судов, при обнаружении ошибок инерциальных навигационных систем на геофизическом ориентире.

Изучение гравитационного поля Земли (ГПЗ) нуждается в проведении плановых съёмках поля с использованием современных технологий для обработки огромных массивов информации. Эти работы ведутся уже не одно десятилетие, что обеспечивает непрерывное совершенствование как модели поля в целом, так и его детализацию в отдельных районах. Особая роль в решении этой задачи играет миссия спутников-близнецов GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment), которые обеспечивают исследователей ежедневными данными по глобальному гравитационному полю Земли, отражающими перераспределение масс в оболочках планеты.

В докладе представлены назначения и принципы работы аппаратуры спутников-близнецов GRACE, которая осуществляет получение ежедневных данных по глобальному гравитационному полю Земли, отражающих перераспределение масс в оболочках планеты. Гравитационные вариации, исследуемые GRACE, включают в себя: изменения, происходящие на поверхности и в глубине океана, перемещения вод в горных массивах, изменения ледников и ледяных щитов и колебание масс внутри Земли.

Другая цель проекта GRACE — уточнить профиль земной атмосферы. Результаты, полученные от этого проекта, внесли огромный вклад в исследование Земли NASA, в Систему наблюдения за Землей (EOS — Earth Observing System) и в изучение изменений климата.

В докладе приведены некоторые научные результаты, полученные на основе анализа данных GRACE: объяснение гравитационной аномалии Канады; оценка изменения массы всех ледников Гренландии, происшедшего с апреля 2002 г. по апрель 2006 г.; обнаружение метеоритного кратера (Кратер Земли Уилкса) в Антарктиде диаметром около 480 км.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЕРИОД ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЛИНИЙ ВЫТЯНУТОСТИ РОЗ-ДИАГРАММ ЛИНЕАМЕНТОВ

В.Г. Бондур, А.Т. Зверев, А.Л. Булатова, Е.В. Гапонова
НЦ аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос», Москва
E-mail: office@aerocosmos.info

В результате ранее выполненных исследований было выявлено наличие предвестниковой цикличности в изменении парных отношений линеаментов разных направлений, что обусловлено изменением плана деформаций в связи с изменением поля напряжений в период подготовки землетрясения. Предвестниковый цикл возбуждения систем линеаментов начинается за 2–3 мес до землетрясения и заканчивается через 2–3 мес после него.

В данной работе изложены результаты исследования изменения среднего направления роз-диаграмм линеаментов в период подготовки землетрясения при помощи обработки по программе LESSA разновременных космических изображений. Розы и линии вытянутости роз строились при нулевом пороге. Проанализированы землетрясения в Калифорнии (2001 г., $M = 4,2$; 2003 г., $M = 5,2$; 6,5; 2004 г., $M = 6,0$; 2007 г., $M = 5,6$); Калининградской области (2004 г., $M = 4,5$); Перу (2004 г., $M = 5,2$); Иране (2003 г., $M = 6,0$); Чили (2010 г., $M = 7,2$); Мексике (2010 г., $M = 7,2$) и на Гаити (2010 г., $M = 7,0$).

Изменение направлений линий вытянутости роз-диаграмм линеаментов в период подготовки землетрясений наблюдалось в Калифорнии, Мексике, Чили, Перу и на Гаити. В остальных местах подобных изменений

выявить не удалось, возможно, это объясняется малым временным рядом подобранных космических изображений.

В преддверии землетрясения линии вытянутости роз-диаграмм линеаментов меняют ориентировку: в Калифорнии северо-западную на северо-восточную, т. е. поперечную к простираению разрыва Сан-Андреас; на Гаити продольные линии вместо разноориентированного приобретают субширотное направление; в Мексике вместо субширотных направлений начинают преобладать диагонально северо-западные и северо-восточные; в Чили вместо запад-северо-западных направлений возникают северо-западные; в Перу продольные линии приобретают устойчивое северо-восточное направление.

Изменение поля напряжений и обусловленное этим изменение плана деформаций в период подготовки землетрясения охватывает всю территорию, на которую анализировались космические изображения, т. е. площадь 400×400 км. Это подтверждает сделанные ранее выводы, о том, что при землетрясении радиус деформаций достигает многих сотен километров.

Работа проведена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГОРОДСКИХ ЛАНДШАФТОВ ПО СНИМКАМ LANDSAT-7 ETM+ (НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ)

М.Ю. Грищенко, Е.А. Балдина

МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: m.gri@mail.ru; eabaldina@yahoo.com

Несмотря на то, что эффект городского «теплового острова» (urban heat island) был впервые обнаружен ещё в начале XIX в., широкие возможности для его изучения появились только в конце XX в. с развитием дистанционного зондирования Земли в тепловом диапазоне. Вопросы изучения городских «тепловых островов» весьма важны, поскольку современное население Земли проживает преимущественно в городах. Однако, несмотря на важность вопроса, его изученность в России ещё крайне низка (в то время как учёными других стран, в первую очередь США, проведено значительное количество исследований в данной области, разработаны различные методики). При этом изучение сезонной динамики городских «тепловых островов» нечасто является темой исследований. В данной работе рассматриваются возможности применения космических снимков LANDSAT-7 ETM+ в тепловом инфракрасном диапазоне для исследования сезонной динамики «теплового острова» Москвы как наиболее значительного российского мегаполиса.

Для проведения исследования в общедоступных веб-архивах было отобрано 11 безоблачных снимков LANDSAT-7 ETM+ с изображением Москвы в разные сезоны 1999–2003 гг. Разработана методика анализа тепловых снимков, позволяющая выявить межсезонные различия теплового излучения городских объектов, которая включает следующие этапы:

1) предварительная обработка: приведение всех изображений к идентичным границам, построение гистограмм снимков и их анализ с учётом данных о погодных условиях на дату съёмки;

2) квантование полученных изображений на основе анализа гистограмм, применение операций синтеза разновременных изображений;

3) сопоставительный анализ полученных квантованных и синтезированных разносезонных изображений;

4) выделение участков с однотипным характером сезонной динамики и составление карты «тепловых зон» на территории Москвы.

В результате применения разработанной методики были выявлены закономерности формирования наиболее характерных черт сезонной динамики теплового излучения различных городских объектов (к примеру, водные объекты имеют максимум теплового излучения в конце осени – начале зимы в связи с высокой тепловой инертностью воды; промышленные объекты имеют высокий уровень теплового излучения практически во все сезоны года; леса и парки характеризуются отчётливым летним минимумом и т. д.).

Результатом работы явилась систематизация полученных сведений об изменениях теплового излучения основных типов городских объектов в течение года в виде карты «тепловых зон» Москвы, на которой выделено 4 класса и 11 подклассов объектов с различным характером сезонной динамики теплового излучения. Эти зоны имеют прямую связь с функциональными зонами города. Так, к примеру, активные промышленные объекты характеризуются в целом наиболее высоким уровнем теплового излучения в течение всего года, а леса и парки – наоборот – достаточно низким. При этом в пределах таких зон можно также выделить подзоны, в пределах которых обнаруживаются менее значительные особенности годового хода интенсивности теплового излучения.

Результаты работы показывают, что тепловые снимки открывают широкие возможности для изучения сезонной динамики теплового излучения городских объектов, тем более что это излучение можно увидеть только на таких снимках.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СНИМКОВ РАЗЛИЧНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ЧУЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ)

*В.А. Лямина¹, И.Д. Зольников¹, Н.В. Глушкова¹, А.Ю. Королюк²,
Е.Н. Смоленцева³*

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
Новосибирск

² Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

³ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск
E-mail: balandis@uiggm.nsc.ru

При исследовании природных систем какой-либо территории мы зачастую имеем дело с пространственной неоднородностью геолого-геоморфологической основы ландшафтов. В значительной степени она обусловлена существованием полигенетических типов четвертичных отложений, наряду с простыми генетическими типами. В таких случаях возникают проблемы выделения и разграничения в пространстве сложных геолого-геоморфологических образований, обуславливающих наличие пестрых, мозаичных природно-территориальных комплексов (ПТК). Особенно остро такие проблемы встают при использовании данных дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ) для картографирования рельефа, четвертичных отложений, ландшафтов. В работе рассматривается применение технологий ГИС и ДЗ для анализа гетерогенных комплексов четвертичных отложений и рельефа.

Территорией исследования для апробации технологического подхода выбрана Чуйская высокогорная котловина в Горном Алтае. Данный выбор обусловлен тем, что Чуйская котловина расположена в межгорной впадине, ограниченной горными хребтами, и поэтому она является достаточно автономной в морфолитогенетическом и ландшафтном аспектах территории.

Разработанная технология реализована на базе программных пакетов ENVI и ArcGIS, с использованием космических снимков среднего и мелкого пространственного разрешения (LANDSAT, SPOT, MODIS) и ЦМР (SRTM, ASTER) на различных эталонных полигонах Западной Сибири. Комплексная технология состоит из нескольких этапов.

1. *Анализ ЦМР.* Цифровые модели рельефа для Чуйской степи были построены на основе SRTM в двух вариантах: с шагом сетки 30 и 500 м (соответствие космоснимку LANDSAT и MODIS). На их основе были получены морфометрические классификации территории, как для обзорного, так и для среднемасштабного уровня.

2. *Анализ спектральных характеристик космоснимков.* Для анализа использовались каналы LANDSAT: 1–5, 7 и MODIS: 1–7 (исключая канал 3, поскольку он имеет дефекты). На основе комплексных характеристик баз геоданных были сформированы спектральные библиотеки на территорию Чуйской степи с эталонными спектрами типовых геолого-геоморфологических объектов. Затем, на основе обучения по эталонным участкам, была сделана управляемая классификация методом максимального правдоподобия. Верификация результатов обработки цифровых изображений была проведена с использование данных наземных наблюдений.

3. *Картографирование гомогенных и гетерогенных геолого-геоморфологических выделов.* На первом этапе картографировались крупные выделы, проявившиеся в спектральных и морфометрических характеристиках ДДЗЗ обзорного уровня (ЦМР и космоснимок MODIS), затем более детальные выделы по результатам классификаций ДДЗЗ среднего пространственного разрешения (ЦМР и космоснимок LANDSAT). На обзорном уровне в результате генерализации геолого-геоморфологических характеристик местности выделились преимущественно гомогенные области, а на среднемасштабном — увеличилось число выделов и многие из них приобрели гетерогенный характер. В результате статистического анализа были выделены типовые сочетания элементарных выделов (с характерными спектральными и морфометрическими признаками), формирующие гетерогенные области. Для выявления границ между геолого-геоморфологическими объектами сложного состава использовались плотностные сетки, позволяющие учесть территориальное изменение удельного площадного содержания элементарных выделов, составляющих сложные ПТК.

В результате проведенных исследований разработана комплексная технология картографирования геолого-геоморфологических объектов на основе обработки ДДЗЗ, которая может быть использована как для составления схем геолого-геоморфологической основы ландшафта, так и для морфо-структурных геоморфологических карт, а также для карт четвертичных отложений. Оригинальными компонентами методики являются сопряженный анализ ЦМР и мультиспектральных космоснимков мелкомасштабного и среднемасштабного пространственного разрешения, использование плотностных сеток для оконтуривания границ распространения гетерогенных полигенетических комплексов четвертичных отложений и рельефа. Использование баз геоданных с унифицированным междисциплинарным описанием эталонных участков (рельеф, геология, почвы, растительность) позволяет верифицировать результаты обработки ДДЗЗ. Разработанная

технология позволяет выявлять морфоструктурные и морфоскульптурные особенности геолого-геоморфологического строения территории, которые не фиксируются на топокартах и натурными наблюдениями.

КОМПЛЕКСНЫЕ НАЗЕМНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

*А.В. Поберовский, М.В. Макарова, Я.А. Виротайнен, А.В. Поляков,
А.В. Ракитин, М.А. Кшевцекая, Д.В. Ионов, С.И. Осипов, Х.Х. Имхасин,
И.С. Яговкина, Ю.М. Тимофеев*
Санкт-Петербургский государственный университет
E-mail: zaits@troll.phys.spbu.ru

Кафедра физики атмосферы физического факультета СПбГУ на регулярной основе осуществляет наземные спектроскопические измерения общих содержаний различных климатически важных газовых составляющих с использованием различных дистанционных методов (измерения спектров прямого и рассеянного солнечного излучения, собственного МКВ-излучения атмосферы). На основе полученных экспериментальных данных периодически осуществляется валидация различных спутниковых измерений характеристик газового состава атмосферы. Начатые в 2009 г. измерения солнечного ИК-излучения с помощью фурье-спектрометра Брукера высокого спектрального разрешения позволили начать комплексные одновременные измерения общих содержаний многих газов. Впервые в России измерены общие содержания ряда климатически важных атмосферных газов (HF , CFC-12 , N_2O , C_2H_6 и т. д.). Приведены примеры сопоставлений спутниковых и наземных измерения общих содержаний различных газов.

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ (проекты № 08-05-00857-а, 08-05-00952-а), грантов РНП № 2.1.1/1138 и РНП № 2.2.1.1/3846 и при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № П969 от 27.05.2010)

КОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

С.А. Матвиенко, О.Л. Мороз
КБ «Южное» им. М.К. Янгеля, Днепропетровск, Украина
E-mail: matvienko_2005@ukr.net

В настоящее время космические гравитационные измерения становятся одними из наиболее актуальных задач. За последнее время реализованы проекты GRACE, GOCE, а также проект GRAIL, который предназначен для измерения параметров гравитационного поля Луны. Методологически эти проекты эквивалентны, так как используют баллистические методы для измерения параметров гравитационного поля.

Авторы предлагают оригинальный радиофизический метод измерения параметров гравитационного поля, который основан на релятивистском эффекте смещения частоты под действием силы тяжести. На основе этого метода был создан программно-технический комплекс «Гравика», который предназначен для измерения частоты сигнала ГНСС под действием силы тяжести. Эта работа была проведена в рамках проекта УНТЦ 3856, который

финансируется ЕС. Также рассмотрены оригинальные схемы гравиметрических измерений, в том числе и радиофизический гравиметр, который может обеспечить автономные измерения гравитационного поля в любой среде, в том числе и космической.

В результате проведенной работы получены четыре патента Украины, подана одна заявка на международный патент и получено одно свидетельство об авторском праве.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, Е.П. Зацепин

Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

E-mail: busyginb@nmu.org.ua

В настоящее время основными методами поисков углеводородов является площадная сейсморазведка и бурение. Обеспечивая высокую геологическую эффективность, они требуют исключительно больших экономических затрат. В связи с этим возрастает интерес к подходам, основанным на использовании комплекса относительно дешевых гравимагнитных методов и материалов космических съёмок различной физической природы (мультиспектральных, радарных, тепловых и др.). Вместе с тем не является очевидной сама возможность фиксации слабых сигналов глубокозалегающих нефтегазовых объектов космическими и наземными методами. Необходимы специальные исследования, подтверждающие указанную возможность.

Целью настоящего доклада является изложение результатов экспериментальных исследований для оценки тесноты количественной связи между физико-химическими характеристиками известных месторождений, а также космическими и геофизическими полями. Установление такой связи свидетельствовало бы о возможности поиска и предварительной оценки параметров нефтегазовых объектов косвенными методами, без постановки дорогостоящих сейсмических и горно-геологических работ.

Исследования проводились на участке размером 137×130 км и площадью более $17\,000$ км², расположенном в пределах одной из наиболее перспективных нефтегазоносных провинций Украины — Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). В настоящее время важнейшим стратегическим направлением поисков нефти и газа на территории ДДВ являются глубины свыше 5 км. На участке находится 29 углеводородных объектов (в основном, газоконденсатных), для которых известны количественные структурно-геологические и физико-химические показатели (глубина залегания кровли продуктивного горизонта, ширина коллектора, коэффициент пористости, проницаемость, относительная плотность природного газа и др.). Всего таких показателей, выступающих в роли прямых признаков, 28 для каждого объекта. При обработке каждый из 28 объектов «аппроксимировался» точкой сети геофизических наблюдений, находящейся в пределах контура объекта на карте.

Исходные данные, служащие косвенными признаками, представлены гравитационной (Δg) и магнитной (Z_a) съёмками, заданными по сети 500×500 м, и значениями радарного снимка, полученного аппаратурой SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) с разрешением 90 м. Для каждой точки сети наблюдений в пределах скользящих квадратных окрестностей различных размеров (от 3×3 точек, что соответствует 1×1 км, до 21×21 точек, что соответствует 10×10 км) вычислялись специальные признаки, от-

ражающие структурные, текстурные, статистические и др. особенности геофизических полей и радарного снимка. Всего в набор косвенных признаков вошли 49 цифровых полей.

В процессе исследований основные усилия были направлены на установление корреляционных и регрессионных связей как между отдельными прямыми и косвенными признаками, так и между их совокупностями. В последнем случае предварительно выполнялось вычисление первых главных компонент, которые использовались для дальнейшего анализа.

В результате работ было установлено, что коэффициент корреляции между наборами прямых и косвенных признаков достигает 0,85. Найдена связь между отдельными прямыми и косвенными признаками, в большинстве случаев являющаяся нелинейной. В частности, значения радарного снимка имеют достаточно тесную связь с такими прямыми признаками как средняя глубина залегания углеводородных объектов, средняя высота залежи, средняя плотность, потенциальное содержание стабильного конденсата и др.

Установленные зависимости открывают большие перспективы дальнейшего изучения нефтегазовых регионов косвенными геофизическими и космическими методами.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДАРНЫХ ВЫСОТНЫХ ДАННЫХ SRTM И РЕЗУЛЬТАТОВ АЭРОГАММАСЪЕМКИ

В.Г. Линник, А.В. Соколов

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
Москва

E-mail: linnik@geokhi.ru; vlinnik_53@mail.ru

Западная часть Брянской области относится к числу наиболее загрязненных радионуклидами территорий России. Для прогноза радиоэкологической обстановки на загрязненных территориях важное значение приобретает исследование пространственно-временных параметров распределения радионуклидов в ландшафтах и почве на разных масштабных уровнях. На данной территории преобладают полесские ландшафты. Центральная часть района исследований пересекается долиной р. Ипуть с развитыми надпойменными террасами, на севере Брянской области расположен бассейн р. Беседь. Для исследования пространственной структуры загрязнения ^{137}Cs и его связи с параметрами рельефа был выбран район, расположенный в западной части Брянской области на удалении около 170 км от Чернобыльской АЭС в одном из наиболее загрязненных радионуклидами районов.

Банк данных включает информацию по наземному обследованию загрязнения территории техногенными радионуклидами. Информационные слои радиоэкологической геоинформационной системы (РадГИС) включают данные по ландшафтному строению территории, а также цифровые модели рельефа, представленные результатами выполненной в 2000 г. радарной съемки топографии Земли с борта «Шаттла» SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) с разрешением 90 м. Данные о загрязнении ^{137}Cs получены в результате аэрогаммасъемки загрязненных территорий в масштабе 1:25 000 (размер пиксела 100×100 м).

Для анализа региональных закономерностей распределения ^{137}Cs на территории Брянской области сформирован картографический банк дан-

ных, основу которого составляют цифровые модели рельефа, полученные при векторизации топографических карт масштаба 1:200 000.

Для оценки роли ландшафтного строения пойм рек Ипуть и Беседь в выносе ^{137}Cs был выполнен расчёт его распределения (данные азотгам-масьёмки) в пойменных ландшафтах этих речных систем. Ландшафтная структура поймы р. Беседь принципиально отличается по своему строению для р. Ипуть. Так, заболоченные поймы низкого и среднего уровня, которые являются важным источником выноса ^{137}Cs , занимают в долине р. Беседь всего лишь 4 %, тогда как поймы среднего и низкого уровня с пойменными перегнойно-глеевыми почвами здесь совсем не представлены. В пойме р. Ипуть содержится 8,6 % запаса ^{137}Cs в бассейне, тогда как в пойме р. Беседь — 4,2 %. Заболоченные поймы низкого и среднего уровня, важный источник выноса ^{137}Cs , на р. Беседь занимают 4 % площади, тогда как на р. Ипуть — 37 %.

В РадГИС реализованы возможности получения статистических параметров распределения ^{137}Cs по населенным пунктам, различным природным ландшафтам, различным элементам рельефа. Проведен анализ возможности использования данных ЦМР SRTM для моделирования процессов вторичного перераспределения радионуклидов в результате поверхностного смыва, а также по элементам гидросети западной части Брянской области. Выполнено сравнение точности высотных уровней ЦМР SRTM с данными, полученными по топографическим картам различного масштаба для модельного участка территории.

ОЦЕНКА УГРОЗ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА ПО ДАННЫМ ДЗЗ

Л.А. Шляхова¹, В.И. Повх²

¹ Ростовский государственный университет путей сообщения

² «Южный региональный информационно-аналитический центр»,

Ростов-на-Дону

E-mail: shell221@mail.ru

В последние годы глобальные изменения климата приводят к развитию опасных природных процессов для функционирования жизненно важных объектов на всех континентах. Большую опасность для инженерных сооружений и транспортных магистралей, ведущую к разрушительному эффекту, представляет собой природный и природно-техногенный процесс, связанный с гравитационным смещением грунтовых масс, оползни. Эксплуатация объектов земляного полотна (ОЗП), полотна автомобильной дороги (ПАД) реализуется при возможных проявлениях экстремальных неблагоприятных процессов, в частности, оползней, селей и др., что приводит к соответствующим деформациям. Для принятия эффективных технических решений по стабилизации состояния железнодорожного пути необходима информация о стохастической изменчивости природной климатической среды (ПКС), изменчивости во времени структуры и параметров ОЗП (ПАД) (формы и геометрических размеров элементов). В период активной фазы строительства инфраструктуры в районе Большого Сочи для проведения зимних олимпийских игр разработка системы мониторинга развития оползневых процессов в зонах, соприкасающихся с железной и автомобильной дорогами, приобретает безусловную актуальность. Использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для решения обсуждаемой задачи значительно расширяет возможность изучения такого многофакторного процесса и

сложного природного явления как оползни для получения прогнозной информации не только на региональном уровне, но и при проведении детальных изысканий для обоснования конкретных проектов.

Предлагается методика построения тематических карт по данным ДЗЗ в целях оценки угрозы функционирования железной дороги вследствие оползневых процессов, рассматривается возможность оценки риска природных опасностей на основе математического моделирования, приводятся примеры практической реализации методики в системе предупреждения аварийных ситуаций.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОИСКАХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ИСПАНИИ

К.М. Каримов¹, В.Н. Соколов¹, Хуан Антонио², Карлос Ордоньес²,

С.Н. Кокутин¹, Л.К. Каримова¹, В.Л. Онегов¹

¹ «ТРАНС-СЕРВИС», Кириши Ленинградской обл.

² TihgSA, Испания

E-mail: trserv@kirishi.ru

В работе представлены материалы совместного проекта по дистанционным геофизическим исследованиям территории Королевства Испании (провинции Кастильон, Валенсия и Аликанте). Отражены два отдельных аспекта, достаточно тесно связанных между собой: во-первых, методика изучения в региональном плане областей разгрузки подземных пресных вод в прибрежных зонах моря с целью их использования для водоснабжения; во-вторых, вероятность существования процессов морской интрузии, т. е. проникновения морской воды в континент и её попадания в водоносные горизонты.

Для проведения региональных исследований зон субмаринных вод использована тепловизионная съёмка в дальней инфракрасной области спектра и специализированная обработка многоспектральных данных со спутников LANDSAT. С целью уточнения достоверности материалов привлекались априорные сведения о гидрогеологической обстановке региона, рельефе местности и батиметрии.

В основе методики дешифрирования космических снимков лежит тепловизионная томография геологических сред с построением объёмных моделей плотности потока теплового излучения по континенту и шельфу моря. В качестве дополнительного индикатора зон разгрузки подземных пресных вод через морское дно использованы вегетационный индекс NDVI и нормированный индекс «стресса» растительности ISN. Наличие в плане аномальных участков является признаком угнетения водных экосистем, которое может быть связано с выходом холодных подземных вод, препятствующих нормальному, естественному развитию фито- и зоопланктона. Карты составлялись в масштабе съёмки путём подбора цветовой раскраски амплитуды вариации параметров.

По результатам обработки и интерпретации территории площадью 35 тыс. км² создана сводная модель формирования гидрогеологических зон, которая включает местоположение выходов подземных вод, направления миграции морских и поверхностных пресных вод, местоположение зон интрузии морской воды и аккумуляции пресных вод, оси зон трещиноватости геологической среды и направления повышенного потока теплового излучения.

Горно-складчатые сооружения Испании характеризуются водонапорной системой с фильтрационным и элизионным (напор создается за счёт отжатия воды из уплотняющихся пород) режимами. По блоково-разломным структурам установлены области растяжения и разуплотнения пород с улучшенными коллекторскими свойствами, в состав которых входят зоны флюидоперетоков и флюидонакопления, способные быть природными резервуарами воды. Определены пути миграции воды с больших глубин и места кумуляции её в верхней части осадочного разреза. При этом модели формирования природного резервуара субмаринных вод представляют собой линейные, объёмные или сложно-построенные камеры. Совокупность геоинформационной продукции в пределах акватории позволила выявить более 30 природных резервуаров с изменением ресурсов пресных вод в объёме от 25 до 2000 тыс. м³.

В работе также рассматривается другое феноменальное явление природы — процессы интрузии морских вод (sea water intrusion). Вторжение соленых морских вод заключается в проникновении их в горизонты подземных пресных вод суши в прибрежных районах и устьях рек при снижении зеркала пресных вод или гидравлического напора. Морская вода проникает в континент при наличии трещиноватости (пористости) пород ниже уровня моря, создающей природные каналы. При этом флюид мигрирует вглубь водоносного горизонта в разных направлениях. В результате нами установлены латеральные, прямые и опосредованные пути проникновения загрязнения в водоносные горизонты. Выраженность формы рисунка блоково-разломных структур позволила определить характеристику проявляющихся зон интрузии (ширина, форма, расположение) и выявить природные барьеры, ограничивающие распространение интрузии морских вод.

Собранными и проанализированными факторами, подтверждающими выполненные построения, являются: карты распределения в почве повышенной концентрации так называемой хлорности воды (ее произвольная, солёность); литологический состав пород, слагающих прибрежную часть континента (песчаники, трещиноватые известняки и др.); результаты эксплуатации гидрогеологических скважин в пределах выделенных зон; орография изучаемой местности, общий характер и главные формы рельефа, тип водоразделов (гребневидные, пологие, столообразные), относительное превышение водоразделов над днищами долин.

ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ РЕШЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРЫМА

П.С. Линева, О.В. Анисимова

Международный университет природы, общества и человека «Дубна»
E-mail: splin_86@mail.ru

При геоэкологических исследованиях использование материалов дистанционного зондирования является обязательным. Совместное применение ГИС и данных дистанционного зондирования резко повышает оперативность и качество решений, направленных на уменьшение развития опасных экзогенных процессов, на предотвращение и минимизацию чрезвычайных ситуаций и их последствий.

В работе рассматриваются актуальные вопросы использования материалов дистанционного зондирования и ГИС-технологий для изучения опасных экзогенных процессов на территории юго-западной части Крыма.

Рассмотрены методики визуального и автоматизированного дешифрирования космических снимков. Изучена геоэкологическая обстановка исследованной территории, разработана интерактивная карта—схема экзогенных процессов на территории юго-западной части Крыма с целью экологического мониторинга и контроля за активизацией экзогенных процессов.

Созданная карта в программе ArcView GIS 3.0 имеет несколько слоев, которые отражают информацию о состоянии исследуемой территории. Так, существует электронный векторный слой, в котором отражена вся антропогенная нагрузка данной территории (поля, дороги, населенные пункты и т. д.). Есть слой эрозионной расчлененности рельефа, где отражены реки и овраги, имеющие водоток и пересохшие. Основными, отражающими результат работы, являются слои распространения экзогенных процессов (оползни, осыпи, обвалы, абразия и др.).

Карта-схема распространения экзогенных процессов на юго-западной части Крыма дает возможность быстро определить параметры проявления тех или иных экзогенных процессов, степень их негативного влияния на окружающую среду с учётом существующих геоэкологических условий района.

ПОТЕНЦИАЛ ИК+МКВ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВ «МЕТЕОР-ЗМ»

А.В. Поляков¹, В.С. Косцов¹, Ю.М. Тимофеев¹, А.Б. Успенский², И.В. Чёрный², Е.В. Заболоцкая³, Л.П. Бобылев³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

³ Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», Санкт-Петербург

E-mail: polyakov@troll.phys.spbu.ru

На основе численного моделирования спутниковых экспериментов с аппаратурой ИКФС-2 и МТВЗА (МИСЗ «Метеор») проанализированы погрешности определения вертикальных профилей температуры, влажности, содержания озона, общих содержаний ряда парниковых газов, водности облаков, температуры поверхности, излучательных способностей поверхностей в ИК- и МКВ-областях спектра при различном состоянии атмосферы (облачные и безоблачные ситуации, различные широтные пояса).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08-05-00797-а), а также грантов РНП № 2.1.1/1138 и РНП № 2.2.1.1/3846.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЗЗ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ТЕПЛОМАССОБМЕНА ГЕОСТРУКТУРЫ И ЕГО СВЯЗИ С ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ СИТУАЦИЯМИ

Н.В. Вилор

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск

Подход к изучению интенсивности и мощности уходящего поверхностного инфракрасного (ИК) потока имеет в качестве инструментальной основы анализ изображений поверхности, передаваемых искусственными спутниками Земли серий NOAA и Terra, в том числе по тепловым каналам 3,7; 8 и 10–11 мкм, от радиометров AVHRR и MODIS. Их обзорные наблюдения

позволяют наиболее полно исключить влияние солнечного нагрева поверхности Земли в пролетах позднего ночного времени второй половины осеннего сезона и начала зимы и провести съёмку собственного уходящего поверхностного ИК-излучения (УПИКИ). Спутниковые определения яркостной температуры подтверждены наземными измерениями поверхностной температуры с точностью до 0,5 °С. Комплекс проведенных исследований имеет методическую основу тепловой космической съёмки — ТКС, предложенной В.И. Горным (1993) и дополненной наземными геохимическими данными на подспутниковых территориях. Их цель заключена в определении поверхностного теплового потока (ПТП) и потоков вещества, массы подвижных рудных элементов на аномалиях УПИКИ, пространственно связанных с крупными региональными геоструктурами. Задачи исследования включали описание распределения интенсивности контрастного уходящего излучения, изучение генезиса и расчёт баланса уходящего ИК-потока, оценки потоков вещества, массы и рассмотрение их в связи с современной геодинамикой.

Величины УПИКИ, полученные от искусственных спутников (ИС), тождественны яркости L с размерностью $\text{мВт/м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм}$. Но для радиационных дистанционных ИК-измерений и определяемых величин ПТП на элементах геоструктуры необходима одинаковая размерность. Такой переход от измеренных яркостей к поверхностному потоку возможен из соотношения, описанного Госсоргом (1980) и связавшего поверхностный поток F , яркость L и геометрический фактор G . И, поскольку F ПТП соответствует эффективному тепловому излучению земной поверхности, величина его суммируется из компонентов, составляющих баланс, слагаемыми которого являются: $F_{\text{гр}}$ — тепловой поток деятельного слоя грунта как следствие тепловой инерции; $F_{\text{к}}$ — тепловой эффект поверхностной конденсации или кристаллизации водяного пара, $F_{\text{фх}}$ — тепловой эффект процесса окисления газов из грунтов в верхней части деятельного слоя и $F_{\text{гл}}$ — компонент глубинного теплового потока.

Интегральная мощность глубинного компонента вычисляется из величин $F_{\text{гл}}$ на профилях измерений, поперечных к простираанию зон аномальных УПИКИ, и площадей излучающего пространства. Рассчитаны ПТП и $F_{\text{гл}}$, включая кондуктивную и конвективную его доли, для региональных разломов Таримского массива и его обрамления в северо-западном Китае.

Априорное предположение о массопотоке, эмиссии вещества на уровне современной поверхности по трассам региональных сейсмоактивных разломов, характеризующихся аномальными УПИКИ, подтверждено оценкой потоков летучих рудных элементов — ртути, мышьяка и галлия. Устанавливается прямая корреляция приразломных геохимических потоков с интегральной мощностью уходящего ИК-потока, отражающая прямую зависимость эмиссии летучих рудных элементов и интенсивности уходящего электромагнитного излучения в тепловом диапазоне, проявляющуюся, прежде всего, на сейсмоактивных элементах геоструктуры земной поверхности и обусловленную современным тепломассопереносом в зонах активной современной геодинамики. Таким образом, метод ТКС предоставляют количественную информацию об уровне ПТП на крупных геодинамически активных геоструктурах. Величины интенсивности ИК-эмиссии частично зависят от коэффициентов излучения поверхностных слоев на различных по составу горных породах. Но в наибольшей степени они связаны с подстилающими субстратами и в региональном плане экспонирует теплопотоки на границах активно взаимодействующих блоков верхней коры. Таким образом, «термальные линии» и установленные аномалии УПИКИ имеют

природу современного теплоассообмена, происходящего между континентальной верхней корой и атмосферой на трассах современных коровых взаимодействий и преобразований.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС

*Ю.Г. Гатинский*¹, *В.И. Захаров*², *Г.Л. Владова*³, *Т.В. Прохорова*³,
*Ю.Н. Сирота*⁴

¹ Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва

² Санкт-Петербургский университет

³ Международный институт теории прогноза землетрясений

и математической геофизики РАН, Москва

E-mail: yug@sgm.ru

Строительство АЭС предполагалось в одном из районов Калининградской области. Для выбора площадки строительства было предложено три района: на востоке области в верховьях р. Инструч и на левобережье р. Неман, в центральной части в среднем течении р. Преголя и на побережье Куршского залива и на крайнем западе к юго-западу от г. Калининград на границе с Польшей. Предварительно нами было рассмотрено положение районов на картах геологического содержания. Все они находятся в пределах развития осадочных комплексов мезозоя и кайнозоя, слагающих чехол Восточно-Европейской платформ. Глубина залегания фундамента увеличивается с востока на запад от 1300 до 2800 м. В составе чехла на поверхности преобладают четвертичные отложения мощностью от первых десятков до 270 м, слагающие ледниковые морены и флювиогляциальные равнины. Они прорезаны речными долинами, заполненными аллювиальными осадками. У побережья развиты аллювиально-морские и озёрно-болотные отложения. Предварительное дешифрирование всех трёх районов и прилегающей территории проводилось на обзорных космоснимках масштаба 1:400 000 с использованием печатных форм, геологической и тектонической карт масштаба 1:500 000. При этом были выделены линеаменты, в ряде случаев совпадающие по простиранию с разломами, показанными на картах, и кольцевые структуры — преимущественно среди ледниковых отложений. Более детальное дешифрирование на снимках масштаба 1:100 000 — 1:50 000 отдельно по каждому району позволило выделить комплексы аллювиальных отложений речных долин, болот, золовых отложений дюн. По положению подошвы четвертичного комплекса были установлены участки неотектонического воздымания и погружения. Сопоставление всех трёх районов показывает преимущества восточного для выбора места площадки строительства АЭС. В нем мало линеаментов, отсутствуют кольцевые структуры, связанные, возможно, с кальдерами проседания при таянии ледников, слабо проявлены контрастные неотектонические движения. Восточный район наиболее удален от эпицентра землетрясения 2004 г. на шельфе. В этом районе менее двух других развиты плохо сортированные преимущественно грубообломочные ледниковые отложения, мало пригодные для основания под строительство. К тому же он максимально удален от Калининграда, портовых городов и военно-морских баз на побережье. Все эти аргументы говорят в пользу восточного района для выбора площадки. Из пяти потенциально пригодных под строительство участков в восточном районе наиболее благоприятным является № 1 на левом водоразделе Инструча. Участки № 2, 4 и 5 находятся вблизи песчаных дон. Участок № 3 на левом берегу Немана расположен на

краю зоны молодых поднятий и вблизи границы с Литвой. Таким образом, применение методов дистанционного зондирования, наряду с имеющимися картами геологического содержания, позволяет более точно показать: структуру района предполагаемого строительства (линеаменты, зоны нарушений, кольцевые структуры); поля развития комплексов пород различного состава и компетентности; проявления экзогенных процессов (речные долины, болота, дюны и др.) и сопоставление в одном масштабе различных факторов, влияющих на выбор участка строительства. Исследования проводились авторами по заказу Проектного офиса «АЭС-2006» РОСАТОМА.

Доклад подготовлен при поддержке Программы № 4 Президиума РАН «Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений и техногенных катастроф, включая проблемы ускоренного развития атомной энергетики».

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБЪЕКТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА УЧАСТКЕ ТУАПСЕ-АДЛЕР

А.С. Василейский

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (ОАО «НИИАС»), Москва

E-mail: A.Vasileisky@gismmps.ru

Особенностью инфраструктуры железнодорожного транспорта является её большая протяженность, длительная и интенсивная эксплуатация, зачастую в сложных ландшафтных и природно-климатических условиях. Земляное полотно, верхнее строение пути, здания и сооружения, наземные и подземные линии коммуникаций подвергаются постоянному воздействию геологических, метеорологических, гидрологических факторов природного и техногенного (антропогенного) генеза, что вызывает различные повреждения, дефекты и деформации и может приводить к возникновению аварийных ситуаций. Для обеспечения бесперебойного и безопасного функционирования железнодорожного транспорта необходимо поддержание элементов инфраструктуры в исправном состоянии, своевременное выявление источников потенциально-опасных воздействий на объекты инфраструктуры и принятие мер по предупреждению опасных дефектов и деформаций. Дистанционные методы мониторинга, в том числе и на основе данных, получаемых космическими съёмочными системами, позволяют использовать результаты съёмки в качестве постоянного источника оперативной, высокодетальной и достоверной геопространственной информации для анализа ситуации в полосе отвода и охранных зонах, а также на прилегающих (в том числе труднодоступных) территориях в дополнение к результатам традиционных наземных осмотров и обследований.

В 2009 г. на участке Туапсе – Адлер Северокавказской железной дороги введена в эксплуатацию технология спутникового мониторинга потенциально-опасных воздействий на объекты железнодорожной инфраструктуры. В рамках пилотного проекта, реализуемого совместно с компанией e-GEOS, результаты радиолокационной съёмки, осуществляемой космическими радиолокаторами с синтезированной апертурой, используются для выявления потенциально-опасных геодинамических воздействий. Дифференциальная интерферометрическая обработка (по технологии PSP — Persistent Scatterer Pairs) ретроспективных данных с радиолокационных аппаратов ERS-1/2

и данных оперативной съемки высокого пространственного разрешения системой COSMO-SkyMed обеспечивает построение детальной карты деформаций земной поверхности, позволяет анализировать величины незначительных смещений поверхности во времени с субсантиметровой точностью. Разновременные оптические снимки высокого разрешения (с аппаратов QuickBird и GeoEye) используются для локализации выявленных смещений, обнаружения источников возможного образования селей и оползней — мест аккумуляции рыхлого обломочного материала, участков нарушенного растительного и почвенного покрова, а также для мониторинга состояния волнозащитных сооружений и пляжей, водоотводных и дренажных сооружений. Эта информация совместно с результатами наземных осмотров и специальных обследований, позволяет ранжировать воздействия по степени опасности и выдавать обоснованные рекомендации по строительству и модернизации защитных инженерных сооружений, оптимизировать распределение ресурсов, обеспечивая первоочередное осуществление приоритетных мер по предотвращению аварийных ситуаций.

Оперативный доступ сотрудников причастных служб ОАО «РЖД» к актуальной геопрограммной информации, включая материалы съемки и результаты обработки, осуществляется через специализированный «Геопортал РЖД», функционирующий в отраслевой сети передачи данных (СПД).

ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ НА ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДЗЗ

А.Я. Ходоровский¹, А.А. Апостолов¹, А.Б. Востоков²

¹ Научный центр аэрокосмических исследований Земли (ЦАКИЗ) ИГН

НАНУ, Киев, Украина

² «ТВИС», Киев, Украина

E-mail: alex@casre.kiev.ua

Повсеместно, с повышением геологической изученности территории, сокращается фонд сравнительно легко открываемых месторождений — крупных, выходящих на дневную поверхность или залегающих на небольшой глубине и в относительно простых геологических условиях. Основные объекты поисков и разведки представлены небольшими по размерам залежами, расположенными на всё большей глубине и в более сложных геологических условиях. В результате увеличиваются финансовые затраты на поиск и разведку месторождений полезных ископаемых. Сократить финансовые затраты на поиск и разведку месторождений позволяет разработанная нами методика количественного прогноза месторождений полезных ископаемых на основе анализа структурных факторов, контролировавших формирование и локализацию залежей, и которые могут быть установлены по материалам многозональной космической съёмки Земли. Это материалы структурно-геодешифрирования снимков и топографических карт и данные структурно-геоморфологических и морфометрических методов исследований. Получаемые материалы позволяют оценить влияние на размещение залежей полезных ископаемых трещинной проницаемости пород, складчатых структур и активности тектонических движений на современном этапе развития региона. Кроме того, анализировалось влияние крутопадающих разломов разных порядков, надвигов, кольцевых структур, тектонических блоков на размещение залежей. При возможности использовались результаты проведенных геолого-геофизических исследований.

Для прогнозной оценки перспективности территории использовалась программа пространственно-вероятностного прогнозирования, основанная на принципе распознавания образов. Методика позволяет количественно оценить синергетический эффект от комплексирования используемых по-исковых признаков. При этом эффективность комплекса признаков оказывается значительно выше суммы эффективности отдельных признаков, слагающих этот комплекс. Заключительным этапом работ по прогнозной оценке перспективности территории обязательно являются оценка достоверности полученных результатов и рекомендации по проведению дальнейших исследований.

В связи с тем, что в процессе прогнозирования учитывается большое количество разнообразных признаков, для их сбора, систематизации и анализа используется ГИС-технология. В виде ГИС-проекта результаты работ передаются заказчику.

Разработанная методика была использована для прогноза залежей нефти и газа в пределах лицензионных участков площадью от 20–30 до 12 000 км², расположенных на территории Российской Федерации, в Тимано-Печорской, Западно-Сибирской, Сахалинской и Днепроовско-Донецкой нефтегазоносных провинциях, а также на территории Объединенных Арабских Эмиратов, в Месопотамской (Персидской) нефтегазоносной провинции. Кроме того, методика была использована для прогноза камерных пегматитов и редкометалльных рудных тел в пределах Украинского щита.

В результате проведенных исследований установлено, что связь всех изученных залежей с используемыми признаками всегда носит сложный характер, они приурочены не к максимальным или минимальным, а к промежуточным (оптимальным) значениям использованных признаков. Информативность используемых признаков разная. Комплексирование признаков между собой повышает вероятность и достоверность выделения залежей.

Установлено, что залежи нефти и газа резко различаются по условиям залегания и потому их прогноз осуществлялся раздельно. Достоверность результатов прогноза была подтверждена материалами геофизических исследований, а на трёх участках — данными бурения.

Предложенная методика прогноза месторождений полезных ископаемых по материалам ДЗЗ может быть использована на стадии поисков, разведки и эксплуатации месторождений.

ПРОГНОЗНЫЕ НЕФТЕПОИСКОВЫЕ РАБОТЫ НА ОСНОВЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ В ПРЕДЕЛАХ КАУКБАШКОЙ ПЛОЩАДИ (ЮЖНО-ТАТАРСКИЙ СВОД)

И.И. Нугманов, И.Ю. Чернова, Е.В. Еронова, А.Н. Даутов, Б.М. Насыртдинов
Казанский (Приволжский) федеральный университет
E-mail: nusmumrik@gmail.com

Комплексирование наземных геолого-геофизических данных с данными обработки и интерпретации материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является частью многих современных технологий прогнозирования и оценки нефтегазоносности территорий. Необходимость комплексирования, разработки новых методических приёмов проведения полевых и камеральных работ обусловлена сложностью задач выявления новых перспективных зон и локальных участков в областях старой добычи нефти, где все круп-

ные и средние залежи и месторождения уже выявлены (Волго-Уральская, Тимано-Печорская, Прикаспийская нефтегазоносные провинции). Поиски новых участков для бурения эксплуатационных скважин требует проведения крупномасштабных высокоточных полевых наблюдений с использованием современного оборудования и особой теоретической основы интерпретации полученных результатов. Связь неотектонического и современного геодинамического режимов территорий с нефтеносностью находит в последние десятилетия всё больше подтверждений. Поэтому учёт геодинамических (неотектонических) факторов является неотъемлемой компонентой всех современных методик прогнозирования и оценки нефтеперспективности территорий. В данной работе представлена методика нефтепоисковых работ, основанная на комплексе геодинамических исследований и детальных полевых наблюдений легкими геофизическими методами.

В комплекс полевых геодинамических исследований входили наземные высокоточные геодезические наблюдения дифференциальным способом с использованием приборов TOPCON, высокоточная магнитометрическая (с шагом по профилям 10–15 м), электроразведочная (методом естественных потенциалов) и естественная микросейсмическая съёмки. Работы были выполнены в пределах Южно-Татарского свода (Куакбашский участок).

В качестве дистанционной основы геодинамических исследований были использованы материалы ДЗЗ, полученные камерой ЕТМ+ со спутника LANDSAT-7. К серии разновременных снимков одной территории были применены пакетные вейвлеты Габора по технологии, применяемой для выделения линеаментов в подразделениях Министерства природных ресурсов России, и разработанное в ИТЦ «Сканекс» (авторы: Д.В. Демидов, Д.В. Добрынин, А.А. Савельев). В процессе выделения линеаменты были подразделены на четыре группы по комплексу признаков, отделяющих сублинейные структуры от статистически случайного рисунка. Для получения общей картины распределения структур в заданном масштабе было использовано пространственно-масштабное разложение по четырём направлениям (север-юг; запад-восток и пара дополнительных диагональных). Большая часть линеаментов строится по линейно или сублинейно выраженный градиентам тектурных или структурных особенностей земной поверхности. Эти признаки не зависят от вида хозяйственной деятельности или особенностей ландшафта. Окончательный этап обработки космоснимка заключался в фильтрации линейных объектов искусственного происхождения (дороги, границы полей и земельных участков, границы промышленных зон и др.). С целью получения более надежных результатов и дополнительной информации об исследуемых участках, кроме обработки данных дистанционного зондирования, поиск и анализ сети линеаментов был выполнен на цифровых моделях рельефа (ЦМР) масштаба 1:25 000. Это позволило выявить предположительные пути транзитной миграции углеводородов и оценить макротрещиноватость осадочного чехла в пределах залежей как на региональном уровне — по материалам ДЗЗ, так и локальном — по крупномасштабной ЦМР.

Дополнительным критерием прогнозирования углеводородов выступили аномалии повышенного микросейсмического фона в частотном диапазоне 1–5 Гц, полученные в пассивном режиме съёмки. Регистрация естественного микросейсмического фона осуществлялась трёхкомпонентными станциями, оснащенными широкополосными датчиками (0,5–20 Гц). При этом для выявления аномалии шириной порядка 1 Гц использовались кадры размером 4096 отсчётов. Цифровая обработка сигналов и спектральный анализ основывались на дискретном преобразовании Фурье. На этапе

фильтрации техногенных узкополосных и локально-нестационарных помех из регистрируемого сигнала исключались узкополосная компонента и компонента повышенной энергии, вызванные монохроматическими вибрациями близких поверхностных техногенных источников и аддитивных поверхностных помех, значительно искажающих спектр полезного фонового микросейсмического шума.

По результатам проведенных комплексных исследований удалось: 1) выявить блоковое строение земной коры и определить амплитуды неотектонических движений в пределах элементарных блоков; 2) определить направление регионального вектора напряженности по анализу глобальной розы-диаграммы направлений линеаментов; 3) выявить предположительные зоны субвертикальной миграции углеводородов; 4) проследить современные геодинамические деформации земной коры и определить их преобладающий знак; 5) оконтурить участки сохранности коллектора и покрышки. По совокупности полученной информации была построена прогнозная карта перспективных участков для постановки разведочного бурения на территории Куакбашского участка.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КЛИМАТА ЗЕМЛИ: ДИАГНОСТИКА И ГЕОПРОЕКТИРОВАНИЕ

В.А. Головки

ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

E-mail: golovko@planet.iitp.ru

Глобальный радиационный баланс Земли (РБЗ) является ключевым функционалом, определяющим динамику нашей планетарной климатической системы. Знание характеристик РБЗ позволяет осуществлять диагностику текущих изменений климата на основе анализа его чувствительности по отношению к различным естественным и антропогенным возмущениям (форсингу). Кардинальные методы борьбы с аномально быстрым темпом глобального потепления в настоящее время связывают с перспективными технологиями формирования отрицательного радиационного форсинга («антифорсинга») и характеризуют термином «геопроектирование».

Несмотря на то, что мониторинг составляющих глобального РБЗ ведется уже около полувека, начиная с запуска первых метеорологических ИСЗ в 60-х гг. прошлого века, важнейшая проблема необходимой точности наблюдений всё ещё остается не до конца решенной. Это связано с тем, что сама величина РБЗ достаточно мала и может быть менее 1 Вт/м^2 , а знать мы её должны с точностью до долей, вычисляя на основе спутниковых измерений как разность двух достаточно больших величин (около 340 Вт/м^2). Поэтому даже новейшие технологии и высокоточный современный контроль всех трёх составляющих РБЗ: падающего солнечного излучения, уходящей коротковолновой радиации (УКР) и уходящей длинноволновой радиации (УДР) — пока не могут (даже теоретически) обеспечить точность лучше $0,5 \text{ Вт/м}^2$, а для адекватного анализа с приемлемыми доверительными интервалами требуется абсолютная точность оценок РБЗ около $0,1 \text{ Вт/м}^2$. Однако стремительное совершенствование измерительной аппаратуры, стимулируемое осознанием особой актуальности получения надежных результатов, дает надежду, что в ближайшем будущем необходимая точность наблюдений всё-таки будет достигнута.

Для анализа чувствительности климатической системы Земли на основе диагностики межгодовых и декадных изменений РБЗ как функции температуры поверхности используются оценки коэффициента λ , имеющего размерность $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$. Он оценивается путем регрессии на основе данных космических наблюдений составляющих РБЗ (с использованием информации датчиков ERBE, CPPB, CERES) и температуры поверхности. Современные оценки показывают, что значения λ для УДР, УКР и РБЗ составляют $2,82\pm 0,42$, $-1,86\pm 0,69$ и $1,25\pm 0,57 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$ соответственно. Точное знание чувствительности климата Земли жизненно важно для планирования энергетического будущего нашей планеты.

При сопоставлении оценок ожидаемого глобального потепления (около 2,1 К) на основе данных о радиационном форсинге (обусловленном увеличением содержания парниковых газов в атмосфере) и чувствительности климата с реально наблюдаемым потеплением (около 0,8 К) возникает важный вопрос, чем же объясняется столь значительная разница. Дело в том, что величина уходящего излучения определяется локализацией источников (поверхности и атмосферы) со значительно меньшими теплоемкостями, чем глубоководная часть океана. Это приводит к наличию разных временных масштабов в отклике на климатический форсинг. Двумя важнейшими временными масштабами в отклике на климатическое возмущение являются частичный температурный отклик поверхности в течение около 10 лет и глубоководной части океана в течение столетий. Глобальная температура возрастает пока достаточно медленно, но когда будет исчерпана аккумулирующая способность Мирового океана, может начаться действительно экстремальное глобальное потепление.

Недавно Природа дала человечеству небольшую передышку, замедлив темп глобального потепления в 2008 г. (и частично в 2009 г.). Это в первую очередь было связано с затянувшимся минимумом солнечной активности. Обычный солнечный цикл продолжается около 11 земных лет, в то время как предыдущий, 23-й с начала наблюдений, протянулся почти на 12,5 лет. Возможной причиной этого являются аномалии в «конвейерном поясе» Солнца, мощных течениях плазмы под его поверхностью. Однако в последнее время появились признаки того, что Солнце активно выбирается из крайне затянувшегося минимума своей циклической активности и, по-видимому, вскоре постарается наверстать упущенное. Второй причиной временного замедления потепления, возможно, является холодная фаза Эль-Ниньо – Ла-Нинья.

В настоящее время, к сожалению, начинают сбываться прогнозы, получаемые с помощью наиболее совершенных климатических моделей, относительно интенсификации и увеличения частоты проявлений экстремальных погодных явлений. Это в первую очередь относится к аномальным вихревым образованиям в виде циклонических супертайфунов/гиперураганов и антициклональных блокингов. Ярким примером катастрофического влияния мощнейшего блокирующего антициклона на жизнедеятельность людей являются события лета 2010 г. на территории центральной России. Результаты математического моделирования показывают, что в ходе глобального потепления роль тепловых волн (heat waves), связанных с антициклональными блокингами, будет возрастать. Следует отметить, что летние события 2010 г. отнюдь не являются абсолютно уникальными, как это представляется некоторыми специалистами. Летом 2003 г. подобная тепловая волна (может быть, чуть менее мощная) имела место на территории Западной Европы, тогда по некоторым оценкам погибло около 35 тыс. человек (из них только во Франции около 15 тыс.). Разрабатываемые технологии

геопроектирования призваны решать не только проблемы минимизации прямых эффектов глобального потепления, но и задачи активных воздействий на катастрофические явления вихревого происхождения, как косвенные следствия этого потепления.

Осознавая необходимость экстренных мер по борьбе с проявлениями глобального потепления, всё большее число государственных и частных структур начинают финансирование проектов по геопроектированию. Речь идет не только о поисковых НИР, но и о реальных ОКР. Примером активной гражданской позиции может служить инициатива известного миллиардера и филантропа Билла Гейтса, создавшего специальный фонд для поддержки реализации экспериментальных технологий по геопроектированию. Недавно из этого фонда было выделено 300 млн дол. на пилотный проект по искусственной генерации морских облаков нижнего яруса с повышенными отражательными характеристиками. На эти деньги в ближайшее время будет построено 10 опытных образцов плавучих средств (по имеющимся оценкам, их требуется около 1500), способных с помощью восходящих струй мелко-дисперсных фракций морской воды и воздуха стимулировать увеличение отражательной способности облаков. Это, по-видимому, будет первым наглядным подтверждением того, что человечество начинает реально действовать.

Работа поддержана РФФИ (проект № 10-01-00379а).

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРХИВНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

*А.В. Фаттахов, И.Ю. Чернова, О.В. Лунёва, П.С. Крылов, Р.Н. Ситдиков,
Р.Р. Хабибуллин, И.И. Нугманов*
Казанский (Приволжский) федеральный университет
E-mail: nusmumrik@gmail.com

Изучение проявлений современной геодинамики может дать важную информацию о влиянии современных деформаций земной коры на текущее состояние залежей нефти и газа. Вопросы влияния геодинамических процессов и связанных с ними неотектонических проявлений на образование скоплений УВ и их устойчивость во времени практически не изучены. Накопление и анализ результатов исследований, проводимых в этом направлении, возможно в будущем даст ключ к пониманию процессов, протекающих внутри залежи в периоды активных движений блоков земной коры и в периоды тектонического спокойствия. Рельеф дневной поверхности и связанные с ним ландшафты являются наиболее чувствительными и комплексными индикаторами проявлений современной геодинамики. Поэтому методика выявления и анализа рельефообразующих процессов (в частности, определение количественных оценок амплитуд и скоростей современных движений блоков земной коры) должна быть одним из основных элементов методики исследования влияния неотектонических процессов на нефтеносность территорий.

Для изучения современных деформаций земной коры могут быть использованы материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Авторы проекта использовали архивные материалы аэрофотосъёмки (за последние 40–50 лет) для обнаружения изменений ландшафта и абсолютных отметок высот, которые вызваны усилением эрозионной деятельности вод либо её затуханием.

В рамках проекта были выполнены следующие виды работ: 1) отбор и обработка архивных аэрофотоснимков, покрывающих площади Республики Татарстан с установленной нефтеносностью и выявленной геодинамической активностью; 2) разработка способов обнаружения изменений ландшафта и элементов дневного рельефа вследствие усиления или затухания эрозионных процессов; 3) оценка направленности, относительных амплитуд и скорости протекания современных геодинамических процессов; 4) сбор и первичная подготовка картографического материала для проведения морфометрического анализа, включая географическую привязку данных, оцифровку бумажных оригиналов, взаимную увязку разномасштабных векторных и растровых данных, создание единой базы геоданных на основе выбранного геоинформационного программного обеспечения; 5) расчёт и создание цифровых моделей рельефа (ЦМР) различного разрешения на основе векторных данных и по результатам фотограмметрической обработки стереопар.

На начальном этапе исследований была обработана небольшая часть коллекции - около 30 аэрофотоснимков. Но даже эта небольшая коллекция показала, что за 50 лет рельеф и ландшафт территории может претерпевать существенные изменения. Часть изменений имеет явно техногенное происхождение (строительство плотин и запруд, строительство каналов и перенос русла реки), что, вообще говоря, для нашего исследования интереса не представляет. Но такие изменения могут быть интересны с точки зрения экологии, сельского хозяйства или планирования развития территории.

Другие изменения можно почти уверенно отнести к проявлениям современной геодинамики (рост и деградация овражных сетей, рост отдельных оврагов, спрямление русел рек, усиление эрозии склонов и др.).

По результатам работ было выполнено районирование территорий по степени проявления современной геодинамики, получены оценки скорости протекания современных геодинамических процессов. Несмотря на то, что некоторые моменты интерпретации полученных результатов носят дискуссионный характер, основные цели данной работы достигнуты. Показана информативность подхода к изучению рельефообразующих процессов по архивным данным ДЗ. Потенциально возможна обработка сотен и даже тысяч снимков, а статистически значимый объём информации даст, в свою очередь, более надежные результаты.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

РЕАКЦИЯ АТМОСФЕРЫ НА ЭМИССИЮ МЕТАНА ИЗ ЗЕМЛИ

П.В. Люшвин

Всероссийский НИИ рыбного хозяйства и океанографии, Москва
E-mail: lushvin@mail.ru

В грунтах над обводненными подповерхностными скоплениями метана — болотного газа (в илах заболоченных лугов, пойм рек и озёр, над месторождениями газа и газохранилищами) происходит массовое биогенное окисление метана. Тепло, выделяющееся при его окислении, обуславливает разогрев среды до 3–5 К в сутки и повышенное испарение. В атмосфере над границами разогретых обводненных подповерхностных скоплений метана с более холодными лесными массивами и водоемами создаются условия для образования местной облачности. Образованию облаков над болотами, газогидратами, морскими месторождениями газа на шельфе и континенталь-

ном склоне также способствует схлопывание пузырьков газа — поступление в атмосферу мельчайших брызг, при испарении которых воздух насыщается необходимыми ингредиентами для образования водных метеорологических облаков (водяным паром и ядрами конденсации — частичками солей и дextrитом).

Анализ оптической и радиолокационной информации по московскому региону, западному Крыму, дельте и взморью Волги показал, что над заболоченными лугами и газохранилищами (при обильной росе), когда вблизи них леса или водные объекты, а также над шельфовыми месторождениями газа в малоподвижных безоблачных воздушных массах систематически наблюдаются уединенные облачные образования, нередко, с осадками.

Из этого следует, что вблизи лесов и водоемов, где желательны осадки, можно на лугах создавать соответствующие условия. Например, для Москвы, где застроены некогда орошавшие город лужниковская пойма и замоскворецкие болота, можно воссоздать часть болот, обваловать и залить пустынную правобережную москворецкую пойму, примыкающую к району Орехово-Борисово, а также заболоченные заброшенные пространства между МКАД и г. Долгопрудным; для интенсификации облакообразования пускать в них пар с ближайших ТЭЦ; для раздельной концентрации влажного воздуха и пыли кратковременно создавать в атмосфере полосы повышенного статического напряжения. В такие полосы быстро стягивается атмосферная пыль, что воспринимается наблюдателями как «Чёрные» облака, и одновременно «разлетается» в стороны водяной пар, если над районом водные облака, то они расступаются (так же, как у экрана телевизора; такие явления наблюдаются в атмосфере над активизированными разломами земной коры). Стуженный приземный смог можно осаждать фонтанами воды (такую очистку воздуха можно практиковать вдоль автотрасс и зон перегрузки сыпучих материалов). Для жителей города это будут хозяйства типа «супер-карп», лодочные станции, катки, лыжни и пр. Важно не создавать в них асфальтово-бетонных покрытий и масштабных крытых сооружений.

Для улучшения орошения дельты Волги целесообразно создать преграду для горячего сухого степного воздуха с востока. Такую преграду в атмосфере может создать холодный влажный воздух над широкой лесополосой либо над обвалованным запруженным широким восточным волжским рукавом. Дожди в дельте будут демпфировать суточную неравномерность попусков с нижеволжских ГЭС — предотвращать массовое обсыхание икры и мальков рыб.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИНЕАМЕНТНОГО АНАЛИЗА РУДНЫХ РАЙОНОВ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

В.Г. Бондур, А.Т. Зверев, А.Л. Булатова, Е.В. Гапонова

НЦ аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос», Москва
E-mail: office@aerocosmos.info,

Линеаменты и прежде всего сквозные линеаменты представляют собой зоны повышенной проницаемости земной коры. Они играют существенную роль в рудообразовании и поэтому имеют большое значение при металлогеническом анализе. Изучено четыре рудных района: Печенгский, Хибинско-Ловозёрский, Оленегорский и возвышенность Кейвы с использованием многоуровневого автоматизированного линеаментного анализа космических изображений двенадцати уровней генерализации.

Основные результаты исследований следующие.

В рудных районах развиты две системы линеаментов — литосферная и внутрикоровая, отличающиеся глубиной заложения и характером проявления на поверхности — литосферная система линеаментов проявляется при более высоких уровнях генерализации. Обе системы являются диагональными с существенно более значительным развитием линеаментов северо-восточных направлений. Для рудных районов обычно характерны повышенная плотность и анизотропия поля штрих-линеаментов.

В линеаментных системах рудных районов с магматическими месторождениями значительное место занимают линеаменты, обусловленные протектоникой интрузивных массивов (первичные трещины, текстуры течения и дифференциации). В рудных районах с метаморфизованным и метаморфическим (метаморфогенным) типами часть линеаментов связана со слоистостью метаморфических толщ, а часть — с метаморфической зональностью. Сложный характер, наложенность и многоэтапность развития линеаментной тектоники нередко не позволяют установить корреляцию отдельных статистических показателей линеаментных систем и рудных месторождений. Комплексное же использование нескольких статистических показателей может помочь выявить подобную корреляцию.

Одним из признаков месторождений Cu-Ni и активных руд, выявленных линеаментным анализом, может являться комплексный статистический показатель развития штрих-линеаментов, получаемый при наложении полей плотности штрихов, степени вытянутости и близости роз-диаграмм к кресту на высоких уровнях генерализации космических изображений.

Радиально-концентрическое строение Хибинского и Ловозёрского массивов, выявленное наземными методами, коррелирует с литосферной системой линеаментов, с преобладанием северо-восточных направлений и сгущением в периферических частях массивов выраженных на космических изображениях высоких уровней генерализации.

Наземные данные и данные многоуровневого линеаментного анализа показывают сходные результаты в отношении направления рудовмещающих метаморфических толщ и направления продольных линий роз-диаграмм и плотности изолиний штрих-линеаментов на высоких уровнях генерализации космических изображений.

Таким образом, анализ комплекса индикационных признаков четырех разных рудных районов Карело-Кольского региона, выявленных по космическим изображениям в ходе их автоматизированного многоуровневого линеаментного анализа, показал, что при помощи данного метода можно получить целый ряд новых данных по геологическим особенностям строения и развитию рудных районов, особенно применительно к линеаментной тектонике и рудообразованию.

Работа проведена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

РОЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ФУНДАМЕНТА В ФОРМИРОВАНИИ СОВРЕМЕННОГО РЕЛЬЕФА СКИФСКОЙ ПЛИТЫ

В.А. Зайцев¹, А.А. Златопольский², Л.В. Панина¹

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова

² Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: aazlat@gmail.com

Авторами были проведены структурно-геоморфологические исследования, дополненные анализом рельефа дневной поверхности, выполненным с

помощью программы LESSA. С целью выяснения современной геодинамики Скифской плиты и роли деформаций фундамента в формировании новейших структур было проведено тектонофизическое моделирование, в результате которого была установлена разная степень деформации разрывно-блоковой структуры фундамента, обусловленная разной подвижностью блоков и неоднородностью активизации среды на внешнее воздействие. Выявленные закономерности деформации фундамента Скифской плиты сравнивались с проявлениями современной геодинамики, такими как сейсмичность, тепловой поток, поле трещиноватости, различными статистическими параметрами, характеризующими морфоскульптуру дневной поверхности. На картах пространственного распределения эпицентров землетрясений хорошо видно, что наиболее значимые события приурочены к наиболее деформированным участкам фундамента. Землетрясения 2001, 1990, 1980, 1969, 1972 гг. приурочены именно к этим наиболее активным зонам. Кроме совпадения эпицентров землетрясений, решения фокальных механизмов также близки по ориентировке с осями сжатия и растяжения, полученными при моделировании. Отметим, что на наиболее деформированных участках фундамента Скифской плиты наблюдается повышенный тепловой поток, а также повышенная плотность линейментов, дешифрируемых на космических снимках, LANDSAT-ETM вручную.

Анализ рельефа программой LESSA производился по данным SRTM. Для анализа элементов рельефа разного масштаба использовалось разрешение от 90 м/пикс до 1,8 км/пикс. Автоматически выявлялись хребты, долины и рассчитывалась их статистика в скользящем окне — плотность, направление вытянутости розы. Оказалось, что в области Скифской плиты линии вытянутости роз хорошо совпадают с осями растяжения, полученными в модели. Некоторое соответствие оказалось и между степенью вытянутости роз и степенью деформации в модели.

В результате проведенных исследований установлена значимая роль деформаций фундамента в формировании особенностей современного рельефа Скифской плиты, что, в свою очередь, позволит более осознанно использовать рельеф для изучения геологического строения платформенных территорий.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-00803-а).

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЛАДОЖСКО-ОНЕЖСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

*О.Н. Галаганов¹, В.Л. Горшков², Т.В. Гусева¹, Н.К. Розенберг¹,
В.П. Передерин¹, Н.В. Щербакова²*

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), Москва

² Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН (ГАО РАН)
E-mail: guseva@ifz.ru; galagan@ifz.ru; rosenna@ifz.ru

Актуальной проблемой геодинамики северо-запада Европы является исследование послеледникового поднятия этого региона. Балтийский щит — одна из древнейших геологических структур. После схода мощного ледника, покрывавшего этот регион в течение десятков тысяч лет, началось изостатическое поднятие региона, которое продолжается и в современную эпоху. Мониторинг посредством GPS-измерений на сети пунктов в Ладожско-Онежском регионе был начат в 1993 г. Целью этого мониторинга является расширение сети международных европейских станций спутниковых наблюдений и пунктов на территории России (в частности, в Ленинградской

области), а также уточнение данных повторных нивелировок в регионе Ладожского и Онежского озёр.

Результаты полевых измерений, выполненных сотрудниками ИФЗ РАН в 1999–2009 гг., были обработаны сотрудниками ГАО РАН с помощью программ GIPSY/OASIS (JPL). В расчётах использованы данные высокоточного позиционирования пунктов постоянно действующих GPS-станций METS, JOEN, VIRO в Финляндии и PULK, SVTL в России, точные орбиты спутников, поправки часов и параметры вращения Земли, абсолютная коррекция фазовых центров антенн (<http://sideshow.jpl.nasa.gov/pub>), тропосферная модель GMF, модель океанического слоя FES_2004 (<http://www.oso.chalmers.se/~loading/>); атмосферная модель для геодезических станций (<http://vlbi.gsfc.nasa.gov/aplo>, JPL, Л. Петров). Дополнительная нагрузка на поверхность коры вызванная изменением уровня озера, была определена с использованием данных спутниковой альтиметрии и учитывалась при анализе данных. Горизонтальные перемещения российских пунктов, по данным последней обработки, происходили с достаточно одинаковой средней скоростью — около 24 мм/год по направлению 61–66° на северо-восток, и их отличие от соответствующих скоростей станций EPN составляет менее миллиметра. Значения скоростей изменения вертикального положения пунктов не постоянны, разнятся в зависимости от временного интервала между эпохами повторных измерений и алгоритма обработки. На фоне линейного тренда зафиксированы сложные вариации движений. Значения скоростей, осредненные за весь период наблюдений, ближе к значениям скоростей, полученных по данным нивелирования. Наибольшая активность в изменении вертикальных перемещений свойственна пунктам в регионе Северной Ладоги. В результате определены скорости горизонтальных и вертикальных движений в Ладого-Онежском регионе. Достоверность результатов подтверждается контрольными определениями скоростей горизонтальных и вертикальных движений как ближайших пунктов европейской сети, так и сопредельных российских пунктов, практически совпадающих со стандартными скоростями в рамках Евразийской плиты. Обнаруженное поднятие пунктов MELO и VALM по данным GPS отличается как от результатов нивелирования, так и от значений скоростей депрессии Ладоги по данным равномерных наблюдений и особенно спутниковой альтиметрии. Исследование этого парадокса должно быть продолжено.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ГЕОЛОГИИ. ОБЗОР

А.А. Тронин, В.И. Горный

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН

E-mail: a.a.tronin@ecosafety-spb.ru

Спектральные методы в дистанционном зондировании, и, в первую очередь в геологии получили в последнее время широкое распространение. В настоящее время существует широкий набор авиационной и спутниковой аппаратуры для многоспектральной и гиперспектральной съёмки. Физической основой для применения спектральной съёмки служат особенности спектров природных и антропогенных объектов на земной поверхности. Рассмотрены спектры минералов и горных пород, растительности, водных поверхностей, почв, антропогенных объектов в видимом, ближнем и тепловом ИК-диапазонах. Анализ существующих алгоритмов картоиро-

вания минералов-индикаторов геологических обстановок, перспективных для нахождения месторождений полезных ископаемых по данным видео-спектральной и гиперспектральной съёмок, выявил широкие возможности применения современных математических методов для решения задачи распознавания минералов. Рассмотрены различные методы решения обратной геофизической задачи, такие как двоичное кодирование, волновая характеристика, заполнение спектральными образцами, картирование спектрального угла, спектральное разделение, итеративное спектральное разделение, условная минимизация энергии, проекция на искомое подпространство, классификация, спектральная кросс-корреляция. Отдельной проблемой является решение обратной задачи для теплового ИК-диапазона. Для этого диапазона также разработано несколько методов определения минерального состава подстилающей поверхности. Обзор опыта применения спутниковых спектральных методов показал высокую их эффективность в следующих направлениях: геологическое картирование горных пород по литологическим различиям; картирование минералов-индикаторов геологических обстановок, перспективных на выявление месторождений полезных ископаемых; картирование современных гидротермальных проявлений.

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ АКТИВНЫХ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ И СЕВЕРНЫХ КУРИЛ

О.А. Гирина, Д.В. Мельников, А.А. Нуждаев, С.В. Ушаков, А.Г. Маневич, О.А. Коновалова

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский
E-mail: girina@kscnet.ru

Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (KVERT — Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) в настоящее время — совместный проект ученых Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН), Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) и Аляскинской вулканологической обсерватории (АВО) США. KVERT была организована в 1993 г. в Институте вулканической геологии и геохимии ДВО РАН.

Задача KVERT — предупреждение об опасности распространения пепловых облаков в зоне авиационных перелетов в северо-западной части Тихоокеанского региона. Для этого сотрудники KVERT проводят непрерывные наблюдения за действующими вулканами Камчатки и Северных Курил, стараются быстро реагировать на появление пепловых шлейфов, определять направления их перемещений; оперативно оповещать о пепловой опасности заинтересованные в такой информации службы и организации.

На Камчатке 30 действующих и потенциально активных вулканов, на островах Атласова и Парамушир Северных Курил 6 таких вулканов. В рамках проекта KVERT проводится сейсмический, видео-визуальный и спутниковый мониторинг этих вулканов.

На сегодняшний день непосредственную опасность для населения Камчатки и Северных Курил, а также для проходящих через эти районы международных и местных авиатрасс представляют вулканы: Ключевской, Безымянный, Шивелуч, Карымский, Горелый, Авачинский, Мутновский, Чикрачки, Эбеко. При сильных эксплозивных извержениях в течение нескольких часов или дней в атмосферу и стратосферу выбрасываются сотни кубических метров вулканического пепла (мелких и тонких частиц вулка-

нического стекла и горных пород), а также аэрозолей. Пепловые и аэрозольные облака при таких извержениях могут распространяться на территории в несколько тысяч квадратных километров. Высокая концентрация пепла в атмосфере может сохраняться спустя несколько суток после окончания эксплозивного извержения вулкана и на значительном удалении от него (более нескольких сотен, иногда тысяч километров), поэтому опасность попадания самолетов в пепловые облака сохраняется значительное время и в широком секторе от вулкана.

Важный инструмент для наблюдения за вулканической активностью — использование спутниковой информации. Снимки, а также результаты их обработки и анализа поступают в KVERT ИВиС ДВО РАН в виде: информационных бюллетеней из АВО США по электронной почте с 1998 г.; обработанных с помощью специальных программ снимков со спутников Terra (датчик MODIS) и NOAA (датчик AVHRR) из ДВФ ФГУНПП «Росгеолфонд» МПР России с 2002 г.; исходных данных со спутников Terra и Aqua (MODIS) и NOAA (AVHRR) через Интернет из ЦГМС-РСМЦ г. Хабаровска с 2007 г. Для анализа содержания SO_2 в парогазовых и пепловых шлейфах при извержениях вулканов Камчатки с 2007 г. используются данные ОМ1 с официального сайта NASA (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/Aura/>).

Спутниковые данные анализируются сотрудниками проекта KVERT; в случае необходимости оперативные сообщения о пепловой опасности отправляются по электронной почте всем заинтересованным в этой информации пользователям; спутниковые снимки MODIS помещаются в Интернет на официальный сайт KVERT на веб-сервере ИВиС ДВО РАН: <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/satellite/modis/?C=M;O=D>.

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ТЕРРИТОРИИ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕФТЕПЕРСПЕКТИВНОСТИ

А.Ю. Белоносов, О.С. Мартынов, А.Р. Курчиков, С.А. Шешуков, А.Е. Кудрявцев
Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН, Тюмень
E-mail: belonosov-a@mail.ru

Структурно-тектонический анализ космических материалов направлен на выявление нефтеперспективных структур земной коры.

При оценке перспектив нефтегазоносности структурных элементов используются космические материалы разного масштаба и различных диапазонов электромагнитных волн.

Методика структурно-тектонического анализа и интерпретации космических материалов состоит из трёх этапов.

Этап I — «Обработка и интерпретация космических изображений», состоит в топогеодезическом обеспечении исследований и проведении структурно-геоморфологического анализа материалов космической съёмки (КС). Сначала достигается точность привязки материалов к местности. А затем, на материалах КС, выделяются структурно-тектонические элементы в виде линейных (линеаментов), дуговых и замкнутых образований. Линеаментный анализ дает информацию о поле новейших напряжений. При генерализации схемы линеаментов выделяются «геодинамические-напряженные зоны (ГДНЗ)», связанные с глубинными объектами и процессами тектонической перестройки. Региональная система ГДНЗ, северо-западного и северо-восточного направлений, соответствует планетарному и/или

региональному полю напряжений, обусловленному тектоническими процессами. Локальная система ГДНЗ, субширотного и субмеридионального направлений, соответствует «местному» полю напряжений, обусловленному локальным тектоническим развитием территории. ГДНЗ характеризуются субвертикальным проникновением вглубь недр и, как правило, совпадают как с региональными глубинными (транзитными, сквозными) структурообразующими разломами, так и с локальными, затухающими на глубинах до трёх километров, дизъюнктивами.

Этап II — «Комплексирование геолого-геофизических материалов с системами ГДНЗ (каркас)», заключается в сборе и анализе карт магнитного, гравитационного, теплового и других полей, структурных карт, сейсмических временных разрезов и комплексировании их с ГДНЗ. Сравнительный анализ аномальных участков (зоны трещиноватости, надвиги, сбросы, ступени, террасы и т. д.) с системой ГДНЗ позволяет построить геологические модели верхней части земной коры с элементами геодинамики и локальной тектоники.

Этап III — «Геологическая интерпретация космических материалов (процессы в каркасе)». Задачей третьего этапа является изучение геологического строения исследуемого района и протекающих геодинамических процессов для уточнения особенностей нефтегазоаккумуляции в ловушках углеводородов (УВ).

На основе структурно-тектонического анализа космических материалов построены структурно-тектонические схемы подошвы осадочного чехла с элементами геодинамики юга Западной Сибири масштаба 1: 500 000 и 1: 200 000 для оценки нефтеперспективности. Выделены структурно-тектонические элементы (геоблоки) в доюрском основании. Границами блоков являются разрывно-деформационные зоны, трассируемые с глубин доюрского фундамента до земной поверхности. При детальном анализе космических материалов отмечено более подробное внутреннее строение геоблоков.

По вышеизложенной методике с целью прогнозирования залежей УВ были проведены поисковые работы на ряде площадей юга Западной Сибири в масштабе 1:100 000 (1:50 000). Системы ГДНЗ интерпретировались как зоны субвертикальной трансляции глубинных флюидов. Ловушки УВ с доказанной нефтегазоносностью отмечены в пределах определенного радиуса от мест пересечения ГДНЗ. В местах пересечения ГДНЗ зафиксированы на дневной поверхности аномальные углеводородные показатели, сигнализирующие о наличии залежей в недрах. Это дает основание рассматривать региональные и локальные ГДНЗ в качестве индикаторных систем, позволяющих осуществлять прогноз нефтеперспективности отдельных геоблоков.

Дальнейшее сопоставление разломно-блокового строения осадочно-го чехла по сейсмическим данным с результатами других исследований (в частности, вариационной углеводородной геохимии) показало, что системы ГДНЗ являются трансляторами УВ-флюидов.

Выводы:

- структурно-тектонический анализ космических материалов направлен на выделение систем региональных и локальных ГДНЗ;
- системы ГДНЗ представляют собой проекцию на дневную поверхность разрывно-деформационных зон и имеют глубинное заложение;
- системы ГДНЗ являются трансляторами углеводородных флюидов к дневной поверхности;
- разломно-блоковая модель верхней части земной коры является основополагающей в прогнозировании залежей УВ.

МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ И ПОЧВЕННЫХ ПОКРОВОВ

EARLY DETECTION OF VEGETATION PHYSIOLOGICAL STRESS FROM MULTISPECTRAL DATA

R. Kancheva, D. Borisova, G. Georgiev

Space and Solar-Terrestrial Research Institute — Bulgarian Academy of Sciences,
Sofia

E-mail: rumik@abv.bg

Ecological issues relevant to anthropogenic impacts on the environment and first of all on the biosphere, are of global importance. They have drawn the attention of various scientists imposing the development of efficient means for assessing the affects of anthropogenic factors specifically on vegetation land covers. Heavy metal pollution is one of the most severe problems concerning natural vegetation resources as well as agricultural crops. Among other methods used for plant phyto-diagnostics, an increasing role becomes to play the analysis of land covers radiation behavior. Visible and near infrared measurements have proved abilities in vegetation monitoring for the assessment of plant biophysical parameter. These parameters are associated with plant development and are closely related to vegetation physiological state. In this study multispectral data of peas (*Pisum sativum*) plants have been used to demonstrate the detection of plant physiological stress caused by heavy metal pollution. The effects of CdCl_2 applied in different concentration are associated with plant biomass growth, chlorophyll and carotenoid variations.

ENDMEMBER DECOMPOSITION TECHNIQUES FROM SOIL-VEGETATION MIXTURE REFLECTANCE

R. Kancheva, D. Borisova, G. Georgiev

Space and Solar-Terrestrial Research Institute — Bulgarian Academy of Sciences,
Sofia

E-mail: rumik@abv.bg

A basic problem in data processing and interpretation is spectral mixture decomposition. The determination of the endmember fractions (components proportions) of mixed classes is an essential issue in various applications of remotely sensed data. Soil-vegetation land covers are typical examples and most common case of mixed classes and spectral mixtures. Canopy coverage (vegetation fraction) defines, on the one hand, the reflectance of a soil-vegetation mixture and, on the other, it is an important bioindicator of agricultural crop state and growth. As such plant remote sensing monitoring is closely related to vegetation amount estimation. The actual usefulness of the applied methods depends on their accuracy and prediction reliability. The goal of this paper is to present and compare different techniques for green canopy estimation from multispectral reflectance data.

ESTIMATING ACTUAL ET FOR WHEAT FROM CLIMATIC AND IRS IMAGES DATA USING NEURAL COMPUTING TECHNIQUE IN THE ARID ZONE OF CENTRAL IRAN (MARVAST REGION)

M. Akhavan-Ghalibaf, M. Heidari, A.M. Heidhari
Yazd University, Yazd, Iran
E-mail: makhavan_ghalibaf@hotmail.com

This paper examines the potential of artificial neural networks (ANN) in estimating the actual crop evapo-transpiration (ET) from limited climatic and 4 bands of LISS3 from IRS images data. The study employed feed-forward (new ff) type ANN for computing the daily values of ET for winter wheat crop. From 2 transfer functions as, Levenberg and Marquardt each using varied input combinations of climatic variables as temporal data and NDVI as temporal-spatial (TS) data at 6 step of crop growth for one year, have been trained and tested. From NDVI the studied area was classified in to separated crops and trees polygons beside of winter wheat. The model estimates are compared with combination of measured class A evaporation pan with plant coefficient (k) and measured water balance in the field. The results of the study clearly demonstrate the proficiency of the ANN method in estimating the ET. The analyses suggest that the TS evapo-transpiration could be computed from air temperature and LISS3 bands of IRS using the ANN approach. However, the present study used the data for a limited period; therefore further studies using more data may be required to strengthen these conclusions.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ АРКТИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

И.А. Лавриненко

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург
E-mail: lavrinenkoi@mail.ru,

Активно происходящий процесс бореализации тундровой флоры в пределах европейской Арктики, отмеченный в последние десятилетия, свидетельствует о том, что растительный покров достаточно быстро реагирует на потепление климата и может служить индикатором климатических изменений.

Для понимания значимости процессов динамики растительности для биоты арктических островов следует учитывать, что состояние растительного покрова является основной целостности биотопов всех представителей животного мира — птиц, млекопитающих и беспозвоночных. Любые изменения растительного покрова арктических экосистем неизбежно ведут к изменениям в распределении биотопов животных, перераспределению (а зачастую и к исчезновению) их кормовых и гнездовых площадей. В связи с этим вопросы динамики растительности Арктики являются ключом к пониманию динамики численности многих видов птиц и млекопитающих высоких широт.

Вегетационный индекс NDVI отражает интенсивность накопления растениями зеленой массы, характеризуется высокой чувствительностью к изменениям в растительном покрове и широко используется для оценки сезонной и межгодовой динамики растительности.

Оценку динамики зеленой массы на арктическом острове Вайгач провели для ключевого участка 10×20 км, на котором представлены все типы растительных сообществ. Сравнительный анализ NDVI по 25 снимкам

спутников LANDSAT-4–7 за периоды вегетации с 1984 по 2009 г. позволил выявить следующие тенденции:

1. Сравнительный анализ динамики NDVI в течение вегетационного периода показал, что к 2006–2009 гг. (по сравнению с 1984–1986 гг.) произошёл сдвиг максимума или пика вегетации с июля – начала августа на вторую половину августа. Так, анализ снимков за десятилетие конца прошлого века (1984–1993) показал, что максимум вегетации на острове Вайгач приходился на середину – вторую половину июля, тогда как в середине – второй половине августа общий показатель NDVI для ключевого участка существенно снижался, что обусловлено более ранними сроками окончания вегетации и усыханием зеленых частей растений.

Вторая серия снимков, по которым был проведен расчёт индекса NDVI, охватывает вегетационные периоды конца первого десятилетия XXI в. (с 2006 по 2009 г.). Максимум вегетации в этот временной промежуток приходится уже на вторую половину августа, когда отмечаются наиболее высокие показатели NDVI в пределах всего участка.

2. Анализ снимков позволяет сделать вывод, что общая продолжительность активной вегетации в 2006–2009 гг., по сравнению с 1984–86 гг., увеличилась примерно на 2 недели. Об этом свидетельствует сохранение NDVI от 0,4 и выше на снимках 2006–2009 гг. до конца августа, тогда как на снимках 1984–1986 гг. к концу августа значения NDVI заметно снижались.

3. Наиболее важная тенденция, которая проявляется при анализе спутниковых снимков, – это достоверное увеличение значений NDVI на большинстве контуров в пределах ключевого участка за промежуток времени 20–25 лет. Выявленная тенденция показывает, что за последние 20–25 лет произошло «озеленение» территории острова Вайгач за счёт возрастания активности и продуктивности жизненных форм растений с зелеными надземными частями – трав, кустарничков и кустарников. Учитывая, что ключевой участок охватывает большинство типов сообществ, встречающихся на острове Вайгач, на наш взгляд, данную тенденцию можно экстраполировать на большую часть территории всего острова.

Подавляющее большинство изменений, отмеченных нами, в наибольшей степени характерны для луговых и ивняковых сообществ, тогда как для арктических тундр и группировок растительности, приуроченных к верхним участкам скальных и каменистых обнажений, эта тенденция проявляется слабо.

БАЗА ДАННЫХ О ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЁРАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС

Н.А. Брыксина¹, Ю.М. Полищук^{1,2}, В.Ю. Полищук¹

¹ Югорский НИИ информационных технологий, Ханты-Мансийск

² Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

E-mail: pna@uriiit.ru

В целях изучения геокриологических изменений на территории Западной Сибири с использованием космических снимков в качестве индикаторов были выбраны термокарстовые озёра, которые хорошо дешифрируются на космических изображениях. Проведённый анализ предполагал изучение изменений площади озёр, что характеризует динамику геокриологических процессов. Для проведения исследования было выбрано тридцать тестовых участков, которые располагаются в разных зонах вечной мерзлоты. На каждый участок были подобраны разновременные космические снимки

LANDSAT за период 1973–2009 гг. Для исследования внутрисезонных изменений площадей озёр в летний период года использовались радиолокационные снимки ERS-2 и ENVISAT за период 2004–2007 гг. Измерения площадей озёр проводились с использованием средств геоинформационных систем ENVI 4.4 и ArcGis 9.2. На каждом из этих участков определялось от нескольких сотен до нескольких тысяч термокарстовых озёр различных размеров. С целью удобства хранения данных по площадям термокарстовых озёр в центре дистанционного зондирования Земли ЮНИИИТ была создана база данных по площадям термокарстовых озёр Западной Сибири на основе космических снимков (LakesAreas DB).

Основным назначением базы данных является накопление и хранение данных о площадях озёр и их изменениях за период 1973–2009 гг. Объём базы данных составляет около 180 тысяч записей (23 Мбайт).

База данных включает следующие таблицы, определяющие:

- площади термокарстовых озёр (Lakes);
- тестовый участок, на котором находится озеро (Polygons);
- год измерения площади термокарстового озера (Years);
- источник данных, который предоставляет информацию по площадям термокарстовых озёр (Data_Sources);
- день измерения площади термокарстового озера (Days);
- месяц измерения площади термокарстового озера (Months).

База данных использована в исследованиях динамики термокарста на территории многолетней мерзлоты Западной Сибири. В результате проведённых исследований было установлено, что на границе широт 69 и 70° с. ш. наблюдается переход от сокращения площадей озёр к резкому их увеличению. При этом в сплошной зоне отмечаются два разнонаправленных процесса — сокращение площадей озёр, которое наблюдается в более низких широтах (68–70° с. ш.) и увеличение площадей озёр в более высоких широтах (более 70° с. ш.). Проведенный анализ взаимосвязи климатических и геокриологических изменений показал, что наблюдаемое в последние три десятилетия повышение среднелетней температуры воздуха сопровождается в среднем сокращением площадей термокарстовых озёр в зоне вечной мерзлоты.

Работа поддержана РФФИ (проект № 08-05-92496-НЦНИЛ_a).

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВЕГЕТАЦИЮ ЛЕСОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

О. Хабарова, И. Савин, М. Медведева

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: olik3110@list.ru

Проведено моделирование среднегодовой скорости прироста зелёной биомассы лесов северо-евразийского региона на основе метеорологических данных и Кр-индекса геомагнитной активности за 25 лет. Идея исследования базируется на предположении, что глобальные изменения внешней среды должны находить отражение в осреднённых вегетационных характеристиках лесов определенного типа.

Предыдущие работы показали, что данные дистанционного зондирования спутников NOAA-AVHRR позволяют с хорошей точностью отслеживать локальные изменения вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и строить корреляционные карты зависимости NDVI от параметров внешней среды в данной конкретной местности (с разрешени-

ем до 8 км). При систематизации данных — осреднении не по локальной области, а по всему ареалу распространения двух выбранных типов лесов (хвойных вечнозеленых и лиственничных), были получены кривые среднегодового изменения NDVI (или отношения NDVI к длине сезона вегетации) с 1982 по 2006 г. Эти кривые характеризуют вариации глобального прироста зеленой массы лиственниц и вечнозеленых и потенциально связаны с изменением климата на континентальном уровне. Прослеживается уверенный тренд снижения объема зеленой массы за 25 лет (у вечнозеленых падение круче, чем у лиственничных), а также вариации скорости прироста биомассы с периодом 2–5 лет.

Показано, что среднегодовая скорость прироста биомассы V может быть смоделирована для обоих типов лесов при введении в рассмотрение параметров внешней среды, наиболее хорошо коррелирующих с V (коэффициенты корреляции: $|0,3-0,7|$ для лиственниц и $|0,3-0,8|$ для вечнозеленых). Это средняя инсоляция за год, средняя температура вегетационного сезона, сумма осадков за год и планетарный индекс геомагнитной активности Кр. При этом полученный комплексный модельный параметр коррелирует с V лучше, чем каждый из перечисленных параметров по отдельности. Коэффициент корреляции: 0,8 для лиственниц и 0,9 для вечнозеленых.

Хвойные вечнозеленые более чувствительны к вариациям параметров внешней среды. Отчасти это может быть связано с тем, что расчет параметров для вечнозеленых более устойчив, а для лиственничников — менее устойчив из-за ежегодного опадания хвои и из-за сильного изменения ее цвета осенью (пожелтение-покоричневение). Кроме того, лиственничные леса менее требовательны к почвам и климату.

Интересна линейная зависимость V от Кр-индекса геомагнитной активности. Воздействие может быть как опосредованным (например, через изменение глобальной циркуляции атмосферы), так и прямым в связи с тем, что дерево — заземленный объект с движущейся проводящей жидкостью внутри. Как показывают опыты, деревья весьма чувствительны к вариациям магнитного поля Земли.

Полученная формула едина для обоих типов лесов с точностью до коэффициентов. Из неё следует, что особенно негативно на росте деревьев может сказываться глобальное потепление в сочетании с увеличением осадков (в связи с превышением границ толерантности растительного сообщества).

Таким образом, процессы роста деревьев зависят довольно сложным образом сразу от нескольких воздействующих факторов. И только анализ их сочетания может приблизить нас к пониманию особенностей комплексного воздействия внешней среды на лесные массивы.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI в.

Е.А. Черенкова

Институт географии РАН, Москва

E-mail: lcherenkova@marketresearch.ru

В работе исследовано изменение индекса почвенной влаги SWI (Soil Water Index) из архива декадных данных Технологического института Вены (Австрия) пространственного разрешения $12,5 \times 12,5$ км и нормированного разностного вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) из архива данных двухкомпонентного набора GIMMS (Global Inventory

Modeling and Mapping Studies) пространственного разрешения $0,07 \times 0,07^\circ$ с мая по сентябрь в период 1992–2006 гг. на равнинной территории юга Европейской России в степной и полупустынной ландшафтной зоне. Индекс SWI показывает содержание воды в процентах в почвенной толще глубиной до 1 м.

Выявлена чувствительность спутникового вегетационного индекса NDVI к условиям влажности почвы. Проведенное сравнение сезонного хода влажности почвы в период активной вегетации по спутниковым и наблюдаемым данным показало, что спутниковая информация адекватно отражает тенденцию сезонных колебаний данных наземных измерений почвенной влажности в полупустынных ландшафтах, занижая майские значения в степной зоне. Были определены периоды пониженного/повышенного влагосодержания почвы и состояния растительного покрова «ниже»/«выше» нормы относительно среднемесячных значений. Установлено, что во второй половине периода 1992–2006 гг. чаще наблюдались условия пониженного влагосодержания почвы (с мая по сентябрь) и состояние зеленой фитомассы «ниже» нормы (с июня по сентябрь).

Показано, что пространственное и временное распределение отклонений (как положительных, так и отрицательных) индекса почвенной влаги от средних месячных значений хорошо согласуется по знаку с отклонениями нормированного разностного вегетационного индекса. Проанализирована функциональная и корреляционная зависимость вегетационного индекса от индекса почвенной влажности для степной и полупустынной ландшафтной зоны. Выявлено, что в мае–июне связь между индексами в полупустыне была более тесной, чем в степной зоне. В степной зоне территория со статистически значимыми коэффициентами корреляции рядов вегетационного индекса и индекса влажности почвы увеличивалась от мая к сентябрю.

Работа выполнена при поддержке Программы ОНЗ РАН № 12 (проект № 13).

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛОКАЛЬНО-АДАПТИВНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВРЕМЕННОЙ СЕРИИ КАРТ ТИПОВ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА

И.А. Уваров, С.А. Барталёв

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: beml@smis.iki.rssi.ru

Решение задач мониторинга глобальных процессов в биосфере требует регулярного и методически единообразного картографирования растительности, характеризующегося высокой степенью автоматизации. Для этого в ИКИ РАН разработан метод глобального картографирования растительного покрова по спутниковым данным на основе локально-адаптивной обучаемой классификации. Он предусматривает автоматизированное обучение классификатора по существующим картографическим материалам, интерактивное совершенствование используемой базы опорных данных и повторяемое автоматическое локально-адаптивное картографирование растительного покрова на основе обновляемых спутниковых данных. Для реализации разработанного метода был создан комплекс программ.

Технология локально-адаптивной классификации активно применяется для картографирования растительного покрова России на основе данных прибора MODIS. В частности, была разработана подробная база обучающих данных, характеризующая пространственное распределение типов земного

покрова на территории страны. Она обеспечила создание карты растительности России по состоянию на 2005 г.

Для разработки методики создания временных серий карт типов земного покрова был проведен ряд экспериментов по классификации спутниковых данных разных лет с использованием существующей базы обучающих данных. Эксперименты подтвердили принципиальную возможность получения повторяемых результатов картографирования, а также указали на наличие методических вопросов, требующих решения при создании временных серий карт земного покрова. К числу таких вопросов относятся:

- формализованная и автоматизированная актуализация обучающих данных, учитывающая динамику растительного покрова в течение заданного периода;
- сокращение влияния вариаций в условиях наблюдения на результаты классификации экосистем;
- контроль правдоподобия наблюдаемых изменений растительного покрова.

В докладе представлены текущие методические разработки авторов, а также оценка возможностей и ограничений, связанных с созданием временных рядов карт типов наземного покрова.

ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ПРОЕКТИВНОГО ПОКРЫТИЯ ТЕРРИТОРИИ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ ПОЛУЧЕННЫХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ MODIS

С.С. Барталёв, С.А. Барталёв, В.О. Жарко

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: bartalev.ss@d902.iki.rssi.ru; bartalev@d902.iki.rssi.ru; zharko@d902.iki.rssi.ru

Регулярная оценка характеристик лесного покрова является необходимой компонентой информационного обеспечения при решении задач управления лесными ресурсами. Одним из важных показателей такого рода, доступных для определения по спутниковым данным, является лесистость территории, или, другими словами, доля покрытой лесом площади. В качестве интегральной характеристики облесённости территории может также выступать и степень её проективного покрытия древесной растительностью, для получения которой наряду с лесистостью необходимо учитывать и сомкнутость древесного полога.

В докладе показана возможность оценки указанных выше характеристик лесов на основе комбинированного использования спутниковых данных MODIS, полученных в зимний период, и выборочных изображений LANDSAT-TM, необходимых для получения опорных карт лесного покрова для сети тестовых участков. Апробация предложенного подхода на примере тестовых регионов показала потенциальную возможность её применения для мониторинга лесов.

ВОЗМОЖНОСТИ ПОДСПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ УЧАСТКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СТОРСАМ

Е.В. Полякова, М.Ю. Гофаров

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск

E-mail: lenpo26@yandex.ru

Россия обладает самыми обширными лесными богатствами. Сохранение этих богатств — одна из ведущих задач лесного хозяйства.

Эффективным инструментом, позволяющим оперативно и детально исследовать состояние природных ресурсов, являются данные дистанционного зондирования Земли. В области лесного хозяйства методы ДЗЗ используются при инвентаризации лесов с целью определения качественных и количественных характеристик лесных массивов, т. е. определения типов лесонасаждений и доминирующих пород, оценки запасов лесоматериалов. Важными задачами, решаемыми при помощи данных ДЗЗ, также являются обнаружение и наблюдение лесных пожаров; определение оценки ущерба, нанесенного лесными пожарами, болезнями леса, загрязнением воздуха, бурями, кислотными дождями; контроль уничтожения лесов в результате планомерных и бесконтрольных вырубок, приводящих к уменьшению фонда ценных пород деревьев.

Незаменимую роль при проведении лесоохранных работ играет авиация. С использованием авиации проводится борьба с лесными пожарами, защита от вредителей и болезней, экологический мониторинг и мониторинг лесопользования. Однако с 90-х гг. прошлого века, в связи с экономической обстановкой в стране, произошло резкое сокращение объёмов лесоавиационных работ.

В настоящее время с активным развитием технических средств и геоинформационных технологий всё более значимым и актуальным становится направление, связанное с внедрением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в гражданскую сферу деятельности современного общества. БПЛА *СторСам* — это радиоуправляемая модель планерного самолета, оборудованная собственным GPS-приёмником, миниатюрным автопилотом (*MicroPilot, Canada*), а также цифровой фотокамерой с набором фильтров для съёмки в различных диапазонах. Самолет *СторСам* массой около 3 кг запускается «с руки», взлетает и садится автоматически, движется по заранее спланированному в специальной ГИС-программе маршруту. Программа наземного контроля (*MicroPilot Horizon 3.4*) и радиомодем позволяют непрерывно наблюдать за передвижением самолета на экране монитора и в случае необходимости вносить коррективы в курс полета.

Применение БПЛА *СторСам* открывает новые перспективы в ведении лесного хозяйства. При значительно меньших финансовых затратах (по сравнению с космо- и авиасъёмкой) высокоэффективно решение такого спектра задач, как осмотр пожаров, воздушное лесопатологическое обследование, экологический мониторинг, контроль лесного фонда, освидетельствование мест рубок, выявление несанкционированных вырубок и борьба с лесными ворами. Современные экономические условия требуют от лесного хозяйства поиска эффективных способов снижения производственных затрат при улучшении качества проводимых лесоохранных мероприятий. Беспилотный самолет *СторСам* может успешно решать определённый узкий спектр важных задач. Основным направлением его использования является оперативное применение и охрана небольших локальных участков лесного фонда.

Работы выполняются при поддержке РФФИ (проект № 09-05-00547-а).

ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕННОЙ ПОЖАРОМ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ЭВЕНКИЙСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

А.А. Кокутенко, Е.А. Охоткина, А.И. Сухинин

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад.

М.Ф. Решетнева, Красноярск

E-mail: saks_a@mail.ru

В работе с использованием снимков LANDSAT-ETM+ проведена классификация поврежденных пожаром участков леса на территории Эвенкийского автономного округа. Представлена качественная и количественная оценка повреждений.

Выбор данной территории не случаен и обусловлен несколькими причинами. Во-первых, видовой состав леса Эвенкии разнообразен и уникален: преобладают такие породы как лиственница, сосна, ель, кедр. Во-вторых, на данной территории за многолетний промежуток времени зафиксировано большое количество пожаров (по данным NOAA), которые ввиду низкой численности населения имеют не столько антропогенный, сколько природный характер. В результате действия таких пожаров происходит изменение структуры и породного состава леса. И, в-третьих, исследуемые поврежденные лесные территории простираются в труднодоступных местах в зоне вечной мерзлоты. Вследствие этих причин научно-экспериментальная работа является актуальной для лесных хозяйств Красноярского края, так как обусловлена экономичностью и быстротой выполнения действий.

На первом этапе работы проводятся предварительный анализ мультиспектрального снимка с целью создания интегральных сигнатур классов растительного сообщества, характерного для данной территории. По каждому из тестовых участков получали параметры статистического распределения спектральных сигналов разных классов, а также строились спектральные гистограммы для сравнительного анализа.

Второй этап заключался в проведении собственно классификации исследуемой территории. Для этой цели использовался метод максимального правдоподобия. В результате исследовательской работы на снимках LANDSAT-ETM+ было выделено большое число гарей, общая площадь которых составила 1750,7 км². Были получены значения NDVI в интервале от 0 до 0,55 и выделены 8 классов имеющейся в данном контуре гари здоровой и поврежденной пожарами растительности. Классификация по степеням поражения позволила оценить площади различных классов поражения внутри пожарищ. Получены спектральные кривые для различных степеней поражения. Экспериментальные результаты значений вегетационного индекса, классификация методом максимального правдоподобия и анализ спектральной яркости в различных каналах спектрорадиометра ETM+ спутника LANDSAT позволили сделать вывод о наличии и возможности выделения внутри контура гари областей, имеющих различные степени поражения.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ФЦП НК-506П/27).

ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ПЛАТО ПУТОРАНО ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.Т. Им

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

E-mail: stim@ksc.krasn.ru

Цель исследования — анализ пространственно-временной динамики растительного покрова на плато Путорано по данным космосъёмки и ГИС. Анализировались съёмки LANDSAT, Quickbird, Corona (KH-9) и MODIS (MOD13Q1). Установлено, что с 1973 по 2009 гг. произошло увеличение сомкнутости древостоев; площади кустарников и тундр практически не изменились; нет достоверного продвижения древостоев по высоте; увеличились показания NDVI. Выявлены связи распределения древостоев по элементам рельефа. Прослежена связь установленных изменений с динамикой климата.

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В МОНИТОРИНГЕ ЛЕСОВ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.А. Хамедов¹, Ю.М. Полищук^{1,2}, В.Ю. Полищук¹, И.А. Маслов^{1,2}

¹ Югорский НИИ информационных технологий, Ханты-Мансийск

² Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

E-mail: havl@uriit.ru

Эффективность мер по снижению негативного воздействия нефтедобычи на лесные территории Западной Сибири во многом зависит от оперативности получения и использования информации о текущем состоянии лесных ресурсов. Очевидно, что для оперативного получения информации о состоянии лесов необходима многоуровневая система мониторинга, основанная на совместных наземных и дистанционных (авиационных, спутниковых) наблюдениях.

Авторами рассматриваются вопросы создания системы регионального мониторинга состояния лесных ресурсов на основе геоинформационных технологий с использованием наземных и спутниковых данных. Так как большая часть лесных территорий таежной зоны Западной Сибири относится к числу наиболее труднодоступных, необходимым информационным компонентом системы должны быть данные дистанционного зондирования (ДДЗ) земной поверхности. Помимо оперативной съёмки, в системе мониторинга важно использование архивной информации за последние десятилетия для анализа длительных во времени процессов воздействия. В Центре ДЗЗ ЮНИИ ИТ накоплен архив космических снимков территорий таежной зоны Западной Сибири и Урала общим объёмом 20,2 Тбайт.

В состав системы мониторинга входят следующие компоненты: база данных о лесотаксационных характеристиках, информация о степени воздействия на лесные комплексы природных и антропогенных факторов, база картографических данных, база спутниковых данных, программное обеспечение ГИС, а также прикладные программы анализа изменения состояния лесов в условиях воздействия природных и антропогенных факторов. Основными задачами системы мониторинга являются выявление и анализ негативных изменений лесной растительности, оперативное обнаружение лесных гарей, вырубок и отклонений от проектов использования лесов,

оценка ущерба от лесных пожаров и незаконного использования лесных ресурсов.

Работы выполнены при поддержке программы Европейского космического агентства CAT-1 Project 3110 «All-weather detection of forest fires and their consequences in Northern Siberia» и программы государственных заказов Правительства ХМАО-Югры.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ВСПЫШКИ МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ НЕПАРНОГО ШЕЛКОПРЯДА В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

А.М. Крылов, А.Н. Бобринский

ФГУ «Российский центр защиты леса», Пушкино Московской обл.

E-mail: amkrylov@gmail.com

С 2009 г. на территории Краснодарского края действует вспышка массового размножения непарного шелкопряда на территории 500 тыс. га. Непарный шелкопряд может вызывать полную дефолиацию насаждений, что приводит к их ослаблению и временной утрате ими эстетических и средообразующих свойств. В ряде случаев в комбинации с другими факторами многократное объедание может приводить к гибели насаждений.

ФГУ «Рослесозащита» ведет мониторинг численности непарного шелкопряда и степени дефолиации насаждений в крае. Из-за большой площади очага, труднодоступности некоторых участков и высокой динамики изменения ситуации привлекательно использование дистанционных методов для оценки степени дефолиации насаждений. При работе использовались космические снимки MODIS, LANDSAT-TM/ETM+, Rapid Eye. Наибольшие трудности возникли с получением безоблачных снимков на всю территорию вспышки. Из-за плохой погоды безоблачные снимки LANDSAT на западную часть района оказались доступны только после завершения восстановления листвы. Лучше показал себя Rapid Eye, снимки с которого были получены хотя и после прохождения пика дефолиации, но позволили оценить ситуацию на всей территории вспышки. Для выявления поврежденных участков использовалась разница индекса NDVI, определённого по снимкам участков текущего года и прошлых лет. Расчёт индекса производился попиксельно в границах, покрытых лесной растительностью. Границы таких участков определялись путем классификации снимков по алгоритму ISODATA с последующей переклассификацией и визуальным контролем. Для фильтрации краевых эффектов из лесных участков исключались граничные пиксели. Наземная проверка этих участков показала высокую достоверность выявления. В то же время, вместе с участками дефолиации выявляются участки выборочных рубок и новые линейные сооружения. Линейные сооружения исключались визуально, участки выборочных рубок — на основе материалов лесничеств. Полученные результаты используются при планировании наземных учётов численности непарного шелкопряда и прогнозировании дальнейшего развития вспышки.

ЗАДАЧИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЛЕСОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

А.А. Чухланцев, В.П. Саворский

Фрязинский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

E-mail: savor@ire.rssi.ru

Дистанционные наблюдения за санитарным состоянием лесов и лесопатологической обстановкой являются одним из основных способов лесопатологического мониторинга. При этом основная цель дистанционных наблюдений — своевременное обнаружение опасных отклонений в санитарном состоянии лесов, а также предварительная оценка размеров повреждений. Однако существует круг задач дистанционного зондирования лесов, который определяется их существенной ролью в процессах формирования и изменения климата. Как следует из проведенных к настоящему времени исследований, климатические тренды существенно зависят от состояния глобального растительного покрова. Для оценки этой зависимости применяются глобальные модели, использующие параметры, которые, в принципе, могут быть определены по данным спутникового мониторинга. В частности, в ряде исследований используется индекс NDVI для расчёта средней за месяц фотосинтетически активной радиации, поглощенной зелеными листьями растительного полого. В результате оцениваются скорости транспирации и фотосинтеза. Теоретические оценки составляющих радиационного баланса в системе атмосфера — растительность — почва требуют знания параметров пограничного слоя атмосферы, динамических параметров растительности и почвы, например, биомассы, температуры почвы и запаса воды в слое корней. Для высоких широт требуется информация о запасах снега и льда.

В данной работе рассматриваются возможности микроволнового дистанционного зондирования растительных покровов из космоса для определения параметров глобальных климатических моделей. Формулируются задачи спутникового мониторинга лесов при изучении и прогнозе глобальных климатических изменений.

ИЗМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПАХОТНЫХ УГОДИЙ РОССИИ ЗА ПЕРИОД С 1982 ПО 2006 г., ВЫЯВЛЕННЫЕ ПО ДАННЫМ NOAA AVHRR

М.А. Медведева, И.Ю. Савин, С.А. Барталёв

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: smis@d902.iki.rssi.ru

Растительный покров пахотных угодий является динамичным образованием, многолетние изменения которого обусловлены как спецификой их использования, так и воздействием на него изменяющихся климатических условий. Анализ многолетних рядов вегетационного индекса NDVI для растительности пахотных угодий, рассчитанного по спутниковым данным серии NOAA/AVHRR за период с 1982 по 2006 г. (GIMMS), показал, что практически на всём исследуемом временном участке выявляются статистически значимые тренды растительного покрова. Направленные изменения отсутствуют лишь на 4 % пахотных земель.

В Предуралье и на юге Западносибирской равнины наблюдается сдвиг границ вегетации на более позднее время. На западе исследуемой территории выявлено более раннее наступление начала вегетации. Для даты окончания вегетации характерен позитивный тренд вдоль русла Амура и отрицательный — у истоков Лены.

Для показателя «Сезонный максимум NDVI» характерны отрицательные тренды на пахотных угодьях восточной и северо-западной частей России. Момент достижения сезонного максимума NDVI становится более ранним на северо-западе Алтая, на восточной части границы России и Украины и вдоль русла Волги — от Волгограда до Астрахани.

Фотосинтетический потенциал растительности за сезон вегетации увеличивается в европейской части страны и в Предбайкалье, а за период с начала сезона вегетации до даты максимума — на пахотных землях севера России и уменьшается местами на северо-западе.

С использованием корреляционного анализа проанализирована связь наблюдаемой динамичности растительности пахотных угодий с изменениями климата. Обнаружено, что основная часть (87 %) выявленных изменений растительности — климатически индуцированная.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛЕСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО- ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

И.В. Кохан

Научно-производственное республиканское унитарное предприятие
«Космоаэрогеология», Минск, Республика Беларусь
E-mail: kosmoaerogeology@tut.by

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ) был основан 18 июля 1988 г. в зонах отчуждения (эвакуации) и отселения Чернобыльской АЭС. Он объединил в себе наиболее загрязнённые радионуклидами территории трёх районов Гомельской области Беларуси: Брагинского, Наровлянского и Хойникского.

Территория ПГРЭЗ представляет собой уникальный объект для научных исследований, так как только здесь можно наблюдать за процессами естественного восстановления природных объектов, подвергшихся сильному антропогенному преобразованию и радиационному воздействию. Как показывает практика, изменение состояния данной территории происходит довольно высокими темпами.

Для отслеживания таких изменений необходимо проведение частых и крупномасштабных исследований, требующих больших финансовых, временных и людских ресурсов. Для существенного снижения затрат и ускорения исследовательских работ предлагается осуществлять мониторинг изменений растительного покрова на территории ПГРЭЗ на основании совместного анализа разновременных космических снимков.

Для этого было отобрано четыре космических снимка с незначительным влиянием облачности и максимально возможно приближенных по фазе фенологического развития растительности: три снимка LANDSAT-TM (1988, 1994 и 2007 гг.) и снимок LANDSAT-ETM+ (1999). В процессе работы использовались только каналы видимого, ближнего инфракрасного и среднего инфракрасного диапазонов исходных изображений с пространственным разрешением 30 м, которые обрабатывались в программном пакете ENVI. Данные были взаимно увязаны, радиометрически нормализованы методом линейной регрессии и преобразованы в значения коэффициентов отражения.

На следующем этапе базовый космический снимок классифицировался методом ISODATA, после чего производилась интерпретация полученных

кластеров в информативные классы при помощи дополнительных источников информации (лесостроительных данных, библиотек спектральных признаков объектов, наземных данных, вегетационных индексов и т. д.). Далее на основании выделенных по базовому изображению классов и дополнительных источников информации была проведена классификация небазовых снимков методом классификации с обучением.

На основании интерпретации классифицированных снимков и их сопоставления, а также с помощью модуля определения изменений были получены следующие результаты:

- прекращение хозяйственной деятельности на территории исследования повлекло за собой постепенное зарастание бывших сельскохозяйственных угодий кустарниковой и древесной растительностью;
- проведенные гидротехнические мероприятия на мелиоративных системах заповедника с целью аккумуляции стока негативно повлияли на гидрологический режим региона, вследствие чего оказались затопленными и заболоченными значительные участки территории ПГРЭЗ;
- отдельные лесные массивы заповедника, расположенные в пониженных элементах рельефа, оказались заболоченными или затопленными, из-за чего начался постепенный процесс их деградации;
- из-за пожаров, естественной гибели или вырубок только в период с 1999 по 2007 г. на территории заповедника исчезло более 990 га леса;
- происходит разрушение и зарастание растительностью бывших населённых пунктов, дорог и т. д.;
- наблюдается переход песчаных и прочих малопродуктивных земель, а также высохших болот в покрытую лесом территорию, что можно объяснить процессами естественного зарастания, а также усилиями работников заповедника по посадке леса.

Проведенные исследования позволили разработать методику мониторинга изменений растительного покрова, происходящих на территории ПГРЭЗ, по разновременным снимкам спутниковых систем LANDSAT-TM/ETM+, которая может применяться для постоянного контроля происходящих изменений, их качественной и количественной оценки. На основании последнего изучения и анализа полученной информации можно делать прогнозы ожидаемых изменений и, в случае необходимости, принимать соответствующие меры. Полученная методика может также успешно использоваться для составления не только карт растительного покрова, но и топографических, различных тематических карт экологического, природо-ресурсного, природоохранного и другого содержания.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

Т.С. Хайбрахманов, И.А. Лабутина
МГУ им. М.В. Ломоносова
E-mail: khaibrik89@yandex.ru

Попытки использовать космические снимки для изучения городских территорий предпринимались и раньше, но эффективность их применения ограничивалась недостаточно высоким пространственным разрешением. Всё более широкое распространение космических снимков с пространственным разрешением лучше 5 м и интервалом съёмки несколько дней (GeoEye-1, WorldView-2, IKONOS и др.) и даже каждый день (RapidEye) обеспечивает высокую оперативность получения данных. В связи с этим появилась воз-

возможность более широко использовать космические снимки для изучения и картографирования городских территорий.

На снимках сверхвысокого пространственного разрешения уверенно распознаются многие объекты городской застройки: отдельные здания, улицы и внутриквартальные проезды, железнодорожные пути и т. д. Свойства объектов и их функции удается распознавать при использовании сочетания нескольких признаков, таких как форма и размеры, особенности взаимного расположения, а также путем логических заключений. Этим объясняется преобладание визуального дешифрирования при функциональном зонировании городской территории. Карты функциональных зон, создаваемые обычно при проектировании территории города, могут также служить основой для изучения экологической обстановки и создания геохимических карт, поскольку распределение загрязнителей часто соотносится с функциональным типом застройки. Карта такого типа на территорию Восточного административного округа Москвы послужила основой для создания геохимических карт загрязнения городской среды.

Распределение воздушного потока и переносимых загрязнителей в зоне жилой застройки зависит от высоты зданий, их преимущественной ориентировки и взаимного расположения (структуры застройки), а также от наличия источников загрязнения — объектов промышленности и транспорта. Использование космических снимков сверхвысокого разрешения позволяет получить довольно полную информацию для районирования городской территории по этим признакам. Внутриквартальные зеленые насаждения являются важной частью экологического каркаса городской территории и ограничение распространения воздушных загрязнителей — одна из их функций. В качестве характеристики степени озеленения жилой застройки можно использовать долю площади зеленых насаждений от площади квартала. Надежный способ получения этих данных — применение контролируемой классификации многозонального космического изображения, в результате которой можно также получить границы зеленых насаждений и водоемов на городской территории, выделить различные типы растительности в парковых зонах, участки с угнетенной, поврежденной растительностью вблизи источников загрязнения.

Космические снимки в тепловом диапазоне, несмотря на относительно низкое пространственное разрешение, также могут быть полезны при геохимических исследованиях городской территории. В последние десятилетия некоторые промышленные предприятия-загрязнители выведены за пределы городов, а их территория используется не по назначению. Наложение изображения промышленных предприятий, полученное по снимкам и статистическим источникам, на результат квантования яркостей на снимке в тепловом ИК-диапазоне позволяет выявить действующие промышленные предприятия по приуроченным к их местоположению «островам тепла». Космические снимки позволяют создавать экологические карты различной тематики, отражающие связь между городской застройкой и распределением загрязнителей в воздушной среде и почвенном покрове.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ СЪЁМОК ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ УЧАСТКОВ ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЯ НА РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

В.М. Жирин, С.В. Князева, С.П. Эйдлина

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва
E-mail: knsvetl@gmail.com

Успешность применения данных дистанционных съёмок зависит от оптимального решения триединой задачи, включающей достоверное обнаружение, опознание объектов наблюдений на аэрокосмическом изображении и интерпретацию полученных результатов с учётом современных научных представлений об этапах восстановительной динамики лесов.

Ход лесообразовательного процесса во многом определяется особенностями начальной фазы, которая наступает вслед за нарушениями лесного покрова после лесных пожаров, массового размножения насекомых-вредителей, ветровалов, рубок леса и др. Процесс лесовозобновления на лесных землях (так называемого фонда лесовосстановления) проходит либо без смены пород (восстановление таежных лесов с преобладанием коренных хвойных пород), либо — со сменой преобладающих древесных пород. В ряде случаев в результате разрушающих воздействий факторов среды происходит замещение одних лесных экосистем экосистемами других типов (заболочивание мест рубок, образование лугов, возникновение на месте древостоев пустырей после многократного прохождения лесных пожаров и др.). Использование типов лесорастительных условий (типы или группы типов леса, типы условий местопроизрастания) для объединения лесных земель, однородных по климатическим и прямо действующим эдафическим факторам (режим увлажнения, состав почв и т. д.), дает представление об их экологическом потенциале и позволяет прогнозировать тенденции и ход лесообразовательного процесса.

На примере нескольких участков равнинной территории европейской части страны проведено исследование информативности разновременных космических снимков (ASTER, ALOS/AVNIR, SPOT4 и др.) для задач лесовосстановления. Приведён перечень основных объектов, характеризующих восстановительную динамику лесов на разных стадиях, и дана оценка достоверности их распознавания по материалам аэрокосмических съёмок различного пространственного разрешения.

Изучение возможностей дистанционного сопровождения лесообразовательного процесса на основе выявления связей признаков восстановительной динамики лесов с образительными свойствами материалов дистанционных съёмок, их анализ и практическое применение рассматривается как один из путей осуществления мониторинга крупномасштабных процессов в бореальных лесах и исследования динамики лесных экосистем.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Л.Г. Евстратова

МГУ им. М.В. Ломоносова
E-mail: lge_21@mail.ru

Определение изменений на поверхности Земли по материалам аэрокосмических съёмок — неотъемлемая часть мониторинга территорий. В настоящее время для выявления изменений по снимкам, полученным на разные даты,

эффективно используются интерактивные процедуры, когда автоматически выполняются лишь предварительные операции, облегчающие работу оператора при выделении изменений. Процедура оперативного выявления изменений включает в себя два этапа: выявление участков, на которых произошли изменения, и определение характера изменений. Затем выполняются дешифрирование нового объекта, определение его геометрических и видовых свойств.

В алгоритмах распознавания образов в большинстве случаев используются спектральные яркости. Сложность решения задачи с использованием только спектральных яркостей обусловлена влиянием большого числа факторов на яркость многозональных изображений, поэтому в некоторых алгоритмах используют и текстурные признаки, представленные различным образом.

Для дешифрирования снимков фурье-преобразование используется крайне редко, хотя в последнее время можно отметить ряд работ. Вместе с тем даже когда цифровые методы и алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ) отсутствовали, оптическое Фурье-преобразование использовалось для распознавания образов, идентификации точек на стереопаре снимков и выявления дефектов при контроле изделий. Дефекты деталей устанавливали по изменениям фурье-образов.

Графическое изображение фурье-образа, полученного в результате фурье-преобразования изображения, имеет разный вид для определенных объектов. Исследованию возможности использования фурье-образов как дешифровочных признаков и посвящена настоящая работа. Комплексный подход к анализу изображений основан на совместном использовании методов, базирующихся на исследовании вектора спектральных яркостей и методах структурного анализа. В этой работе выполнены исследования фурье-образов типовых участков, среди которых городские территории с различным типом застройки, природные ландшафты, водные объекты. Исследования выполнялись по космическим снимкам сверхвысокого (WorldView), высокого (IKONOS, QuickBird) и среднего (ALOS) разрешения.

В результате экспериментов получено, что участки одного типа имеют очень похожие фурье-образы. Таким образом, данные экспериментальных исследований показали, что структурные признаки фурье-образа могут служить дешифровочным признаком при дешифрировании многозональных космических снимков высокого разрешения для различных типов ландшафтов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МНОГОЛЕТНЕЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДЕЙ ГАРЕЙ В ЛЕСАХ РОССИИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Ф.В. Стыцenco, С.А. Барталёв, В.А. Егоров, И.А. Уваров
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: fedor@d902.iki.rssi.ru

Леса, являясь важным компонентом экосистемы, регулярно подвергаются негативному воздействию. Пожары относятся к числу наиболее мощных деструктивных природных факторов воздействия на леса, а оценка их последствий стоит в ряду наиболее актуальных задач дистанционного зондирования Земли.

Выполненные экспериментальные исследования были направлены на оценку возможностей выявления по спутниковым данным лесов, повреж-

денных пожарами разных лет, с использованием алгоритма локально-адаптивной контролируемой классификации LAGMA. В основу исследований было положено комбинированное использование данных MODIS за период 2001–2010 гг., а также, полученных с использованием этих же данных, многолетней базы данных о пройденных огнем площадях и карты растительности России.

В качестве опорных данных использовались результаты совместного анализа одновременных изображений LANDSAT-TM и материалов наземной оценки повреждений лесов пожарами, это дало возможность оценить информативность различных спектральных индексов для распознавания гарей по данным MODIS.

Результаты выполненных исследований позволили впервые получить по спутниковым данным многолетние интегральные оценки площадей гарей в составе земель лесного фонда Российской Федерации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СЕЗОННЫХ И МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА КРИОЛИТОЗОНЫ

Е.В. Варламова, В.С. Соловьёв

Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера
СО РАН, Якутск

E-mail: varlamova@ikfia.ysn.ru

Представлены предварительные результаты исследования особенностей сезонных и межгодовых изменений вегетационного индекса растительности криолитозоны (на примере северо-восточной и центральной части Якутии). По данным радиометра AVHRR спутников NOAA за май–сентябрь 1998–2009 гг. рассчитан вегетационный индекс NDVI. Получены декадные и годовые значения NDVI растительности на тестовых участках криолитозоны Якутии. Результаты расчётов NDVI сопоставлены с аналогичными индексами, представленными в свободном доступе на интернет-сайте (<http://glcf.umd.edu/data/gimms/>) за период 1998–2006 гг., а также с данными ИСЗ Terra/MODIS (продукт MOD13A2) за период 2000–2009 гг. В работе также были использованы данные Росгидромета.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН № 16/3.

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МЕСТ ОБИТАНИЯ САРАНЧОВЫХ В ЮЖНОМ ПРИБАЛХАШЬЕ

Н.Ю. Цычуева¹, В.Е. Камбулин², Н.Р. Муратова¹

¹ Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики

Казахстан, Алматы

² Казахский НИИ защиты и карантина растений, ТОО, с. Рахат, Алматы

E-mail: n-tsychuyeva@yandex.ru

В Казахстане в силу природно-климатических условий фитосанитарный мониторинг посевов сельскохозяйственных культур имеет большое значение. На территории Республики находятся крупные гнездилища вредителей и периодами наблюдаются вспышки массовых размножений стадных видов саранчовых. В этой связи разработан метод контроля мест обитания с по-

мощью данных дистанционного зондирования. Результаты его применения продемонстрированы для прибрежной территории оз. Балхаш.

Резервациями азиатской саранчи (*Locusta migratoria*) в условиях нижне-илийского очага Балхашского гнездилища являются расположенные среди массивов густых тростников возвышенные участки с легкими песчаными и супесчаными почвами, покрытые относительно редким тростником и луговыми травами. Задача картирования местообитания саранчовых по данным космической съёмки состояла в выделении класса тростниковых зарослей, занимающих обширные площади правого и левого берега р. Или, вплоть до побережья оз. Балхаш. В ходе исследований использовалась космосъёмка среднего и высокого разрешения Terra/MODIS (250 м) и IRS/LISS (23 м). Для анализа динамики изменения численности саранчовых в зависимости от площадей распространения тростниковой растительности и затопленных участков проведена автоматическая (алгоритм Isodata) классификация композитных снимков Terra/MODIS (RGB: величины ближнего инфракрасного канала в мае, июле и сентябре) дельтовой части р. Или и южной прибрежной части оз. Балхаш за вегетационные периоды 2005–2010 гг. Границы полученных классов уточнены по данным космической съёмки высокого разрешения IRS/LISS. В результате для каждого года определены площадные характеристики песчаных и водных поверхностей, а также территорий с тростниковой растительностью.

По данным обработки космических снимков зафиксирован факт уменьшения площади зеркал озёр с 2005 по 2009 г. и резкое увеличение в 2010 г. Очаги азиатской саранчи с 2005 г. начали смещаться к побережью оз. Балхаш и центру дельты р. Или, поскольку осушенная часть побережья и дельты представляет собой наиболее подходящие места для откладки кубышек и развития личинок младших возрастов. При этом личинки старших возрастов и взрослые особи постепенно перемещаются к бордюрным зарослям тростника, где заканчивают питание. Можно констатировать, что произошедшее увеличение площади песчаных поверхностей и территорий с тростниковой растительностью повлияло на рост численности вредителей в 2008–2009 гг., что подтвердилось по наземным данным во время полевых исследований в июне 2009 г. В 2010 г., напротив, наблюдается спад в численности саранчовых из-за подтопления большей части территории отрождения саранчи.

Полевая проверка дешифровочных признаков подтвердила основные критерии распознавания мест обитания вредителей. На основе полученных результатов разработаны возможные сценарии развития саранчовых на конкретных ландшафтах с учётом их зависимости от погодных условий текущего года.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕГЕТАЦИИ ВОДНО-БОЛОТНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ

Е.Н. Финиченко, В.В. Дмитриев

Омский государственный педагогический университет

E-mail: efinichenko@ru

Болота — основной тип природных объектов земной поверхности. Они играют заметную роль в природе, имеют важное научное и хозяйственное значение. На территории России и сопредельных с ней государств площадь болот составляет около 245 млн га. В России сосредоточено порядка 40 %

природных запасов торфа. Торфяные болота в настоящее время принято учитывать в существующих фондах месторождений торфа, лесных ресурсов (для покрытых лесом болот), земельных угодий и др. Наряду с ресурсной ценностью болот важно учитывать и их средообразующие функции (утилизация углерода в отложениях торфа, среда обитания животных и растений и т. д.). Особенно важен такой подход к болотам для высокозаболоченных регионов, каким и является таежная зона Западносибирского региона. Кроме того, по результатам исследований водно-болотной растительности можно судить об их водно-минеральном питании, о тепловом режиме данной местности, о количестве осадков, что одновременно является характеристикой гидрологического режима данного болотного микроландшафта.

Работа посвящена исследованию временной динамики вегетационных параметров растительности присутствующей на различных типах болот в течение летнего периода вегетации. В ходе проведенного исследования была предложена модель сезонного хода вегетативных параметров растительности с использованием экспоненциальной аппроксимации. Она позволяет достаточно просто и наглядно определять: дату максимальной вегетации и соответствующее ей значение NDVI, длительность периода вегетации. В принципе эта модель может позволить описать асимметрию сезонного хода NDVI и его отклонение от нормального распределения.

Для исследуемых заболоченных участков территории Западной Сибири была составлена база следующих метеопараметров: температура, количество атмосферных осадков, потенциальная эвапотранспирация над растительным покровом, приходящая суммарная радиация. Далее на основе этих данных был вычислен ряд биологически важных производных метеопараметров: накопленные за вегетативный сезон (при температурах выше 5 °C) параметры, декадные параметры и скорость изменения соответствующих параметров за 10 дней.

На основе совместного анализа вегетативных и перечисленных выше метеопараметров были установлены производные метеопараметры, оказывающие наибольшее влияние на сезонный ход вегетации данных болотных экосистем. Определение превалирующих метеопараметров дает возможность построения численной модели, связывающей сезонный ход NDVI с сезонным ходом метеопараметров.

Параметры вегетации растительности определялись по данным, полученным радиометром MODIS спутников Terra и Aqua за 2000–2006 гг.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО И ТЕПЛООВОГО БАЛАНСОВ ДЛЯ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ ЕТР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Е.Л. Музылёв¹, А.Б. Успенский², З.П. Старцева¹

¹ Институт водных проблем РАН, Москва

² ГУ «НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва

E-mail: muzylev@aqua.laser.ru; uspensky@planet.iitp.ru

Разработана модель вертикального влаго- и теплопереноса в системе почва – растительность – атмосфера (SVAT), предназначенная для расчёта суммарного испарения, влагосодержания почвы, потоков скрытого и явного тепла и других составляющих водного и теплового балансов, а также распределений влажности и температуры почвы по глубине, и температур поверхности почвы и растительного покрова. Расчёты проводились для двух

вложенных один в другой участков территории Центрально-Черноземной зоны центральной части России площадью 15 000 и 227 300 км² для сезонов вегетации, соответственно, 2003–2008 и 2009 гг. Модель, в которой учитывалась пространственная изменчивость характеристик подстилающей поверхности, адаптирована к использованию этих характеристик, построенных по данным радиометров AVHRR (ИСЗ NOAA), MODIS (ИСЗ EOS Terra и Aqua) и SEVIRI (ИСЗ Meteosat-9). С помощью усовершенствованной технологии тематической обработки данных AVHRR для названных сезонов в условиях безоблачной атмосферы получены оценки температур поверхности почвы T_{sg} и воздуха на уровне растительного покрова T_a , излучательной способности E подстилающей поверхности и её эффективной радиационной температуры $T_{s,eff}$ (взвешенной линейной комбинации T_{sg} и T_a), нормализованного индекса вегетации NDVI, проективного покрытия растительности V и листового индекса LAI. Достоверность данных спутникового зондирования подтверждена результатами анализа статистики ошибок определения T_{sg} , T_a и $T_{s,eff}$, проводившегося путём сравнения с данными измерений на метеостанциях. С помощью разработанной технологии и средств Интернета по информации MODIS подготовлен набор оценок $T_{s,eff}$, E , NDVI, LAI для тех же участков за те же сезоны вегетации. При этом получены два вида оценок $T_{s,eff}$ — с разрешением ~4,8 и ~1 км. Приемлемая точность оценок $T_{s,eff}$ по данным MODIS подтверждена путем сравнения с аналогичными оценками по данным AVHRR и результатам наземных наблюдений. Оценки $T_{s,eff}$ и E для нескольких последовательных суток сезона вегетации 2009 г. и тех же территорий были также получены при использовании разработанного метода тематической обработки данных измерений SEVIRI. Этот метод базируется на последовательном применении двух известных подходов — локального алгоритма «расщеплённого окна прозрачности» и метода «двух температур». В нем используются безоблачные данные SEVIRI в ИК-каналах 10,8 и 12 мкм за три последовательных срока, при этом задания хороших начальных приближений для величин E в этих каналах не требуется. Анализ достоверности спутниковых оценок $T_{s,eff}$ проводился путём сопоставления с её синхронными независимыми спутниковыми оценками, полученными по данным SEVIRI в спутниковом центре EUMETSAT LSA SAF (Лиссабон, Португалия).

Для разработки способов усвоения в модели SVAT данных дистанционного зондирования: 1) исследована возможность замены используемых в качестве параметров модели оценок LAI и V , полученных по данным наземных наблюдений, на их оценки по данным радиометров AVHRR и MODIS; 2) рассмотрена возможность введения в модель в качестве входной переменной температуры подстилающей поверхности (ТПП), определенной по данным AVHRR, MODIS и SEVIRI, вместо её срочных сетевых наземных оценок. Кроме того, предложен способ учёта в модели пространственной изменчивости оценок LAI, V и ТПП, построенных по спутниковым данным, включавший разработку алгоритмов и программ ввода в модель значений этих величин в каждом узле вычислительной сетки.

С помощью модели для упомянутых территорий проведены расчёты вертикальных потоков влаги и тепла, влаго- и теплосодержания почвы и других составляющих водного и теплового балансов, а также температур поверхности почвы и растительного покрова за сезоны вегетации 2003–2009 гг. при различных вариантах оценки LAI, V и ТПП по информации AVHRR, MODIS, SEVIRI и наземным данным. При всех вариантах задания параметров и входных переменных погрешности расчётов искомых величин оказались в допустимых пределах. Описанный подход может быть пригоден

для оценки составляющих водного и теплового балансов для участков суши с редкой сетью наземных наблюдений.

Авторы выражают благодарность Е. В. Волковой, А. В. Кухарскому и С. А. Успенскому за разработку программ тематической обработки спутниковых данных и проведение соответствующих расчётов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-00807).

МОНИТОРИНГ ГОРНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ СЪЁМОК И БАЗЫ ДАННЫХ НАЗЕМНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

Е.И. Пономарёв, Д.М. Исмаилова, Д.И. Назимова, О.В. Дробушевская
Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН, Красноярск
E-mail: evg@ksc.krasn.ru

В работе рассматриваются подходы к использованию дистанционных спутниковых данных низкого и среднего пространственного разрешения для обзорного картографирования горных лесных экосистем и мониторинга их функционирования в течение всего сезона вегетации. Приводятся результаты, основанные на комплексных исследованиях, проводимых на трёх ключевых участках, расположенных в Западных и Восточных Саянах, с 1960 г. Анализ был проведен на основе обработки многолетнего (1996–2009) архива спутниковых данных низкого пространственного разрешения (NOAA/AVHRR, Terra/MODIS), данных наземных обследований и картографических материалов в ГИС-формате. В работе приводится описание базы данных, разработанной по материалам проведения наземных исследований. Обсуждаются особенности функционирования рассматриваемых горных экосистем и связанные с этим изменения спектральных характеристик выделяемых классов растительности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 08-04-00-600-а, 08-04-00-613-а, 09-04-98040-р_Сибирь_а).

МОНИТОРИНГ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПӨКРОВА АРИДНЫХ И ПОЛУАРИДНЫХ ЗОН КАЗАХСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

И.С. Витковская, Л.Ф. Спивак, А.Г. Терехов, М.Ж. Батырбаева
Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики
Казахстан, Алматы
E-mail: ivs-iki@rambler.ru

Экосистемы аридных и полуаридных территорий Казахстана характеризуются малой устойчивостью к климатическим и антропогенным воздействиям, которые приводят к значительным изменениям параметров растительного покрова, выражающимся в изменениях общего объема биомассы. При исследовании обширных, зачастую малонаселенных и труднодоступных полупустынных и степных территорий Казахстана эффективно использовать спутниковую информацию. На современном этапе сформированы многолетние архивы спутниковых изображений поверхности Земли, использование которых позволяет исследовать долговременные изменения вегетационного покрытия, что дает возможность определения зон максимальной изменчивости, возникающих в условиях меняющегося климата.

С использованием ежегодных величин NOAA/AVHRR/NDVI (разрешение 1 км) проводилось исследование межгодовых особенностей в реакции растительного покрова территории Республики на вариации погодных условий за период 2000–2010 гг. Существует устойчивая корреляция между показателем NDVI и продуктивностью для различных типов экосистем. На основе цифровых карт индексов вегетации проведено районирование территории Казахстана по продуктивности растительности. Для вегетационного покрова Республики характерна явно выраженная широтная последовательность расположения зон различной продуктивности. Количественные размеры зон с относительно высокой и низкой продуктивностью существенно зависят от сезонных погодных условий. Анализ многолетней динамики площадных характеристик показал наличие тенденции последних лет к увеличению зон с низкой продуктивностью и их продвижению на север. По данным дистанционного зондирования наблюдается ухудшение состояния растительного покрова практически для всей центральной части Казахстана в период 2005–2010 гг.

Анализ межсезонной динамики площадей различных зон позволил ранжировать годы по продуктивности растительности. Отмечено, что аномально благоприятными для развития вегетации являлись 2002 и 2003 гг. В последующие годы состояние растительности значительно ухудшилось. Наиболее засушливыми для территории Республики в целом являлись 2006, 2008 и 2010 гг. Зоны с высокой и крайне низкой продуктивностью подвержены наибольшим вариациям, изменение площадей зон с умеренными значениями индексов вегетации существенно меньше. Проведенное районирование позволило идентифицировать зоны с низким уровнем вегетации на территории степной зоны Казахстана.

Динамика площадей участков с низким уровнем продуктивности растительности в сухостепной зоне в рассматриваемый период не имеет однозначной тенденции, постепенно возрастая и, тем самым, обуславливая уменьшение общего объема биомассы в аридных землях Казахстана. Подобная картина, по-видимому, связана с наличием долговременных циклов в состоянии растительности и попаданием части такого цикла в анализируемый период (2000–2010). Разработанная методика районирования применена к Костанайской области (одной из основных зерносеющих областей Республики) с целью исследования многолетних изменений состояния растительного покрова. До 2003 г. участки, занятые растительностью с высокой продуктивностью, составляли более 50 %. При этом участков с уровнем продуктивности растительности, соответствующим зонам пустыни/полупустыни, практически не отмечается. Начиная с 2004 г., наблюдается рост территорий с низкой и умеренной продуктивностью и сокращение участков с высокой продуктивностью растительности, соответственно. По спутниковым изображениям высокого разрешения созданы маски залежных земель Костанайской области. Созданы карты стабильно высокой и низкой продуктивности растительности залежных земель Костанайской области на основе многолетних рядов ДДЗ. Полученные оценки могут быть использованы для обоснования расширения пахотных площадей и определения очередности ввода брошенных земель в севооборот с целью более эффективного использования земельных ресурсов.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований «Изучение систем и объектов ближнего и дальнего космоса, исследование Земли из космоса, развитие научных основ космических технологий» Ф.0487 РК.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА РИСКА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОСЕВОВ ЗАСУХОЙ

Е.В. Фисенко, И.Ю. Савин

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: savin@smis.iki.rssi.ru

Засуха наносит большой ущерб сельскому хозяйству многих стран мира. Подтверждением этому является влияние засухи на посевы сельскохозяйственных культур в России в 2009 и 2010 гг. В докладе описаны подходы, которые могут послужить основой для оперативного выявления регионов с высоким риском повреждения посевов засухой. В качестве основы для анализа рисков используются ежедневные спутниковые данные низкого пространственного разрешения (MODIS и AMSR-E-Aqua). На основе анализа данных о температуре подстилающей поверхности выделяются регионы с аномальными температурными условиями. В пределах этих регионов анализируется влажность почв и растительности и выделяются регионы с высоким риском засухи. Возможности использования данного подхода проанализированы на примере ряда регионов России, подверженных засухе в текущем и прошлом годах.

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АГРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ В КАЗАХСТАНЕ

Н.Р. Муратова, А.Г. Терехов, Н.Ю. Цычуева, О.В. Дегтярёва, Е.В. Старикова

Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики

Казахстан, Алматы

E-mail: nmuratova@rambler.ru

В планы по развитию космической деятельности Республики Казахстан входит создание космической системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В этой связи чрезвычайно важно создать условия для ее эффективного практического применения. Круг задач, решаемых для Министерства сельского хозяйства РК с помощью спутниковых данных, уже на протяжении многих лет включает ежегодный мониторинг снежного покрова и весеннего запаса продуктивной влаги пахотных земель, определение площадей ярового сева, оценку состояния, засоренности и прогноз продуктивности зерновых культур в основных зерносеющих северных областях Казахстана. Накопленный опыт позволил развить это направление прикладных задач ДЗЗ и расширить возможности информационного обеспечения руководства данными по космическому мониторингу темпов посевной и уборочной кампаний, а также результатами анализа зернопарового севооборота в течение последних пяти лет.

Практическое использование спутниковых данных для проведения дистанционного мониторинга агротехнических работ в Северном Казахстане основывается на космической съемке среднего разрешения Terra/MODIS (250 м), IRS/P6 (56 м) и радиолокационной съемке со спутника RADARSAT-1. Тематическая калибровка спутниковых данных осуществляется по полям на сети стационарных подспутниковых полигонов сельскохозяйственного назначения.

Дистанционная оценка календарных сроков и площадей ярового сева базируется на данных ежедневного космического мониторинга территории Северного Казахстана в период проведения весенних агротехнических работ

с помощью спутниковой системы Terra/MODIS и IRS/P6/Awifs. Для этого сначала строится маска ярового сева. Принцип распознавания посевов основан на фиксации резких изменений спектральных характеристик сельскохозяйственных полей после их механической обработки, а определение сроков сева — на анализе спектральных особенностей всходов зерновых культур в период начала кущения. Темпы посевной кампании оцениваются для трёх сроков — ранний, оптимальный и поздний. Результаты космического мониторинга представляются в виде картосхем размещения пахотных земель с цветовым выделением соответствующих сроков сева.

Зернопаровые севообороты — основная схема землепользования в Северном Казахстане. Дистанционный контроль севооборота базируется на ежегодно обновляющихся масках парующихся полей, которые строятся внутри маски ярового сева. Метод построения маски паровых полей основан на регистрации низких коэффициентов отражения в ближней инфракрасной области (Terra/MODIS, канал 2) по космоснимкам весеннего и летнего периодов. Так на основе данных ежегодного мониторинга пахотных земель Северного Казахстана получена картина зернопарового севооборота в период с 2006 по 2010 г. Полученная классификация служит базой для более детального анализа состояния зерновых посевов и прогноза урожайности.

Космический мониторинг уборки зерновых посевов на территории свыше 12 млн га в Северном Казахстане осуществляется с помощью ежедневных данных Terra/MODIS и дополнительных заказов данных IRS/P6/Awifs и широкополосных съёмок со спутника RADARSAT-1. Сложности распознавания убранных полей связаны с различными способами уборки — проводится либо прямое комбайнирование, либо свал с последующим подбором и обмолотом. Возможны также различные варианты обработки соломы: измельчение и разбрасывание; формирование валков. Обработка данных ДЗЗ показала, что по снимкам IRS можно идентифицировать убранные поля независимо от технологии уборки. На снимках MODIS распознаётся только уборка, включающая измельчение и разбрасывание соломы, что приводит к значительному изменению коэффициентов отражения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Размещение убранных полей к определенному сроку уточняется по данным со спутника RADARSAT-1. Результаты космического мониторинга представляются в виде таблиц и картосхем.

ОПЫТ СТРАТИФИКАЦИИ ЛЕСОВ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ

Н.А. Владимирова

ФГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства», Пушкино Московской обл.

E-mail: nadiopt@yandex.ru

Согласно ст. 90 Лесного Кодекса, «государственная инвентаризация лесов представляет собой мероприятия по проверке состояния лесов, их количественных и качественных характеристик— Государственная инвентаризация лесов проводится в отношении лесов, расположенных на землях лесного фонда и землях иных категорий, наземными и аэрокосмическими способами». Согласно Методическим указаниям по проведению государственной инвентаризации лесов, п. III.14, «для определения количественных и качественных характеристик лесов в пределах лесного района разрабатывается

единая оптимальная схема стратификации. Стратификация проводится путем группирования лесных насаждений в относительно однородные группы (страты), в пределах которых изменчивость запасов древесины меньше, чем в общей совокупности. Для осуществления стратификации используются таксационные характеристики выделов, установленные при лесоустройстве».

Таким образом, по сути, страты представляют собой обобщенные лесоустроительные выделы, что влечет ряд сложностей и недочетов. Основные из них — это более чем 10-летняя давность последнего лесоустройства для многих субъектов РФ, неточные данные для сельских лесов, а также некоторые особенности самой технологии лесоустройства (например, если на выделе ель составляет 40 % по запасу, выдел относится в еловую страту). Всё это может оказаться источником неточностей при создании схемы стратификации и породить ошибки в инвентаризации лесов. Одним из вариантов решения данной проблемы может стать использование данных дистанционного зондирования Земли, а именно космической сканерной съёмки, для создания схемы стратификации лесов и карты пространственного размещения страт. В данной работе анализируется опыт автоматизированного дешифрирования снимков различных сенсоров с использованием лесоустроительных выделов в качестве эталонных участков. Понятно, что такой подход актуален только в случае относительно недавнего лесоустройства; для субъектов РФ, где лесоустройство проводилось сравнительно давно, или испытывающих интенсивное антропогенное воздействие, необходим более тщательный отбор эталонных участков с возможными полевыми работами и дешифрированием снимков сверхвысокого разрешения и аэрофотоснимков. Тем не менее, сам алгоритм работы вполне может применяться для текущего и всех последующих циклов государственной инвентаризации лесов.

Кроме того, в работе анализируется пригодность различных снимков высокого (но не сверхвысокого) разрешения для создания схемы стратификации лесов. В качестве тестового объекта было выбрано Рошинское лесничество Ленинградской области, поскольку лесоустройство там было проведено в 2003 г., причем высокого качества, а кроме того, на данный район имеется достаточно большое количество снимков, а именно: коммерческие SPOT 2/4 (панхром и спектрзональный), IRS P6 (панхром и спектрзональный), ALOS Avnir и бесплатный LANDSAT-7. Автором в среде ERDAS была проведена автоматизированная обработка космического изображения LANDSAT-7 (2003), при этом породный состав и полнота определялись по эталонным участкам с использованием алгоритмов контролируемой классификации и вегетационных индексов. Полученные результаты проверялись как традиционным для ERDAS инструментом Accuracy Assessment, так и путем сравнения с имеющимися материалами лесоустройства и созданной на их основе карте страт.

Проведенная работа показывает, что данные ДЗЗ можно и нужно использовать для создания схемы стратификации лесных насаждений, как минимум, в дополнение к лесоустройству. В дальнейшем планируется изучение других упомянутых снимков с целью выяснения, насколько их применение повышает точность и детальность стратификации по сравнению с бесплатным и общедоступным LANDSAT.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВИЗУАЛЬНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ СРЕДНЕГО РАЗРЕШЕНИЯ

Р.Ю. Бирюков

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

В последнее время для изучения пространственно-временной организации ландшафтов и растительного покрова активно используются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Объектом исследования является Касмалинский бассейн, протянувшийся с юго-запада на северо-восток Алтайского края. Специфическими чертами являются: а) соседство высококонтрастных природных сред (лесных, степных, болотных и др. ландшафтов); б) значительная хозяйственная освоенность.

Растительность и рельеф — наиболее информативные компоненты ландшафта, отражаемые на космоснимках. Так как прямое дешифрирование растительности только по отражательной способности очень затруднительно, необходима интеграция наземной информации и спутниковых данных в единый комплекс.

В качестве исходного материала были использованы: космический снимок LANDSAT сенсора ETM (03.09.2001 г., разрешение 30 м), топографические карты масштабов 1:100 000 и 1:25 000. Исследование выполнено с помощью компьютерных программ ERDAS IMAGINE 8.6 и ArcView 3.2 на основе материалов полевых сезонов 2008–2010 гг. Процесс работы над снимком состоял из следующих последовательных этапов:

- геометрическая и фотометрическая коррекция космического снимка;
- привязка растрового файла к территории по опорным точкам;
- распознавание и автоматическая классификация по алгоритму ISODATA с разделением объектов по спектральной яркости на 50 кластеров.

После кластеризации и генерализации распознаванию подверглись различные классы объектов как природного, так и антропогенного происхождения. В результате визуального распознавания они были разделены на 14 типов.

В лесных массивах по настоящему снимку достаточно хорошо определяются участки с различными лесообразующими породами. Наиболее легко визуально дешифрируемым параметром является лесная формула по типу: лиственные — смешанные — хвойные породы. Также на снимке более яркими и однородными по цвету являются леса, имеющие более высокий бонитет. В ряде случаев при дешифрировании приходится учитывать логику сочетания пород деревьев и лесорастительные условия для окончательного разрешения спорных вопросов. Вырубки отличаются характерным рисунком дорожной сети (волокам), формой (близкой к правильной) и контрастом между восстанавливающейся растительностью и прилегающими лесными участками.

Масштабные гари отчётливо дешифрируются по неправильной форме и тону, похожему на вырубки, только с более неравномерной текстурой и вытянутыми в стороны по направлению ветра «языками». Большое влияние на характер растительности оказывает рельеф местности, который формирует многие из тех черт, которые можно наблюдать на космическом снимке. Основными факторами, зависимыми от рельефа и критичными для растительного покрова, являются: освещенность, определяемая экспозицией, и степень увлажнения.

В сплошных лесных массивах неоднородность микрорельефа просматривается плохо. Определение типа леса при визуальном дешифрировании на снимках такого разрешения не представляется возможным.

В степных ландшафтах достаточно отчетливо распознаются долины водотоков, по растительности определяется экспозиция склонов, хорошо просматриваются участки, подверженные эрозии. Алтайский край является одним из наиболее освоенных в сельскохозяйственном отношении регионов. Значительная антропогенная нарушенность затрудняет процесс визуального дешифрирования. Антропогенезированные включения в естественных природных комплексах значительно повышают уровень шума, на некоторых участках он сопоставим с уровнем полезного сигнала. Кроме того, некоторые из них являются одинаковыми по спектральным характеристикам, что ещё больше усложняет процесс визуального распознавания.

Наиболее информативными с точки зрения визуального дешифрирования для исследуемого бассейна являются гало-гидроморфные ландшафты, включающие обсыхающие поверхности озёрных котловин, болота, солончаки, засоленные луга, что связано с их малонарушенностью. Однако ввиду высокой комплексности большинства таких участков их естественные характеристики при данном разрешении снимка представляются слишком обширными. На примере снимка LANDSAT-ETM раскрыты возможности визуального дешифрирования различных объектов местности при автоматической кластеризации. Применительно к рассматриваемым условиям (значительная антропогенная нарушенность, высокая комплексность) визуальное экспертное дешифрирование на снимках данного разрешения остается по-прежнему самым надежным, хотя и самым трудоемким, способом распознавания объектов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08-05-00093-а).

ОЦЕНИВАНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УКРАИНЕ ПО СПУТНИКОВЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

Н.Н. Куссиль, А.Н. Кравченко, С.В. Скакун, А.Ю. Шелестов

Институт космических исследований НАНУ и НКАУ, Киев, Украина

E-mail: inform@ikd.kiev.ua

Оценивание площадей посевов — одна из составляющих прогнозирования валовых сборов урожая сельскохозяйственных культур и, следовательно, получаемые оценки являются ценной информацией для принятия решений в области продовольственной безопасности. В настоящее время в ведущих организациях, выполняющих оценивание площадей в операционном режиме (в частности, в US Department of Agriculture, США; EU JRC MARS, Европейский Союз) применяется подход, предполагающей совместное использование спутниковых и наземных данных для оценивания площадей посевов. В рамках этого подхода оценивание площадей происходит в три этапа. Выполняется наземное стратифицированное выборочное исследование посевов, позволяющее оценить площади посевов на основе исключительно наземных данных. Далее выполняется классификация спутниковых изображений, построение карт земного покрова и оценивание площадей на основании спутниковых данных. Получаемые оценки обладают большой точностью.

В Институте космических исследований выполняется пилотный проект Европейской комиссии “Crop area estimation with satellite images in Ukraine”, посвященный оценке применимости описанного подхода для территории

Украины. В рамках проекта необходимо получить оценки площадей посевов для территории Киевской, Житомирской и Хмельницкой области в 2010 г. для основных сельскохозяйственных культур. Для этого в июле 2010 г. выполнено наземное исследование посевов в 90 сегментах размером 4×4 км, распределенных равномерно по территории выбранных областей, а также накоплены спутниковые данные MODIS, AWIFS, LISS-3, RapidEye и LANDSAT-5. В данный момент обрабатываются спутниковые данные (привязка, корегистрация, орторектификация, сегментация, классификация), по которым оцениваются площади посевов. Для комплексирования наземных и спутниковых данных планируется использовать регрессионное оценивание.

В рамках проекта необходимо выбрать оптимальные параметры наземного стратифицированного выборочного исследования (в первую очередь количество и размер наземных сегментов), оптимального набора спутниковых данных, методы сегментации и классификации спутниковых изображений. Критерием оптимальности является соотношение затрат и точности получаемых оценок.

В докладе будут представлены результаты проекта: оценки площадей посевов, полученные по наземным и спутниковым данным, их точность, рекомендации по выбору параметров наземных исследований, спутниковых данных для территории Украины.

ОЦЕНКА БИОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЕВОВ НАРКОСОДЕРЖАЩИХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ АВИАЦИОННОГО ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В. В. Егоров¹, А. А. Ильин², А. П. Калинин³, А. И. Родионов², И. Д. Родионов⁴

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² НТЦ «Реагент», Москва

³ Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, Москва

⁴ Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН, Москва

E-mail: victor_egorov@mail.ru

Разработка методов распознавания и определения биометрических характеристик посевов наркосодержащих растений по данным авиационной гиперспектральной съёмки — первый этап в создании технологии оперативного контроля из космоса за несанкционированным выращиванием наркосодержащей растительности. В настоящее время многие технические и методические аспекты этой проблемы проработаны недостаточно полно. В частности, не определены наиболее рациональные методы и средства оперативного мониторинга территорий, на которых возможно наличие посевов наркосодержащих культур, отсутствуют надежные результаты по оценке качества распознавания и определения их биометрических параметров, а также точностных характеристик подобных оценок. Под биометрическими параметрами здесь понимаются такие характеристики растительности как проективное покрытие, высота растений, диаметр стебля, ширина листа, процентное содержание поскони (для конопли) и т. п. Посконью называются мужские растения, содержащие меньшее количество дельта-9-тетрагидроканнабинола (ТГК), чем женские. Обычно, говоря о наркотических свойствах конопли, имеют в виду именно содержание ТГК. Целью настоящей работы является оценка эффективности нейросетевого алгоритма для решения поставленной задачи на примере исследований посевов конопли на фоне других растительных ценозов, а также открытой почвы в

Пензенской области. Исследования, проведенные в работе, показали, что использованные алгоритмы нейросетевой обработки гиперспектральных данных являются эффективным инструментом в решении задач классификации и оценки состояния растительных объектов. Полученные точностные характеристики распознавания и оценки состояния наркопосевов, соответственно, 98 и 3–6 % свидетельствуют о хороших потенциальных возможностях разработанного метода. Это позволяет распространить данную методику на космические гиперспектральные измерения. Разработанный метод носит достаточно общий характер и применим к задачам мониторинга других типов растительности.

ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ЧЁРНОГО УГЛЕРОДА ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

О.В. Юсим¹, С.А. Барталёв², Д.В. Еришов³, Д.Г. Замолодчиков³

¹ НИИ охраны атмосферного воздуха, Санкт-Петербург

² Институт космических исследований РАН, Москва

³ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва
E-mail: olga.yusim@gmail.com

Проблема загрязнения атмосферы сажей (чёрным углеродом — ЧУ) встала перед человечеством с момента приручения огня. Сейчас этой теме уделяют большое внимание за рубежом, в связи с выпадением сажи на поверхность льда в Арктике и усилением таяния льдов в этом регионе. Чёрный углерод, задерживая солнечную радиацию, вызывает таяние поверхностного слоя льда. Он также признан загрязняющим веществом, способствующим изменению климата на нашей планете.

Лесные пожары являются одним из основных источников выбросов чёрного углерода. Выбросы ЧУ от лесных пожаров в России отечественными учеными количественно ещё не оценивалось, а экспертные оценки зарубежных авторов дают большой разброс. В данной работе проведена сравнительная оценка выбросов Чёрного углерода на основании официальных данных МЧС по площадям лесных пожаров на территории Российской Федерации, материалов лесной статистики и спутниковой информации от ИЛ СО РАН (данные AVHRR) и ИКИ РАН (данные MODIS).

ПОДСПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ КАЗАХСТАНА

Н.Р. Муратова, С.М. Северская

Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики
Казахстан, Алматы

E-mail: nmuratova@rambler.ru

Полигонные исследования являются важной составляющей программы осуществления геосистемного мониторинга территории Казахстана дистанционными методами. Ведущее звено этих исследований — биогеофизическая концепция анализа спектрального отражения-излучения как «образа», характеризующего конкретное состояние объекта. На территории подспутниковых полигонов проводятся исследования, связанные с сопоставлением материалов дистанционных и наземных наблюдений и анализом спектраль-

ных характеристик природных и/или техногенных объектов в зависимости от их физических свойств, условий их формирования и влияющих факторов.

В настоящее время на территории Казахстана продолжает функционировать развернутая в 2006 г. сеть подспутниковых полигонов в основных зерносеющих областях, её основное назначение — сбор информации для проведения тематической калибровки спутниковых данных, верификации результатов дешифрирования космоснимков, оценки точности методов дистанционной диагностики и оценки. Так, полигоны в Акмолинской, Костанайской и Северо-Казахстанской областях обеспечивают наземными наблюдениями комплекс работ по космическому мониторингу зерновых посевов в интересах Министерства сельского хозяйства, включающий контроль сроков проведения сева и уборки, севооборота, оценку фитосанитарного состояния посевов и прогноз урожайности и качества зерна. Полигоны, развернутые в Кызылординской и Алматинской областях, предназначены для решения задач рационального использования водных ресурсов и мониторинга мелиоративного состояния орошаемых земель.

Развертывание сети подспутниковых полигонов сопровождается подготовкой методик выбора репрезентативных участков и проведения наземных спектрометрических и биометрических измерений и наблюдений как за сельскохозяйственными культурами, так и за естественной растительностью пастбищ. Так на основе разработанной методики проведения наземных исследований для дистанционной оценки продуктивности пастбищной растительности в 2010 г. проведены сезонные наблюдения за продуктивностью и экологическим состоянием типичных пустынных, полупустынных и сухостепных пастбищ в Алматинской, Жамбылской и Карагандинской областях. В результате пополнен каталог спектральных почерков растительного покрова Казахстана, изучены зависимости величин спутниковых вегетационных индексов от количества зеленой надземной биомассы, выявлены дистанционные индикаторы, позволяющие дать характеристику экологического состояния пастбищ.

Схема взаимодействия космического и наземного мониторинга включает использование многоспектральных съёмок низкого (NOAA/AVHRR), среднего (Тerra/MODIS), высокого (IRS/P6) разрешения и данных активного зондирования (RADARSAT-1), а также данных наблюдений и измерений спектрометрами CROPSCAN и FIELDSPEC.

Проведение многолетних наблюдений на тестовых полигонах, изучение спектральных образов различных состояний растительности, усовершенствование методов тематической обработки космоснимков и верификации результатов в будущем послужат научной базой для получения масштабной, объективной и оперативной информации о состоянии и использовании природных ресурсов.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ СПЕКТРАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЯРКОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Т.С. Москаленко, С.А. Барталёв

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: limires@smis.iki.rssi.ru

Данная работа является исследованием, относящимся к задачам мониторинга растительного и почвенного покрова с использованием спутниковых данных дистанционного зондирования Земли. Существует проблема, свя-

званная с потерей информации из-за низкого разрешения получаемых со спутника изображений. Так называемые «смешанные пиксели» отображают лишь интегральную спектральную яркость входящих в них компонент, откуда возникает потребность в методах, позволяющих определять спектральную яркость отдельных компонент и процент занимаемой ими площади в пикселе.

Яркость открытой почвы оказывает существенное влияние на интегральную яркость наблюдаемой поверхности, поэтому восстановление яркости почвенной составляющей может повысить точность решения многих задач мониторинга растительности.

Определение относительного содержания компонентов природных комплексов без их предварительного распознавания возможно на основе использования статистических характеристик спектральных яркостей изображения: средних спектральных яркостей. Функциональные связи между этими величинами, относящимися к каждому пикселу, и коэффициентами, характеризующими относительное содержание компонентов в комплексе, задаются линейной моделью спектрального смещения. На основе этой модели, а также модели почвенной линии возможно восстановление яркости почвенного покрова. В работе рассматриваются возможности восстановления спектральной яркости почвенной компоненты на основе данных спектрорадиометра MODIS.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКТА MOD09Q1 ДЛЯ ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР КАЗАХСТАНА ПРИМЕРЕ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Г. Терехов

Институт космических исследований АО НЦ КИТ НКА Республики
Казахстан, Алматы
E-mail: aterekhov1@yandex.ru

Прогноз урожайности — одна из ключевых задач космического сельскохозяйственного мониторинга. Северный Казахстан, и в частности Костанайская область (17 районов, 5 млн га посевов), специализируются на монокультурном выращивании яровых зерновых культур. Сельскохозяйственное землепользование в степной зоне Казахстана организовано через использование компактных групп крупных полей (400 га), что позволяет использовать данные MODIS с разрешением 250 м в качестве регулярного источника информации, обеспечивающего оценку средних спектральных характеристик отдельных полей.

Свободно распространяемый продукт MOD09Q1, [<http://glovis.usgs.gov>] (восьмидневный композит коэффициентов отражения в двух каналах: 620–670 и 841–876 нм — с разрешением 250 м), технологически удобен для анализа состояния и прогноза урожайности зерновых культур Северного Казахстана. Восьмидневный период накопления согласуется с интенсивностью облачного покрова Северного Казахстана, позволяя каждый год иметь практически безоблачное покрытие в ключевой период сезона (цветения культуры, вторая половина июля). Доступность продукта MOD09Q1, примерно через 2 недели после его приёма со спутника, даёт возможность формировать прогноз урожайности месячной заблаговременности к 10 августа.

Один из путей организации прогноза схемы на базе спутниковой информации основан на анализе многолетних данных спектральных характеристик культуры в ключевой период её развития и исторической официальной урожайности. Данные MOD09Q1, имеющиеся в архивах USGS

с 2000 г., и официальная урожайность зерновых за этот период по районам Костанайской области служили основой для прогнозной процедуры. Для территории Северного Казахстана основной трудностью прогноза являются изменения в агротехнике. В течение 10 лет возделывание зерновых претерпевает существенные изменения, что делает несопоставимыми прямые взаимосвязи между спектральными характеристиками и урожайностью зерновых культур различных лет. Одинаковому уровню зеленой биомассы (величина вегетационного индекса) соответствуют различные уровни урожайности (влияние засоренности, например). Средняя величина R^2 взаимосвязи [MOD09Q1/NDVI – цветение] против урожайности зерновых для 16 районов Костанайской области в период 2000–2009 гг. составляет всего 0,00125.

Прогнозная схема строилась на основе линейно-регрессионной эмпирической зависимости между величинами MOD09Q1/NDVI на вторую половину июля (201-й, 209-й дни) для маски земель под однолетними пропашными культурами и официальной урожайностью на масштабе отдельных районов. Изменения уровня агротехники и связанные с этим искажения учитывались через выделение линейного компонента эволюции системы, т. е. урожайность зерновых определялась не только величиной вегетационного индекса, но и поправочным коэффициентом, рассчитываемым для каждого года отдельно с помощью корректирующей линейной функции. Для каждого района параметры корректирующей функции определялись отдельно. Средняя величина R^2 взаимосвязи NDVI – урожайность зерновых после коррекции через набор линейных функций увеличилась до 0,42, имея уровень 0,7–0,8 у основных зерносеющих районов.

Прогнозная урожайность районов формирует урожайность области. Прогнозная и официальная урожайности зерновых культур по Костанайской области (в весе после доработки) в период 2003–2009 гг. в рамках разработанной схемы имели следующий вид: 2003 г. — 12,707...11,1 ц/га; 2004 г. — 8,051...7,9 ц/га; 2005 г. — 10,728...10,5 ц/га; 2006 г. — 12,077...13,4 ц/га; 2007 г. — 13,153...15,0 ц/га; 2008 г. — 12,309...11,5 ц/га; 2009 г. — 11,301...11,1 ц/га; 2010 г. — 8,517... [нет данных]; среднеквадратичное отклонение около 9 %.

Полученные результаты показывают эффективность данных MOD09Q1 в задаче прогноза урожайности зерновых культур Северного Казахстана. Прогнозная схема не требует ежегодных наземных обследований, при этом расхождения с официальной статистикой по историческим данным 2003–2009 гг. находятся в пределах ± 1 ц/га.

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОЙДЕННЫХ ОГНЕМ ПЛОЩАДЕЙ И ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛЕСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВОЙСТВ МЕЖГОДОВОГО РАЗНОСТНОГО НОРМАЛИЗОВАННОГО ИНДЕКСА ВОДНОГО СТРЕССА

В.А. Егоров, С.А. Барталёв, Ф.В. Стыценко
Институт космических исследований РАН, Москва

Воздействие огня, в зависимости от интенсивности пожара и типов экосистемы, может приводить к гибели или изменению физиологических характеристик растительности, что, в частности, выражается в снижении влажосодержания и концентрации хлорофилла в зеленых фракциях растений. При этом также изменяется и спектральное отражение поврежденных участков в диапазонах длин волн, в которых происходит наиболее интенсивное погло-

шение оптического излучения молекулами хлорофилла и воды. Эти особенности лежат в основе использования спектрального вегетационного индекса SWVI (Short Wave Vegetation Index), вычисляемого по данным ближнего ИК- и среднего ИК-спектральных диапазонов. Методы выявления пройденных огнем площадей, опирающиеся на межгодовую изменчивость индекса SWVI, связанную с последствиями пожаров, достаточно широко используются в мониторинге лесов. Однако основным их недостатком является неравномерная чувствительность к повреждениям в течение вегетационного сезона. Так, например, в ранний весенний и поздний осенний периоды различие в значениях индекса слабо поврежденной и не начавшей свой вегетационный рост растительности минимально. Частично данный недостаток метода можно учесть, уделив отдельное внимание допожарным опорным значениям индекса, используя в качестве основы не данные предшествующего года, а осредненное значение ряда лет. Это дает также отклонение от среднего значения, которое характеризует естественную многолетнюю динамику растительности. Несмотря на значительное улучшение детектируемости пройденных огнем площадей, данный метод также не способен выявить ряд повреждений огнем, пришедшихся на края вегетационного сезона, поскольку значения нормальных отклонений слишком велики по сравнению с межгодовой разностью значений индексов SWVI, которая может быть вызвана последствиями пожаров.

Развитие метода, позволяющее устранить описанные недостатки, основано на использовании свойств межгодового разностного нормализованного индекса водного стресса. Его отличие от индекса SWVI заключается в том, что межгодовая разность значений нормализуется на величину, характеризующую допожарное состояние растительности, что выравнивает чувствительность к изменениям в течение года и позволяет предъявлять более мягкие условия при последующем жестом или адаптивном пороговом детектировании поврежденных огнем участков. Более того исследование чувствительности данного индекса позволило выявить взаимосвязь между его значениями и силой повреждения растительности огнем, что открывает возможность оценки состояния лесов после пожара.

РАСПОЗНАВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В.О. Жарко, Д.Е. Плотников, С.А. Барталёв
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: zharko@d902.iki.rssi.ru

Спутниковые системы дистанционного зондирования Земли позволяют эффективно решать задачи сельскохозяйственного мониторинга и, в частности, задачу распознавания сельскохозяйственных культур. Прибор MODIS осуществляет ежедневные наблюдения всей территории России, что позволяет формировать непрерывные сезонные и многолетние серии спутниковых данных с высоким временным разрешением. Прибор обладает информативными для наблюдения культурной растительности спектральными каналами в красном и ближнем ИК-диапазонах и высокой точностью географической привязки разновременных изображений.

В ИКИ РАН сформирован и пополняется в оперативном режиме архив спутниковых данных MODIS за более чем десять лет наблюдений, разработаны методы предварительной обработки спутниковых данных, позволяю-

шие формировать очищенные от влияния мешающих факторов композитные изображения за фиксированные промежутки времени.

В докладе представлен метод распознавания ряда сельскохозяйственных культур с использованием классификации методом максимального правдоподобия с обучением. В рамках данной работы были сформированы временные серии композитных изображений в красном и ближнем ИК-диапазонах, прошедшие обработку для исключения влияния выбросов и различий геометрических условий съёмки. Полученные разновременные композитные изображения использовались в качестве признаков при классификации. Для создания обучающей выборки использовались результаты наземного обследования.

Данный метод был использован для распознавания культур на территории Ленинск-Кузнецкого района Кемеровской области. Общая точность классификации, вычисленная на основе обучающей выборки, составила 89,6 %, что позволило успешно применить разработанный алгоритм для распознавания культур в масштабах области. Пространственное расширение обучающей выборки и использование локально-адаптивного подхода позволит провести оценку результатов распознавания культур данным методом для других регионов страны.

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

*С.А. Хвостиков^{1,2}, И.Ю. Савин¹, С.А. Барталёв¹, В.А. Толпин¹,
Е.Н. Чумаченко²*

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Московский государственный институт электроники и математики
E-mail: khvostikov@d902.iki.rssi.ru

Для оценки урожайности озимой пшеницы разрабатывался метод, основанный на построении линейных парных регрессий между значениями урожайности за прошлые годы и различными характеристиками-предикторами. Этот метод позволяет прогнозировать урожайность на уровне субъектов РФ. Характеристики-предикторы строились на основании данных о NDVI по спутниковым аппаратам SPOT-VEGETATION и MODIS, а также по климатическим данным. В качестве таких предикторов использовались значения максимума NDVI в году, значения NDVI для различных сумм температур, суммы NDVI за различные периоды времени и другие. При прогнозировании наилучший предиктор выбирался по критерию максимальности квадрата корреляции между значениями урожайности по официальной статистике и значениями предиктора.

Для оценки точности полученных прогнозов была предложена методика, заключающаяся в исключении значения урожайности за один год при подсчёте регрессии, и сравнении прогноза на этот год с официальной статистикой. Подобное сравнение производилось для всех регионов и для всех лет, и считалось, что полученное распределение ошибок похоже на распределение, которое будет наблюдаться при использовании той же методики в последующие годы. После некоторых модификаций методики в результате данной проверки мы получили, что для всех регионов России ошибка прогноза в среднем составила 22 %, а для регионов, являющихся основными производителями озимой пшеницы (в которых производится около 95 % всего урожая России) средняя ошибка составила 17 %. Введение ограничения на минимум значения квадрата корреляции помогло понизить

среднюю ошибку до 10 %, но при этом мы можем сделать прогноз только для 5 регионов России (Воронежской, Белгородской и Курской областей, Республики Адыгея и Краснодарского края), в которых собирается около четверти всего урожая озимой пшеницы России. Также было произведено сравнение результатов реализации предложенной методики прогнозирования урожайности с методом прогнозирования урожайности, основанным на моделировании роста озимой пшеницы по климатическим данным с помощью модели WOFOST.

СЕГМЕНТАЦИЯ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ЛЕСАХ

Т.С. Ховратович, С.А. Барталёв

Институт космических исследований РАН, Москва

Сегментация изображений является одним из ключевых этапов объектно-ориентированного подхода к анализу данных дистанционного зондирования. Под сегментацией понимается разбиение изображения на различающиеся по некоторому признаку области таким образом, что они соответствуют реальным объектам или их частям, а границы объектов совпадают с границами выделяемых областей. В работе на примере задачи выявления сильных изменений в лесах, таких как вырубки и гари, исследуются четыре алгоритма, использующие разные стратегии сегментации, такие как кластеризация многомерного спектрального пространства, дробление-объединение областей, выделение краев и другие. В качестве входных используются фрагменты данных SPOT-HRVIR (20 м) и маски изменений, построенные по этим изображениям экспертами. Работа каждого алгоритма оценивалась с помощью нескольких критериев качества, а именно: обратное отношение площади эталонного контура к суммарной площади областей, его покрывающих, критерии FOM, Хаусдорфа, Баделли; среднее расстояние между контурами; стандартное отклонение расстояния между контурами. По полученным оценкам подбираются оптимальные значения параметров для каждого из алгоритмов, и делается вывод о целесообразности использования данного алгоритма для сегментации многоспектральных спутниковых изображений. Кроме того, проводятся эксперименты по сравнению результатов использования цветовых пространств $L^*a^*b^*$ и RGB, а также одномоментных и разновременных данных. Анализ полученных результатов позволяет наметить пути дальнейшего развития и перспективы использования алгоритмов сегментации при построении технологий мониторинга лесов по спутниковым данным высокого пространственного разрешения.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКА SMOS С РЕЗУЛЬТАТАМИ НАЗЕМНЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

*П.П. Бобров¹, В.Л. Миронов², О.В. Кондратьева¹, А.И. Сухинин³,
Е.Г. Швецов³, А.С. Яценко¹*

¹ Омский государственный педагогический университет

² Институт физики им Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск

³ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

Приведены результаты сопоставления данных о радиояркостной температуре на частоте 1,4 ГГц, полученной в ходе натурального наземного экспери-

мента, и данных аппарата SMOS на этой же частоте. Анализировались временные ряды радиояростной температуры одного пиксела, включающего наземные тестовые участки, в диапазоне углов зондирования от 20 до 40°. Наземные исследования проводились в середине августа и первой половине октября 2010 г. Тестовые участки располагались на юге Омской области на границе степной и лесостепной ландшафтных зон и представляли собой почву, поросшую травой, и открытую почву естественного сложения. Радиояростная температура измерялась под углом 30° на вертикальной и горизонтальной поляризациях. В течение всего эксперимента велась непрерывная запись метеорологических данных, а также проводилось взятие проб влажности. На основе данных о профилях влажности и температуры рассчитывались ожидаемые значения радиояростной температуры.

Ввиду засушливого лета объёмная влажность поверхностного слоя почвы тестовых участков изменялась в пределах 3–7 %, поэтому величина коэффициента излучения изменялась в диапазоне от 0,88 до 0,97. Анализ экспериментальных данных показал, что спутниковые радиометрические данные 1-го уровня лучшим образом согласуются с временным ходом радиояростной температуры открытой почвы, что свидетельствует о том, что основная часть территории, попадающей в пиксел, открыта или покрыта сухой низкорослой растительностью. Приведены также результаты измерений, полученных в процессах промерзания и оттаивания почв.

Полученные результаты могут найти применение для верификации данных уровней 1 и 2 космического аппарата SMOS.

СПЕКТРАЛЬНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ И АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ КЛАССИФИКАЦИИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Д.Е. Плотников, С.А. Барталёв

Институт космических исследований РАН, Москва

E-mail: dmitplot@d902.iki.rssi.ru

Современное развитие систем дистанционного зондирования Земли и методов обработки спутниковых изображений позволяет создавать автоматические, во многом не зависящие от человека, методы глобальной классификации типов растительного покрова. При этом для осуществления автоматической классификации применительно к большим территориям, например, в масштабах континента, необходимым условием является создание адаптивных алгоритмов и инвариантных признаков распознавания.

Установленный на аппарате Terra прибор MODIS на протяжении последних десяти лет осуществляет ежедневную съёмку территории России в красном и ближнем ИК-диапазонах с разрешением 250 м и обеспечивает высокую точность географической привязки разновременных изображений. Поступающие в оперативном режиме в архив ИКИ РАН спутниковые данные радиометра проходят предварительную обработку, что позволяет исключить зашумленные под влиянием снега и облачности измерения.

В докладе представлен ряд разработанных в ИКИ РАН признаков распознавания и адаптивных алгоритмов для классификации культурной растительности по данным MODIS. В частности, разработанные на основе многолетних временных серий перпендикулярного вегетационного индекса (PVI) признаки распознавания и использование локально-адаптивного алгоритма классификации LAGMA позволили создать автоматический метод ежегодного детектирования используемых пахотных земель России. Валидация результатов распознавания проводилась с использованием гра-

ниц полей, оцифрованных на основе спутниковых изображений высокого пространственного разрешения. Сравнение ежегодно получаемых результатов распознавания пахотных земель позволяет оценивать динамику землепользования.

Использование многолетних временных серий РVI лежит также в основе пространственно-временного корреляционного алгоритма классификации растительного покрова. Разработан основанный на инвариантном признаке распознавания и учитывающий особенности сезонной динамики вегетационного индекса адаптивный алгоритм выявления всходов озимых культур. Оценка площадей, занятых культурной растительностью, производится итеративным алгоритмом локально-адаптивной классификации. Приводятся также результаты оценки возможности использования сезонных временных серий спутниковых данных для распознавания широкого набора сельскохозяйственных культур.

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В МОНИТОРИНГЕ И КАРТИРОВАНИИ ПАСТБИЩНЫХ УГОДИЙ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ

В.В. Елсаков

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

E-mail: elsakov@ib.komisc.ru

Крупнотапное оленеводство — форма традиционного природопользования, сложившаяся на территории Республики Коми и Ненецкого автономного округа на рубеже XVII–XVIII вв. На пастбища северного оленя (*Rangifer tarandus tarandus*) приходится порядка 22,8 % земельного фонда республики (9483,8 тыс. га), в них включены растительные сообщества северной тайги, лесотундровой и тундровой зон. В современное время выполнение исследований пастбищ остается актуальным в свете глобальных климатических изменений, антропогенной трансформации экосистем, связанной с широкомасштабным влиянием нефтяной и газовой промышленности, добычей минерального сырья и углей Печорского угольного бассейна, развитием сети трубопроводного транспорта, дорожным строительством. В работе представлены результаты, демонстрирующие возможности использования разновременных материалов спутниковых съёмок разного разрешения, их временных композитов, GPS-ошейников (GPS PLUS Store On Board) применительно к мониторингу пастбищных угодий и путей миграции северного оленя на Европейском Севере России. Апробированы методы проведения геоботанической инвентаризации, оценки нарушенности пастбищ и закономерностей развития надземной фитомассы в широтном градиенте. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ «Влияние климатических изменений на биоценозы ненарушенных территорий российского Севера» (проект № 10-04-92514-ИК_a).

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ СНИМКОВ SPOT И LANDSAT С ЦЕЛЬЮ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПОРОДНОГО СОСТАВА ЛЕСОВ КОМСИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА (ТУРУХАНСКИЙ РАЙОН, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

А.А. Романов, Е.А. Старченко

Сибирский федеральный университет, Красноярск

E-mail: arom_work@yahoo.com

Проблема картографирования лесных территорий является весьма значимой (в особенности для территории Красноярского края, где сосредоточено около четверти всех лесов России). Оценки площади лесов весьма разнятся, в зависимости от проектов и применяемых методик. В прошлом веке были разработаны методики таксации лесных территорий, созданы различные наборы карт лесов. С появлением аэрокосмических методов таксационные описания значительно усовершенствовались, а в связи с применением сканирующих систем более детального пространственного разрешения задача картографирования лесных территорий приобретает новую актуальность и значимость, появляется возможность обработки временных серий снимков за несколько лет с пространственным разрешением в 20–30 м и более детальные.

В рамках представляемой работы были обработаны временные серии снимков SPOT и LANDSAT; зимние снимки использовались для оценки площадей, занятых темнохвойными породами. Основным источником данных для формирования обучающей выборки для распознавания и классификации являются результаты полевых исследований (доклад на Конференции 2009 г.); использовались методы как управляемой, так и автоматической классификации. Базовыми элементами обучающей выборки являлись 32 тестовых участка (квадраты 10×10, и 20×20 м), характеризующие: породный состав, высоту, полноту и сомкнутость крон, а также — высоту участка над уровнем моря. Таким образом удалось выделить устойчивые классы преобладающих пород: 6 — по снимкам SPOT и 5 — по LANDSAT, с выделением преобладающих пород. В дальнейшем планируется верификация результатов с помощью новых полевых исследований.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ПОКРОВОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОХОДИМОСТИ МЕСТНОСТИ

М.П. Долгова

Институт телекоммуникаций, Санкт-Петербург

E-mail: itin_dolgova@mail.ru

Наибольшее распространение среди средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для определения влажности почвогрунтов получили активные и пассивные радиолокаторы от мм- до дм-диапазона — радиолокаторы с когерентной (с синтезированной апертурой антенны (РСА)) и некогерентной (скаттерометры, высотомеры) обработкой и СВЧ-радиометры соответственно. Для СВЧ-радиометров с уменьшением влажности увеличиваются коэффициенты микроволнового излучения, поступающего как от поверхности, так и от слоев почвы на некоторой глубине (до 10–40 см в зависимости от длины волны). Данные ДЗЗ, подобные результатам от многоканальных СВЧ-радиометров типа МТВЗА на космических аппаратах (КА) «Метеор»,

MIMR на КА METOP, AMSU на КА NOAA, AMSR-E на КА Aqua, имеющие разрешение 10–150 км, весьма востребованы для описания пространственно-временной структуры поля влажности почвы, оперативного картографирования продуктивной влаги и агрометеорологических факторов её формирования на значительных территориях. Однако для локального определения влажности почвогрунтов в целях оценки проходимости местности они недостаточно пригодны по пространственному разрешению, следовательно, средствами ДЗЗ, адекватными решаемой задаче, являются РСА различного базирования.

Почва представляет собой многофазную полидисперсную среду и степень детальности определения её показателей зависит от тематической задачи ДЗЗ. На процессы влагообразования в приповерхностном слое почвы влияют многие факторы: количество выпавших осадков (дожди, роса, снег, иней); уровень грунтовых вод; формы микро- и мезорельефа, определяющие интенсивность стока поверхностных вод и осадков; суммарное испарение (эвапотранспирация); климатические условия; состав почвенного покрова (гранулометрический, органический) и травянистой и древесной растительности. Используемые многочисленные показатели водных свойств почвы — различные виды влагоемкости, водопроницаемости, водоудерживающих сил и форм влаги — интегрально можно выразить во влажности (в отношении весовых или объёмных процентов количества воды в сухой почве).

На детальных радиолокационных изображениях (РЛИ) РСА-метод определения влажности может быть основан на сравнении интенсивности пикселей, соответствующих почвенному покрову и эталонным объектам с известной эффективной площадью рассеяния (ЭПР) для точечных или удельной ЭПР (УЭПР) для площадных объектов. С учётом растительности, представляемой моделью «водяного облака», УЭПР участка поверхности представляется суммой УЭПР почвы, растительного покрова и составляющей, учитывающей многократное переотражение сигнала в толще растительности. В свою очередь, УЭПР почвы представляется линейной зависимостью от влажности, в которой коэффициенты определяются шероховатостью и чувствительностью к влажности исследуемого типа почвы (её комплексной диэлектрической проницаемостью). Зависимость интенсивности пикселя РЛИ от УЭПР соответствующего участка поверхности восстанавливается по характеристикам аналого-цифрового преобразователя и системы автоматической регулировки усиления приёмника РСА.

Данные РСА о влажности почвогрунтов являются динамической (изменчивой) составляющей оценки проходимости местности, а сведения об уклонах рельефа, пересеченности местности и плотности растительности — более статичной составляющей. Поэтому для комплексной оценки свойств местности с привлечением данных ДЗЗ необходимы цифровые топографические карты и специализированные геоинформационные комплексы с набором типовых расчётных задач и базами данных об отражающих свойствах объектов поверхности в радиодиапазоне.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ ИНДЕКСА NDVI РАЗНООРИЕНТИРОВАННЫХ СКЛОНОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГОРНЫХ УЧАСТКОВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

И.О. Марущак, В.В. Елсаков

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

E-mail: elsakov@ib.komisc.ru

При работе со спутниковыми данными высокого разрешения для участков с горным рельефом необходимо учитывать неравномерную солнечную освещённость склоновых поверхностей, в связи с тем, что для склонов разной ориентации наблюдается искажение реальных значений отражающей способности [Riano D., Chuvieco E., Salas J., Aguado I. Assessment of Different Topographic Corrections in LANDSAT-TM Data for Mapping Vegetation Types // IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 2003. V. 41. N 5. P. 1056–1061; Colby D. Topographic Normalization in Rugged Terrain // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 1991. V. 57. P. 531–537]. Это приводит к ошибкам при количественном анализе данных и выделении классов растительного покрова при классификации. Для компенсации или полного устранения влияния данного эффекта в процесс предобработки спутниковых изображений вводится процедура топографической коррекции. Цель настоящего исследования заключалась в сравнительном анализе результатов, полученных после топографической коррекции разносезонных/разногодных изображений высокого разрешения LANDSAT-5(7) (TM/ETM+), территории Приполярного Урала (бассейна р. Кожим). При выполнении топографической коррекции использовали С-метод [Teillet P.M., Guindon B., Gooeouugh D.G. On the Slope-Aspect Correction of Multispectral Scanner Data // Canadian J. Remote Sensing. 1982. V. 8. P. 84–106]. Сравнительный анализ участков разных временных периодов до и после проведения процедуры коррекции выполняли на примере лиственничников, приуроченных к склоновым поверхностям разной крутизны и экспозиции. В качестве модели рельефа использовали данные SRTM 90 (<http://srtm.csi.cgiar.org>). В результате выполненной работы установлено, что минимальные различия в значениях индекса NDVI между корректируемыми и некорректируемыми изображениями наблюдали для сцен, полученных в период с максимальной высотой Солнца относительно горизонта (6.23.95). Наибольшие различия на сравниваемых изображениях отмечались для северных склонов, при этом, с ростом крутизны склона, различия усиливались.

ТЕНДЕНЦИЯ ОПУСТЫНИВАНИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ ПО MODIS-ДАННЫМ

А.Н. Золотокрылин, Т.Б. Титкова

Институт географии РАН, Москва

E-mail: zgoldfinch@mtu-net.ru

Предложен подход к получению новой информации о динамике опустынивания в условиях меняющегося климата. Опустынивание означает взаимодействие аридизации и деградации засушливых земель. Эта информация касается территориальной дифференциации аридизации, степень интенсивности которой определяется обратными связями с деградационными процессами. Взаимодействие выражено двумя типами регулирования температуры поверхности (радиационным и эвапотранспирационным),

которые различаются по знаку корреляции между альбедо и температурой поверхности.

Территория исследования охватывает целиком Северо-Западный Прикаспий и часть Северного Прикаспия и ограничена 44–51° с. ш. и 44–51° в. д. Она включает Калмыкию, Астраханскую область, южную часть Волгоградской области и западные районы Казахстана. В работе использованы данные об альбедо и среднемесячной температуре поверхности Центра LP DAAC NASA за май–сентябрь 2000–2009 гг. Входные данные имеют разрешение 0,05° и 8-дневную дискретность. По предварительно обработанным данным вычислено среднемесячное альбедо поверхности.

Месячные коэффициенты корреляции между альбедо и температурой поверхности рассчитывались для участков 0,5×0,5°. Каждый участок включал 10×10 = 100 измерений. Месячные карты поля корреляции строились в системе MatLab. В итоге анализировались средние месячные карты коэффициентов корреляции для периода 2000–2004 и 2005–2009 гг. Отрицательный коэффициент корреляции обозначает территорию, в которой аридизация усиливается. Эта территория подвержена опустыниванию. При этом величина коэффициента корреляции характеризует интенсивность опустынивания. На деградированных территориях с низким положительным коэффициентом корреляции возможна слабая аридизация, а на территориях с высоким — аридизационные процессы маловероятны. На территории выделены очаги опустынивания антропогенного происхождения: Черноземельский и на территории Харабалинского и Красноярского районов Астраханской области. Кроме того, рассмотрен очаг опустынивания природного происхождения, связанного с огромным 70-километровым солончаком Хаки-сор в Казахстане вблизи границы с Россией. Прослежено изменение площади очагов в течение вегетационного сезона. Сравнение площадей очагов в периоды 2005–2009 гг. и 2000–2004 гг. показало их разнонаправленное изменение западнее и восточнее р. Волги. В Калмыкии площадь затрагиваемых опустыниванием земель уменьшалась, а в Астраханской области и Казахстане — возрастала.

ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОКРОВОВ И МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ

С.Г. Корниенко

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва

E-mail: spaceakm2@ogri.ru

В настоящее время за рубежом разрабатываются методики оценки неоднородности многолетнемерзлых пород (ММП), в частности, границ распространения мерзлоты, с использованием данных тепловой космической съёмки низкого пространственного разрешения (1 км). Метод основан на связи среднегодовой температуры воздуха, поверхности и температуры грунтов на глубине нулевых теплооборотов (глубины проникновения годовых колебаний температуры). Однако необходимость измерения температуры поверхности в снежный период снижает достоверность метода, что связано с неоднородностью толщины снежного покрова. Реализовать данный подход в бесснежный период практически невозможно ввиду малого числа солнечных дней.

В то же время не в полной мере исследованы возможности характеристики ММП и почвенно-растительного слоя (ПРС) в летний период по суточным вариациям температуры поверхности. Известно, что по разности

дневных и ночных измерений радиационной температуры поверхности (РТП) может быть определена «кажущаяся тепловая инерция» (КТИ) ПРС до глубины проникновения суточных колебаний температуры. КТИ, по сути, характеризует теплоизоляционные свойства поверхности, которые во многом определяют характер ММП, в том числе льдистость грунтов, глубину сезонно-талого слоя. Задача выявления тепловых аномалий, характеризующих неоднородности грунтов ниже слоя суточных колебаний температуры, а также аномалий теплового поля в слое с отрицательными температурами связана с необходимостью учёта маскирующего влияния неоднородного по теплофизическим свойствам верхнего ПРС. В этой связи была разработана методика, позволяющая на основе данных дневных и ночных измерений РТП характеризовать состояние ММП с исключением влияния теплофизических неоднородностей верхнего ПРС.

Для реализации подхода была проведена обработка архивных данных дневной и ночной съёмки со спутника NOAA конца августа 1998 г. территории центральной части полуострова Ямал. Карта КТИ, построенная по данным космической съёмки, сопоставлялась с картой льдистости грунтов, построенной по традиционным методикам. Участки низких значений КТИ (хорошей теплоизоляции) ПРС соответствовали участкам более высокой льдистости грунтов, что подтверждает известную связь. Также было установлено, что более низкие значения КТИ соответствуют более высоким значениям NDVI. Данный факт, по всей вероятности, свидетельствует о влиянии переувлажнённых оголённых участков почвы, занимающих различную площадь на участках, покрытых растительностью, что также характеризует особенности ПРС.

Построенная по разработанной методике карта распределения температуры с исключением влияния неоднородности теплофизических свойств верхнего ПРС сопоставлялась с геокриологическими картами на территорию Харасавейского нефтегазоконденсатного месторождения (п-ов Ямал). Наилучшая сходимость была получена с картой температуры ММП (нулевых теплооборотов) и с картой макрольдистости отложений верхнего горизонта, формируемых за счёт повторно-жильных льдов. Ранее по результатам математического моделирования было установлено, что максимальные контрасты температуры поверхности, связанные с различной льдистостью грунтов, могут проявляться в конце периода растепления.

ЧАСТОТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ ОТ ЛЕСНЫХ ПОКРОВОВ ЗЕМЛИ

Ю.Л. Ломухин, Е.Б. Атутов, В.П. Бутуханов

Отдел физических проблем при Президиуме Бурятского научного центра
СО РАН, Улан-Удэ

E-mail: lom@pres.bsnet.ru

В докладе приводятся результаты теоретического и экспериментального исследования отражающих свойств лесных покровов по среднему полю в диапазоне частот от 0,1 до 2 ГГц. Расчёты выполнены по модели, представляющей собой слоистую структуру «воздух – лесной слой – Земля». При этом лесной слой представляет собой анизотропную случайно-дискретную среду, состоящую из случайно расположенных цилиндрических композитных анизотропных элементов.

В докладе анализируются угловые зависимости коэффициентов отражения от реального лесного покрова на частоте 1,4 и 3 ГГц.

Установлено достаточно хорошее совпадение с экспериментальными данными при углах, близких к скользящим (другие условия и экспериментальные данные авторам не известны). В докладе также исследуется влияние кроны на отражающие свойства лесного покрова в диапазоне от 0,1 до 2,5 ГГц. Обнаружено, что в случае слабого влияния кроны возможен эффект при отражении, аналогичный явлению усиления когерентности.

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

ВАРИАЦИИ ИОНОСФЕРНОГО СЛОЯ F2 ПОД ВЛИЯНИЕМ ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОНА ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

*Л.Б. Ванина-Дарт*¹, *А.А. Романов*², *Е.А. Шарков*¹

¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² РНИИ КП, Москва

E-mail: vandart@iki.rssi.ru; e.sharkov@mail.ru; romulas@rniikp.ru

Теоретическое и экспериментальное изучение верхней ионосферы до сих пор актуально в международных программах геофизических и космических исследований. Знание параметров движений ионизованной составляющей ионосферной плазмы необходимо для построения моделей верхней атмосферы, уяснения физической природы взаимодействия различных атмосферных слоев, решения ряда прикладных задач (распространение радиоволн, ориентация космических аппаратов, радиоизмерения параметров их движения, повсеместное использование GPS-навигаторов и т. п.). Сложность протекающих ионосферных процессов приводит ученых к неоднозначности интерпретации результатов наблюдений. На это накладыва-ется сильная изменчивость динамического режима. Проблема пока далека от полного решения. Данная работа посвящена продолжению поиска возможного влияния тропического циклона (ТЦ) на верхнюю ионосферу на основе томографических данных, полученных над о-вом Сахалин в 2007 г. Наблюдение проводилось над тремя пунктами: Южно-Сахалинск (47° с. ш., 143° в. д.), Поронайск (49° с. ш., 143° в. д.) и Ноглики (52° с. ш., 143° в. д.). В работе рассмотрены 12 серий наблюдений во время действия ТЦ. В результате анализа ионосферных данных были получены выводы о том, что в зависимости от положения и стадии ТЦ значения параметров верхней ионосферы претерпевают либо понижение, либо увеличение. Но, в связи с указанной выше сложностью динамического режима атмосферы, пока не удается точно определить механизм связи наблюдаемой корреляции между ТЦ и ионосферой.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-01019-а).

**ВАРИАЦИИ ИОНОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ В АЗИАТСКОМ РЕГИОНЕ
РОССИИ В ПЕРИОД ДЕЙСТВИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ**

*М.А. Черниговская*¹, *В.И. Куркин*¹, *И.И. Орлов*¹, *Б.М. Шевцов*²,
*И.Н. Поддельский*²

¹ Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

² Институт космофизических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, пос. Паратунка, Камчатский край
E-mail: cher@iszf.irk; ikir@ikir.kamchatka.ru

На основе анализа короткопериодных временных вариаций параметров ионосферы в работе продолжаются исследования возможности проявления мощных метеорологических возмущений в нижней атмосфере в вариациях ионосферных параметров в дальней от региона источника возмущения зоне. В качестве мощнейшего потенциального источника воздействия на ионосферу снизу рассматриваются метеорологические возмущения в тропосфере — тропические циклоны (ТЦ). Для анализа используются данные максимальных наблюдаемых частот (МНЧ) сигналов наклонного зондирования (НЗ) вдоль трасс Магадан—Иркутск, Хабаровск—Иркутск и Норильск—Иркутск, проходящих в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока, весной (март-апрель), летом (июль) и осенью (сентябрь—октябрь) 2010 г.

С помощью частотного анализа данных МНЧ выявляются временные интервалы с повышенной энергетикой короткопериодных колебаний. Их можно интерпретировать как проявление крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), источниками которых являются внутренние гравитационные волны (ВГВ) с периодами 1–5 ч. В результате комплексного анализа гелиогеомагнитных, ионосферных и атмосферных данных, а также спутниковых данных о ТЦ предпринимается попытка связать ряд выявленных ПИВ с откликами ионосферы на ТЦ, находящиеся в активной фазе в северо-западной акватории Тихого океана в рассматриваемые временные интервалы. В летние и осенние месяцы, в период активного тропического циклогенеза, отмечается значительное усиление энергетики короткопериодных волновых возмущений на трассах НЗ. Интенсивность наблюдаемых ПИВ уменьшается по мере удаления средних точек трасс НЗ к западу от потенциальных источников ВГВ. Для анализируемых трасс НЗ отмечается различный отклик ионосферы на прохождение волновых возмущений от одних источников ВГВ. Полученные спектры вариаций МНЧ-сигналов НЗ для весенних месяцев, когда циклоническая активность в северо-западной акватории Тихого океана низкая, в спокойных гелио-геомагнитных условиях можно рассматривать как «фоновые». Проводится сравнение «фоновых» спектров со спектрами амплитуд возмущений, полученными в периоды активности тропического циклогенеза летом и осенью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-00760).

ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ НА ВЫСОТАХ МЕЗОПАУЗЫ И НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ В РАЗЛИЧНЫХ ДОЛГОТНЫХ СЕКТОРАХ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

*И.В. Медведева¹, А.Б. Белецкий¹, В.И. Перминов², А.И. Семенов²,
М.А. Черниговская¹, Н.Н. Шефов²*

¹ Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

² Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

E-mail: ivmed@iszf.irk.ru

Представлены результаты исследований вариаций температуры атмосферы на высотах мезопаузы и нижней термосферы (80–100 км) во время зимних стратосферных потеплений в 2008, 2009 и 2010 гг. по данным наземных и спутниковых измерений.

Использованы данные наземных спектрографических измерений температуры мезопаузы (~87 км) по эмиссии гидроксила, полоса (6,2) 834,0 нм, выполненных в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° с. ш., 103° в. д.) и Звенигородской научной станции ИФА РАН (56° с. ш., 37° в. д.), а также данные измерений вертикальных профилей температуры в стратосфере–мезосфере, полученные с помощью зонда MLS, установленного на борту космического аппарата EOS Aura.

Поведение температуры в верхних слоях атмосферы анализировалось в периоды сильных стратосферных потеплений, имевших место в январе-феврале 2008, январе 2009 и январе 2010 гг., когда возмущения температуры стратосферы наблюдались на больших пространственных масштабах. Данные спутниковых измерений температуры атмосферы для высоты мезопаузы показали хорошее соответствие с данными наземных измерений, выполненных в обеих обсерваториях. Проведено сопоставление вариаций среднеширотных значений температуры в области мезопаузы и вариаций температуры на стратосферных высотах (31 и 46 км), полученных в период зимних стратосферных потеплений. Обнаружено, что во время всех стратосферных потеплений наблюдалось понижение температуры в мезопаузе.

Характер и величина понижения температуры мезопаузы зависит от интенсивности стратосферного потепления. Практически во всех рассматриваемых случаях стратосферных потеплений, когда температура на уровне стратосферы увеличивалась на 20–35 К, температура в мезопаузе значительно понижалась на 20–30 К. Временной анализ вариаций температуры в мезопаузе и стратосфере показывает, что понижение температуры в мезопаузе происходит практически одновременно с повышением температуры в стратосфере с небольшим опережением последнего.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 10-05-00062-а, 09-05-00757-а).

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ SBVU

А.В. Шилкин

НПО «Тайфун», Обнинск

E-mail: shilkin@typhoon.obninsk.ru

Представлены предварительные результаты воздействия солнечных заряженных частиц эруптивного происхождения (солнечные протонные собы-

тия — СПС) на атмосферный озон в верхней стратосфере по данным спутников Nimbus-7 и NOAA (9a, 9d, 11, 16, 17) в период с 1982 по 2005 гг.

По спутниковым данным реконструированы поля распределения концентраций озона с разрешением $1 \times 1^\circ$ и построены зонально-усредненные профили концентраций озона на высотах 21; 53 и 70 км.

Построены временные развертки вертикальных профилей концентраций озона над отдельными участками северной и южной авроральных зон размером 100×100 км.

Проанализированы связи между временными рядами среднезонального содержания озона в верхней стратосфере авроральных зон и данными о среднедневной интегральной плотности потока протонов и электронов различных энергий.

Полученные результаты указывают на уменьшение концентраций озона до 50 % в верхней стратосфере после начала солнечных протонных событий в широтных зонах $50-90^\circ$ с. ш. и ю. ш.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-05-00356).

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПЕРИОД СТРАТОСФЕРНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ.

С.А. Тащилин, А.В. Татарников

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

E-mail: sergey@iszf.irk.ru

Проведены исследования динамики температуры верхней атмосферы на основе данных, полученных с ИСЗ EOS AURA (прибор MLS) и с ИСЗ NOAA (прибор TOVS) за период 2004–2010 гг. Разработан алгоритм построения ежедневных и ежемесячных карт распределения поля температуры на высоте мезопаузы (~100 км) по данным MLS второго уровня обработки (L2) на основе быстрого преобразования Фурье.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИОНОСФЕРЕ В ПЕРИОД НИЗКОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ РАДИОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ИСЗФ СО РАН

А.В. Медведев, Г.А. Жеребцов, В.И. Куркин, А.П. Потехин, К.Г. Ратовский,

С.С. Алсаткин, М.В. Толстиков, А.А. Шербаков

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

E-mail: medvedev@iszf.irk.ru

Комплекс радиофизических инструментов ИСЗФ СО РАН состоит из радара некогерентного рассеяния (НРР), дигизондов DPS-4 в Иркутске и Норильске и сети ЛЧМ-ионозондов. В период с 2007 по 2009 г., когда Солнце переживало рекордный по продолжительности минимум солнечной активности, на комплексе получены продолжительные ряды экспериментальных данных о состоянии и динамике ионосферной плазмы азиатского региона России. Только радар НРР отработал за это время более 6000 ч. Кроме того, для радиофизического комплекса диагностики верхней атмосферы ИСЗФ СО РАН этот период стал временем эффективной работы по расширению диагностических возможностей основных инструментов и совершенствованию методов экспериментальных исследований.

В докладе кратко описаны новые возможности радиофизического комплекса ИСЗФ СО РАН и методы экспериментального изучения динамических процессов в ионосфере, связанных с движением масс нейтральной составляющей верхней атмосферы и влиянием этого движения на плазменную компоненту. Представлены статистические закономерности «поведения» основных характеристик среднеширотной ионосферной плазмы над Восточной Сибирью для различных сезонов в годы минимума солнечной активности. Приведены результаты исследования особенности изменения суточного хода максимума электронной концентрации и высоты максимума слоя F2 на фазе спада солнечной активности. На основе данных многолетних непрерывных измерений профиля электронной концентрации проведен статистический анализ волновых возмущений, выявлены сезонные и суточные особенности частоты проявления возмущений, их зависимость от уровня солнечной активности. На фоне спокойных геомагнитных условий установлены суточные и сезонные закономерности такого интересного явления как среднеширотный промежуточный (падающий) спорадический слой.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА МАГНИТНОГО ЗЕНИТА МЕТОДОМ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ СИГНАЛАМИ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ НА ЧАСТОТЕ 400 МГц

Ф.И. Выборнов, В.А. Алимов, А.В. Рахлин

Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород
E-mail: vybornov@nirfi.sci-nnov.ru

Приводятся результаты экспериментов по изучению искусственной ионосферной турбулентности при возбуждении среднеширотной ионосферы мощным коротковолновым радиоизлучением. Изучалось влияние эффекта магнитного зенита на измеряемые характеристики мелкомасштабной искусственной турбулентности среднеширотной ионосферы. Экспериментальные исследования проводились на стенде СУРА с помощью радиопросвечивания возмущенной области ионосферной плазмы сигналами навигационных спутников Земли системы «Парус» на частоте 400 МГц. При наклонном радиозондировании области возмущений под малыми углами между лучом зрения на спутник и направлением магнитного поля Земли обнаружена сильно неоднородная структура мелкомасштабной искусственной турбулентности, которая объясняется влиянием эффекта магнитного зенита. Анизотропная мелкомасштабная искусственная турбулентность развивалась в тонком слое с характерным размером в несколько десятков километров ниже уровня отражения волны накачки в F-области ионосферы.

Нагревный стенд СУРА излучал максимальную мощность на обыкновенной компоненте при наклоне диаграммы направленности 12° в южном направлении. Приводятся результаты измерений, полученные в 2008–2010 гг. для траекторий ИСЗ, проходящих точно вдоль магнитного меридиана, когда наблюдались чрезвычайно сильные (до 100 %) флуктуации сигнала, принимаемого на частоте 400 МГц.

Отмечается, что по данным ионосферной станции «Базис-М» нагревного стенда СУРА во время этих сеансов приёма сигналов ИСЗ наблюдалось явление искусственного F-spread.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 09-02-97026-р_повлжье_а.

МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ (МГД) ПРИРОДА ИОНОСФЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ПАКЕТОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ, И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ИХ ПАРАМЕТРОВ

Э.Л. Афраймович[†], И.К. Едемский, С.В. Воейков, Ю.В. Ясюкевич
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
E-mail: ilya@iszf.irk.ru

Впервые с использованием измерений полного электронного содержания (ПЭС) по данным глобальной сети приёмников GPS (до 1500 станций) за длительный интервал времени с 1998 по 2007 г. и плотной японской сети GPS/GEONET (1220 станций) за 2008–2009 гг. представлена морфология среднеширотных среднемасштабных перемещающихся волновых пакетов (СМ ПВП). Показано, что суточные и сезонные, спектральные и пространственно-временные характеристики СМ ПВП определяются динамикой солнечного терминатора (СТ) и практически не зависят от уровня солнечной и геомагнитной активности. Во временной области ПВП представляют собой узкополосные колебания ПЭС длительностью порядка 1–2 ч с периодом колебаний в диапазоне 10–30 мин. Зимой в северном полушарии ПВП наблюдаются преимущественно спустя 3 ч после прохождения утреннего солнечного терминатора (СТ), когда производная ПЭС достигает максимума. В равноденствие ПВП появляются сразу после прохождения СТ. Летом ПВП регистрируются за 1,5–2 ч до появления вечернего СТ в пункте наблюдения, но в момент времени прохождения СТ в магнитосопряженной области. Пространственная структура ПВП характеризуется высокой степенью анизотропии и когерентности на расстоянии свыше 10 длин волн, длина волны ПВП порядка 100–300 км. Высокая добротность колебательной системы и синхронизация с появлением СТ в пункте наблюдения и в магнитосопряженной области свидетельствуют о МГД-природе генерации ПВП, генерируемых солнечным терминатором. Наши результаты являются первым экспериментальным подтверждением гипотезы генерации СТ ионно-звуковых волн, предложенной в работе [Huba // GRL. 2000. V. 27. N. 19. P. 3181].

Работа поддержана РФФИ (проект № 10-05-00113) и Президентским грантом МК-3094.2010.5.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В.М. Смирнов¹, Е.В. Смирнова¹, В.Н. Скобелкин¹, С.И. Тынянкин²

¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

² ЗАО «БЛИКС», Москва

E-mail: vsmirnov@ire.rssi.ru

Показаны возможности глобальных навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС для мониторинга ионосферы Земли в режиме реального времени. На базе приёмника ProPak-V3, работающего по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, создан автоматизированный комплекс, предназначенный для мониторинга состояния ионосферы с поверхности Земли. Комплекс позволяет проводить наблюдения в разных азимутальных направлениях. В зоне видимости приёмной антенны одновременно может находиться до 16 спутников систем ГЛОНАСС и GPS. Аппаратно-программное обеспечение позволяет проводить мониторинг состояния

ионосферы над территорией, удаленной от пункта приёма на расстояние до 1000 км. В режиме реального времени комплекс выдает распределение электронной концентрации ионосферы по высоте для всех находящихся в зоне видимости спутников. Дискретность выдачи информации определяется возможностями используемого компьютера. При этом комплекс может работать как со стационарным, так и персональным компьютером, типа ноутбук. При наличии источника питания работа комплекса может проводиться круглосуточно без участия оператора.

Ключевым элементом такого комплекса является автоматизированный модуль ионосферного обеспечения, основанный на реализации метода радиопросвечивания ионосферы Земли по трассе «наземный пункт — навигационный спутник». Приведена блок-схема комплекса и описаны осуществляемые им функции. Показана схема проведения измерений и интерпретации данных, а также алгоритм параметрической идентификации обратной задачи радиопросвечивания ионосферы. Проведено сравнение ключевого параметра ионосферы — значения электронной концентрации в максимуме слоя F2 — с данными работы наземного ионозонда, расположенного в Троицке. Полученные результаты достаточно хорошо согласуются как качественно, так и количественно. При проведении калибровки и разработке оптимальной процедуры сглаживания спутниковых данных представленный комплекс может служить одним из элементов системы глобального мониторинга состояния ионосферы в режиме реального времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ ОФН РАН «Плазменные процессы в солнечной системе» и «Фундаментальные проблемы воздействия мощными радиоволнами на ионосферу и магнитосферу Земли».

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ СРЕДСТВАМИ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

И.В. Суровцева, В.О. Скрипачев, И.О. Скрипачев
НТЦ «Космонит» ОАО «Российские космические системы», Москва

Разработанный в НТЦ «Космонит» ОАО «Российские космические системы» программный комплекс предназначен для восстановления профилей электронной концентрации в ионосфере по сигналам НКА ГЛОНАСС/GPS и данным наземного вертикального зондирования. В структуру комплекса входят несколько программных модулей:

- 1) обработки данных файлов формата RINEX и их конвертации в бинарный формат;
- 2) получения информации о характеристиках сигналов глобальных навигационных спутниковых систем из созданных бинарных файлов;
- 3) расчёта высотного распределения заряженных частиц и восстановления профилей электронной концентрации в ионосфере по характеристикам навигационных сигналов;
- 4) обработки данных наземного вертикального зондирования и построения по этим характеристикам высотного распределения заряженных частиц.

Использование восстановленных профилей заряженных частиц по прямым измерениям параметров ионосферы необходимо для уточнения существующих методов.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧИ ТРЁХМЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ИОНОСФЕРЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ РАЗНОСТИ ФАЗ

Д.М. Ермолаев, А.В. Аджалова, А.А. Романов, С.В. Трусов, А.А. Романов
ОАО «Российские космические системы», Москва

Большинство методов томографии ионосферы Земли основано на измерении и соответствующей обработке разности фазовых путей (разности фаз) двух когерентных сигналов со спутника. При этом используются либо сигналы систем ГЛОНАСС/GPS (1,2 и 1,6 ГГц), либо сигналы с частотами 150 и 400 МГц, передатчики которых установлены на различных низкоорбитальных спутниках (на сегодняшний день более 10 действующих).

Различные орбитальные характеристики этих спутников и их группировок, а также возможность разрешения фазовой неоднозначности определяют методы обработки данных и размерность выходных продуктов. С использованием сигналов 1,2/1,6 ГГц решают задачи трёх- или четырёхмерной (пространство + время) томографии ионосферы, которая, однако, характеризуется невысоким пространственным и временным разрешением. Сигналы 150/400 МГц, не позволяющие напрямую разрешить фазовую неоднозначность (относительные измерения), используются в настоящее время только для двумерной томографии ионосферы.

В данной работе предпринята попытка применить подходы, используемые при томографии по абсолютным измерениям (ГЛОНАСС/GPS), для относительных измерений сигналов 150/400 МГц. Задача трёхмерной томографии ионосферы решалась с использованием разложения функции пространственного распределения электронной концентрации по сферическим и эмпирическим ортогональным функциям, с последующим восстановлением их коэффициентов по модельным измерениям.

Результаты моделирования продемонстрировали потенциальную возможность использования данного подхода для относительных измерений.

СВЯЗЬ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВЫСОТАХ МЕЗОСФЕРЫ — НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЫ С СИЛЬНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ В ТРОПОСФЕРЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОПУТСТВУЮЩИХ УСЛОВИЯХ В ТРОПОСФЕРЕ И СТРАТОСФЕРЕ

А.Б. Белецкий, М.А. Черниговская, М.А. Тащилин
Институт солнечно-земной физики, Иркутск

В работе приводятся данные анализа волновых возмущений в верхней атмосфере Земли, выявленных с помощью регистрации собственного свечения атмосферы в регионе Восточной Сибири. Наблюдения проводились с помощью оптического комплекса Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° с. ш., 103° в. д.), включающего в себя широкоугольные ПЗС-камеры, спектрограф для измерения температуры нейтральной атмосферы на высотах ~80–100 км (ОН(6-2)) и четырёхканальный зенитный фотометр. Проводится сопоставление моментов регистрации волновых возмущений с периодами деятельности тропических циклонов в юго-западной акватории Тихого океана и сопутствующими условиями в тропосфере и стратосфере. Ранее нами, при сопоставлении сезонных ходов амплитуд вариаций интенсивности эмиссии 557,7 нм и повторяемости тропических циклонов, было предположено, что увеличение волновой активности эмиссии 557,7 нм в летние месяцы может определяться в том числе и повышенной

циклонической активностью в этот период. Использование приборов, регистрирующих пространственную картину волновых возмущений, позволяет определить направление распространения возмущений. Эти данные дают возможность с большей достоверностью связать наблюдаемые возмущения с их предполагаемыми источниками.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-05-00760-а).

СЕТЕВОЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДВУМЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ИОНОСФЕРЫ

С.В. Трусов, А.А. Романов, А.В. Аджалова, С.А. Бобровский, А.А. Романов
ОАО «Российские космические системы», Москва

Разработанный программно-аппаратный комплекс предназначен для автоматического проведения измерений ионосферной задержки трансионосферных спутниковых сигналов и обработки результатов измерений на сети приёмных установок с целью реконструкции высотного распределения электронной концентрации в ионосфере.

В состав комплекса входят три или более типовых приёмных установок, сервер обработки данных и программное обеспечение, реализующее технологию регистрации, передачи, обработки и представления данных. Каждая приёмная установка имеет в своем составе приёмник когерентных сигналов с частотами 150/400/1067 МГц и подключается к сети Интернет, что обеспечивает ей оперативный обмен информацией с сервером обработки данных. В результате томографической обработки измерений получают субмеридиональные высотные разрезы электронной концентрации ионосферы.

Отличительной чертой разработанного комплекса является возможность оперативной автоматической обработки результатов измерений. Данные о состоянии электронной концентрации доступны через веб-интерфейс сервера спустя 15–30 мин после пролета спутника над сетью приёмных установок. Вместе с тем, в программном обеспечении сервера реализованы алгоритмы, впервые позволяющие обрабатывать данные томографического радиопросвечивания ионосферы с нескольких сетей приёмных установок одновременно.

В докладе представлены состав и функциональность программно-аппаратного комплекса, технология обработки данных и примеры информационных продуктов.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ В ИОНОСФЕРЕ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ

И.А. Володин¹, С.В. Пешин²

¹ Институт проблем нефти и газа РАН, Москва

² Фрязинское отделение ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

E-mail: peshin@fryazino.net

Рассматривается слой атмосферы (80–200 км), представляющий несколько ионосферных слоёв с их огромной изменчивостью, образованием плазменных структур, наличием химически активной аэрозольной составляющей. Этот слой служит важным передаточным звеном между Солнцем, магнитосферой и верхней ионосферой и нижними слоями атмосферы в функциони-

ровании глобальной электрической цепи и влияния Солнца на метеорологические процессы и климатическую изменчивость.

Построена физико-математическая модель нелинейной динамики ионосферы с участием электромагнитного и акустического полей, а также плазмохимических процессов с высоковозбужденными метастабильными атомами. Показано, что в зонах с высокой концентрацией энергии нелинейные возмущения в ионосфере распространяются со скоростями 200–400 км/с, ранее экспериментально обнаруженными другими авторами, а также происходит генерация инфразвука.

Предложена и обоснована гипотеза образования шаровых молний.

СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПЭС В ИОНОСФЕРЕ

В.В. Чукин, Е.В. Кузьминых

Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург

В настоящее время интенсивно развиваются глобальные навигационные спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС, которые предназначены для определения местоположения пользователя на основе регистрации радиосигналов навигационных спутников. Время, за которое сигнал достигнет приёмника, как и сам сигнал, может значительно исказиться при прохождении через различные слои атмосферы.

Ионосфера — это та часть верхней атмосферы, где наибольшую роль в распространении радиоволн играет электронная концентрация. При прохождении сигнала через ионосферу возникает ионосферная задержка. Величина задержки пропорциональна полному электронному содержанию (ПЭС) вдоль траектории распространения волны. Изменения ПЭС вызывают пропорциональные изменения фазы и искажения амплитуды радиосигнала. Таким образом, чем точнее будет описано пространственно-временное распределение концентрации в ионосфере, тем точнее можно определить положение пользователя.

Помимо этого, существует теория, что изменения в электронном содержании могут быть вызваны не только солнечной активностью, но и сейсмической. Следовательно, возможно использование полученных данных для прогноза землетрясений.

Получить информацию о распределении ПЭС в ионосфере можно разными способами. В ходе данного исследования были использованы: данные, полученные при помощи дигизонда DPS-4, расположенного в г. Томске; численное моделирование на основе модели IRI; данные глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), полученные лабораторией реактивного движения (Jet Propulsion Laboratory, JPL).

Сравнение проводилось в рамках 2009 года. Были выбраны 3 мес с различными показателями солнечной активности. На основе проведенного качественного и количественного анализа были сделаны следующие выводы:

- значения, полученные при помощи дигизонда DPS-4, не соответствуют современным требованиям к глобальности и оперативности;
- использование модели IRI не дает необходимой точности и достоверности, ввиду усредненности картины состояния ионосферы;
- данные ГНСС могут быть использованы для расчёта глобального распределения ПЭС с достаточной точностью и оперативностью.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ИОНОСФЕРНЫХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАД ЗОНАМИ ДЕЙСТВИЯ УРАГАНОВ RITA (18–26.09.2005) И WILMA (15–25.10.2005)

Н.П. Первалова, А.С. Полякова, А.Б. Ишин, С.В. Воейков
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
E-mail: pereval@iszf.irk.ru

На основе разработанной авторами технологии картирования интенсивности вариаций полного электронного содержания (ПЭС) проведен сравнительный анализ пространственно-временной динамики возмущений ПЭС с картами приземных метеорологических параметров (давление, зональный и меридиональный ветер, температура) во время действия мощных тропических циклонов Rita (18–26 сентября 2005 г.) и Wilma (15–25 октября 2005 г.). Циклоны действовали вблизи атлантического побережья США. Вариации ПЭС рассчитывались на основе фазовых измерений наземных двухчастотных приёмников GPS (<http://sopac.ucsd.edu>). Карты метеорологических параметров построены по данным архива NCEP/NCAR Reanalysis (<http://www.esrl.noaa.gov/psd>). В результате проведенных исследований установлено, что над зонами действия циклонов в спокойной геофизической обстановке наблюдалось усиление интенсивности колебаний ПЭС с периодами 02–20 и 20–60 мин. Усиление регистрировалось тогда, когда циклоны достигали стадии урагана. Интенсивность колебаний ПЭС была выше на лучах «приёмник – спутник», которые проходили ближе к урагану. В колебаниях с периодами 20–60 мин возмущения ПЭС были выражены сильнее, чем для периодов 02–20 мин. Среднее увеличение амплитуды длиннопериодных (20–60 мин) возмущений относительно спокойного уровня составляло 0,7–0,8 TECU. Амплитуда колебаний с периодами 02–20 мин возрастала, в среднем, на 0,3–0,4 TECU. Наибольшие значения амплитуды регистрировалась не над центрами циклонов (где отмечается наименьшее давление), а ближе к их периферии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 08–05–00658).

ФАЗОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Ф.И. Выборнов, В.А. Алимов, А.В. Рахлин
Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород
E-mail: vybornov@nirfi.sci-nnov.ru

Рассмотрены особенности применения фазового метода исследований мультифрактальной структуры турбулентности ионосферной плазмы, который базируется на измерении многомерных структурных функций (МСФ) q -го порядка для фазовых флуктуаций принимаемых на Земле сигналов ИСЗ.

Отмечается, что в реальных нестационарных условиях рассеяния высокочастотных радиоволн в ионосферной плазме классический метод спектрального анализа радиосигналов не работает и может приводить к существенным ошибкам в определении спектральных характеристик ионосферной турбулентности.

Показано, что в условиях сильных фазовых возмущений трансionoсферных сигналов структурные функции флуктуаций амплитуды оказываются в насыщении, что не всегда позволяет получить достоверную ин-

формацию о фрактальной структуре даже мелкомасштабных ионосферных неоднородностей. Кроме того, недостатком амплитудного метода является очень ограниченная область инерционного интервала исследуемой плазменной турбулентности.

Утверждается, что в таких реальных нестационарных условиях применение фазового метода исследований с мультифрактальной обработкой сигналов, принимаемых от орбитальных ИСЗ, с использованием МСФ позволяет получить данные об истинных значениях показателя спектра, сведения о мультистепенных спектрах и информацию о локальной структуре мелкомасштабной ионосферной турбулентности как в естественных условиях, так и при воздействии на ионосферу мощным КВ-радиоизлучением. Приводятся первые результаты такой обработки для сигналов, принятых от навигационных ИСЗ, во время сильных искусственных ионосферных возмущений, вызванных работой нагревного стенда СУРА.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 09-02-97026-р_поволжье_a.

ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

PHYSICALLY BASED REMOTE SENSING METHODS AND THE REMAINING CHALLENGES OF MONITORING VEGETATION: NEW ANGLES ON AN OLD PROBLEM

Jan Pisek, Tiit Nilson, Andres Kuusk
Tartu Observatory, Estonia
E-mail: jan.pisek@utoronto.ca

Mapping vegetation through optical remote sensing involves various considerations, processes and techniques that rapidly evolved during the past decade. In this talk, the physically based methods and problems associated with the estimation of ecological and biophysical variables from remote sensing observations will be discussed. They will be illustrated over the solar spectral domain, with emphasis on leaf area index (LAI) estimation using currently available algorithms developed for moderate resolution sensors, with due attention to the associated advantages and drawbacks. Next, the topic of physical interpretation of multi-angle observations will be visited with illustrations of useful applications from this rapidly growing field. The emphasis will be on the added new information that existing optical multi-angle data can provide to existing applications. There has been a wide array of approaches which have resulted in studies demonstrating progress and many of which show the possible advantages over the use of purely mono-angle techniques — particularly for obtaining measures of canopy structure.

ВИХРИ В ОКЕАНЕ: НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.Г. Зацепин
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
E-mail: zatsepin@ocean.ru

Вихри являются одной из наиболее распространенных форм движения вод океана. Спектр их размеров весьма широк: от миллиметров и сантиметров

(мелкомасштабная турбулентность) до первых сотен километров по горизонтали (синоптические вихри). Кинетическая энергия вихревого движения превосходит кинетическую энергию средних течений. Вихри играют существенную роль в вертикальном и горизонтальном перемешивании вод океана, в формировании его биологической продуктивности. В докладе обсуждаются механизмы формирования и эволюции океанических вихрей, приводятся данные их натуральных наблюдений (со спутников и с помощью контактных измерительных средств), а также результаты их численного и лабораторного моделирования.

ИЗУЧЕНИЕ ЛЬДОВ АРКТИКИ СРЕДСТВАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е.В. Шалина

Санкт-Петербургский государственный университет

Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», Санкт-Петербург

E-mail: Elena.shalina@niersc.spb.ru

Арктические льды, являясь важной составляющей климатической системы Земли, в то же время могут служить и индикатором происходящих в этой системе изменений. В значительной мере важность роли морского льда в климатических процессах обусловлена наличием положительной обратной связи между изменениями температуры системы океан – атмосфера и площадью морских льдов. Морской лёд имеет гораздо более высокое альbedo ($>0,6$), чем водная поверхность ($\sim 0,07$), что определяет различие в уровнях поглощения поступающей солнечной энергии. Увеличение температуры должно вызывать усиление таяния льдов, что, в свою очередь, способствует увеличению количества поступающего в систему тепла, так как площадь льдов, имеющих высокое альbedo, сокращается, а площадь воды, имеющей существенно более низкое альbedo, увеличивается.

Наблюдающееся глобальное потепление и сокращение площади морских льдов в последние десятилетия определяют пристальное внимание к трансформации ледяного покрова Арктики, что требует его постоянного мониторинга. Такой мониторинг для обширных и удалённых районов Арктики может быть осуществлён только на основе дистанционных (спутниковых) наблюдений. В отличие от *in situ* наблюдений спутники, данные которых используются для изучения арктических льдов, обеспечивают ежедневное глобальное покрытие полярных территорий.

Основным источником информации о состоянии морских льдов и изменениях, происходящих с ледяным покровом Арктики, является спутниковое пассивное дистанционное зондирование в микроволновом диапазоне спектра (данные доступные с 1978 г.). Помимо сказанного выше о важности спутниковых наблюдений, измерения в микроволновом диапазоне имеют ещё одно существенное преимущество, заключающееся в возможности измерений в любое время суток и при наличии облачности, что исключительно важно для Арктики. Важным дополнением к измерениям в микроволновом диапазоне, проводимым по схеме пассивного дистанционного зондирования, являются измерения в том же диапазоне, но проведенные по схеме активного дистанционного зондирования, полученные со скаттерометров, а также радаров с синтетизированной апертурой. Для валидации результатов, полученных на основе измерений в микроволновом диапазоне, используют также исследования в оптическом диапазоне спектра. В лекции будут про-

демонстрированы примеры данных о ледяном покрове в различных диапазонах спектра, полученные с различных приборов и спутников, дан обзор способов извлечения информации о ледяном покрове, преимуществах и недостатках различных источников данных.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРНЕТ-АРХИВЫ СПУТНИКОВЫХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ — ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

С.В. Станичный

Морской гидрофизический институт НАНУ, Севастополь, Украина
E-mail: sstanichny@mail.ru

Рассмотрены возможности современных архивов спутниковых и метеорологических данных NASA, NOAA, USGS, ESA для выборки, обработки и представления результатов дистанционного зондирования. На конкретных примерах продемонстрированы преимущества многоспектрального многоплатформного подхода к изучению процессов и явлений в морской среде. Привлечение современных метеорологических данных позволяет получить дополнительную информацию о возможных причинах изменчивости наблюдаемых параметров. Рассмотрено применение BEAM Visat для обработки спутниковых и метеорологических данных.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ГЕОЛОГИИ. ОБЗОР

А.А. Тронин, В.И. Горный

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН
E-mail: a.a.tronin@ecosafety-spb.ru

Спектральные методы в дистанционном зондировании, и, в первую очередь в геологии, получили в последнее время широкое распространение. В настоящее время существует широкий набор авиационной и спутниковой аппаратуры для многоспектральной и гиперспектральной съёмки. Физической основой для применения спектральной съёмки служат особенности спектров природных и антропогенных объектов на земной поверхности. Рассмотрены спектры минералов и горных пород, растительности, водных поверхностей, почв, антропогенных объектов в видимом, ближнем и тепловом ИК-диапазонах. Анализ существующих алгоритмов картирования минералов-индикаторов геологических обстановок, перспективных на выявление месторождений полезных ископаемых по данным видеоспектральной и гиперспектральной съёмок, выявил широкие возможности применения современных математических методов для решения задачи распознавания минералов. Рассмотрены различные методы решения обратной геофизической задачи, такие как двоичное кодирование, волновая характеристика, заполнение спектральными образцами, картирование спектрального угла, спектральное разделение, итеративное спектральное разделение, условная минимизация энергии, проекция на искомое подпространство, классификация, спектральная кросс-корреляция. Отдельной проблемой является решение обратной задачи для теплового ИК-диапазона. Для этого диапазона также разработано несколько методов определения минерального со-

става подстилающей поверхности. Обзор опыта применения спутниковых спектральных методов показал высокую эффективность в следующих направлениях: геологическое картирование горных пород по литологическим различиям; картирование минералов-индикаторов геологических обстановок, перспективных на выявление месторождений полезных ископаемых; картирование современных гидротермальных проявлений.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Дистанционный мониторинг природных пожаров и их последствий <i>Е.А. Лузян, С.А. Барталёв, Д.В. Ершов, Г.Н. Коровин, Р.В. Котельников, В.Е. Щетинский</i> | 3 |
| Дистанционный мониторинг процессов и явлений в морских экосистемах <i>С.В. Станичный, Ю.Б. Ратнер, Д.М. Соловьёв, Р.Р. Станичная, А.А. Кубряков, А.Ю. Антонок</i> | 3 |
| Исследование активных вулканов методами дистанционного зондирования <i>А.П. Хренов</i> | 4 |
| Использование спутниковых данных в Росгидромете для мониторинга опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций <i>В.В. Асмус, В.А. Кровотынцев, О.Е. Милехин, В.И. Соловьёв, А.Б. Успенский</i> . . . | 5 |
| Концепция развертывания ситуационных центров мониторинга в Республике Казахстан <i>Л.Ф. Сливак, Н.Р. Муратова</i> | 6 |
| Новая карта растительного покрова России <i>С.А. Барталёв, В.А. Егоров, Д.В. Ершов, А.С. Исаев, Е.А. Лузян, Д.Е. Плотников, И.А. Уваров</i> | 7 |
| Опытная эксплуатация комплекса многозональной сканерной съёмки (КМСС) на космическом аппарате «Метеор-М» № 1 и практическое использование данных для обеспечения мониторинга окружающей среды <i>Г.А. Аванесов, Б.С. Жуков, И.В. Полянский, О.В. Бекренёв, Л.И. Пермитина</i> . . . | 8 |
| Спутниковые методы изучения землетрясений <i>А.А. Тронин</i> | 9 |
| Спутниковый мониторинг катастрофических разливов нефти <i>О.Ю. Лаврова, А.Г. Костяной</i> | 9 |
| Спутниковый мониторинг реакции растительности на засуху 2010 г. в России <i>И.Ю. Савин, С.А. Барталёв, Е.А. Лузян, В.А. Толпин</i> | 10 |
| Термодинамический подход для дистанционного картографирования уровня антропогенной нагрузки на экосистемы <i>В.И. Горный, С.Г. Крицук, И.Ш. Латыпов</i> | 11 |
| МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ | |
| Line-by-Line-модели для ДЗЗ спектрометрами высокого разрешения <i>Ю.А. Борисов, В.А. Фалалеева, Б.А. Фомин</i> | 12 |
| Автоматический расчёт скоростей перемещений ледовых полей с процедурой отбраковки «ложных» векторов <i>М.Г. Алексанина, А.И. Алексанин, А.Ю. Карнацкий</i> | 13 |
| Адаптивная строчная радиометрическая коррекция для компенсации аппаратурного строчного шума данных гиперспектральной съёмки <i>В.Н. Остриков, О.В. Плахотников, А.А. Соболев, К.М. Шулика</i> | 14 |
| Алгоритмы обработки интерферограмм бортового фурье-спектрометра космического базирования <i>С.А. Хохлов, А.С. Романовский</i> | 15 |
| Анализ вклада радиоизлучения спокойного Солнца в тепловое излучение морской поверхности в L-диапазоне <i>М.Т. Смирнов, М.В. Данильчев</i> | 16 |
| Анализ структурных свойств электрической турбулентности в грозовой облачности <i>Н.С. Ерохин, Н.Н. Зольникова, И.А. Краснова, Л.А. Михайловская</i> | 17 |
| Анализ функционирования и оптимизация алгоритмов установления соответствия в условиях неравномерности чувствительности телевизионных камер по полю зрения <i>В.А. Гришин</i> | 18 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Аппаратные комплексы для обработки, хранения и представления данных центральных узлов ИСДМ Рослесхоз <i>М.В. Радченко, И.В. Балашов, В.Ю. Ефремов, Р.В. Котельников, А.А. Мазуров, С.Э. Миклашевич, А.А. Прошин, Е.В. Флитман</i> | 19 |
| Быстрый алгоритм восстановления аэрозольной оптической толщины атмосферы и альbedo поверхности по спутниковым данным <i>И.Л. Кацев, А.С. Прихач, Э.П. Зега, А.А. Кохановский, Я.О. Грудо</i> | 19 |
| Влияние геометрических параметров радиолокационного наблюдения из космоса на степень искажения изображения участков земной поверхности <i>М.В. Грднев</i> | 20 |
| Влияние погрешности задания угла фарадеевского вращения плоскости поляризации на точность измерения параметров матрицы рассеяния поляриметрическими РСА <i>М.В. Сорочинский, А.И. Захаров</i> | 21 |
| Восстановление эффективного размера снежных зёрен и загрязнений снега по спутниковым данным в полярных регионах <i>Э.П. Зега, И.Л. Кацев, А.В. Малинка, А.С. Прихач, Я.О. Грудо, Г. Хейгестер, Х. Вейбе</i> | 22 |
| Выбор и оптимизация параметров модели гиперспектральных данных при помощи генетического алгоритма для оптимизации предиктивных этапов алгоритмов компрессии <i>Я.В. Малюшин, О.В. Плахотников</i> | 23 |
| Выбор исходных цифровых космических изображений для синтеза изображения участка поверхности Земли, представляемого в цифровой форме с существенно лучшим разрешением <i>С.В. Блажевич, В.Н. Винтаев, Е.С. Селютина, Н.Н. Ушакова</i> | 24 |
| Вычислительные аспекты построения классификаторов разной сложности при обработке гиперспектральных аэрокосмических изображений <i>В.В. Козодёров, Е.В. Дмитриев, В.Д. Егоров, В.В. Борзяк</i> | 25 |
| Дистанционное определение характеристик влагосодержания атмосферы по данным микроволнового зондирования с ИСЗ «Метеор-М» № 1 <i>Е.К. Крамчанинова, А.Б. Успенский, И.В. Чёрный</i> | 26 |
| Задача ассимиляции «образа» поверхностных скоростей в одной модели магнитной гидродинамики <i>А.Ю. Семенов, В.И. Агошков, С.В. Кострыкин</i> | 27 |
| Интерферометрическая обработка данных космических РСА высокого и сверхвысокого разрешения <i>В.Г. Коберниченко, А.В. Сосновский, Д.Б. Никольский</i> | 27 |
| Использование отражений от совокупности объектов искусственного происхождения в анализе данных двухчастотных поляризационных РСА применительно к задаче распознавания типов подстилающей поверхности <i>С.А. Величко</i> | 29 |
| Исследование статистических характеристик радиоволн СВЧ-диапазона при распространении в случайно-неоднородной атмосфере <i>А.А. Спиридонов, В.А. Саечников</i> | 30 |
| Исследования радиояркостной температуры атмосферы тропиков в линии 183,3 ГГц <i>А.Г. Сёмин, А.В. Кузьмин, Ю.Б. Хапин, Е.А. Шарков</i> | 30 |
| Классификация облаков по спутниковым снимкам на основе технологии нейронных сетей <i>В.Г. Астафуров, А.В. Скороходов</i> | 31 |
| Математическая модель бортового процессора для субпиксельной обработки данных ДЗЗ с целью повышения разрешающей способности цифровой картографической информации <i>С.В. Блажевич, В.Н. Винтаев, А.Л. Греков, А.В. Секирин, Н.Н. Ушакова</i> | 32 |
| Методика создания безоблачных композитных изображений по спутниковым данным LANDSAT <i>Е.И. Белова, Д.В. Еришов</i> | 33 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Методика широтно-временной диаграммы для изучения пространственно-временной структуры радиотеплового поля Земли <i>Г.Р. Хайруллина, Н.М. Астафьева, М.Д. Раев</i> | 34 |
| Методики съёмки и обработки спектров и изображений, получаемых фотоспектральной системой <i>Ю.А. Крот, Б.И. Беляев, Л.В. Катковский, А.В. Роговец, В.А. Сосенко, М.Ю. Беляев, В.В. Рязанцев, В.Б. Малышев</i> | 35 |
| Методические аспекты спектрально-энергетических калибровок оптической аппаратуры <i>А.В. Роговец, Ю.В. Беляев, Л.В. Катковский, А.А. Казак, Т.М. Курикина, И.М. Цикман</i> | 36 |
| Недвойное многопороговое декодирование для систем ДЗЗ <i>П.В. Овечкин, В.В. Золотарёв, Г.В. Овечкин</i> | 37 |
| Построение высокоэффективных систем доступа к архивам спутниковых данных на основе использования суперкомпьютерных технологий <i>И.В. Балашов, В.Ю. Ефремов, Ю.С. Крашенинникова, А.А. Мазуров, А.М. Матвеев, А.А. Прошин, К.О. Сергеева</i> | 38 |
| Построение технологии уточнения информации о площадях лесных гарей на основе спутниковых данных высокого пространственного разрешения <i>С.С. Барталёв, А.А. Галеев, В.Ю. Ефремов, А.А. Златопольский, А.А. Мазуров, Е.В. Флитман</i> | 38 |
| Предварительная обработка данных СВЧ-радиометра МТВЗА-ГЯ КА «Метеор-М» № 1 <i>А.М. Стрельцов, О.В. Никитин, И.В. Чёрный, А.А. Мазуров, А.М. Матвеев</i> | 39 |
| Преобразование снимков спутника LANDSAT-5(7) <i>И.С. Камардин, А.М. Матвеев</i> | 40 |
| Применение ансамблей непараметрических алгоритмов кластеризации для обработки многоспектральных спутниковых изображений <i>И.А. Пестунов, Е.А. Куликова, Ю.Н. Синявский, В.В. Смирнов</i> | 40 |
| Применение аппаратуры спутниковой навигации системы ГЛОНАСС для прогнозирования движения космических аппаратов <i>Е.П. Минаков</i> | 41 |
| Применение Интернет-ресурсов для проведения атмосферной коррекции данных спутниковых измерений <i>М.В. Энгель, С.В. Афонин, В.В. Белов</i> | 42 |
| Принципы построения и функционирования комплекса обработки данных ДЗЗ КА «Канопус-В» <i>В.В. Еремеев, В.И. Колесников, А.Е. Кузнецов, М.В. Новиков, В.И. Побаруев</i> | 43 |
| Проблемы классификации гиперспектральных авиакосмических изображений <i>Т.В. Кондранин, В.В. Козодёров, О.Ю. Казанцев, В.И. Бобылев, Е.В. Дмитриев, В.Д. Егоров, В.П. Каменцев, В.В. Борзjak</i> | 44 |
| Проект ЕИС ФКИ <i>В.П. Саворский, А.Б. Аквилонова, И.Н. Кибардина, Е.А. Лупян, Р.Р. Назиров, А.А. Петрукович, М.Т. Смирнов</i> | 45 |
| Развитие средств автоматизации приёма и обработки спутниковой информации региональной системы ДЗЗ СФУ <i>Ю.А. Маглинец, Е.А. Мальцев</i> | 46 |
| Результаты практической апробации технологии формирования карт облачности по данным аппаратуры КМСС <i>А.Е. Кузнецов, В.И. Пошехонов, В.И. Соловьёв</i> | 46 |
| Сбор и обработка аэрокосмической информации в интегрированной информационной системе научной организации <i>А.Н. Платэ</i> | 47 |
| Система доступа к данным Европейского, Западно-Сибирского и Дальневосточного центров приёма Росгидромета <i>М.А. Бурцев, В.Ю. Ефремов, А.А. Мазуров, А.А. Прошин, Е.А. Лупян, О.Е. Милехин</i> | 49 |
| Система работы с данными наблюдения Земли из космоса ИКИ РАН <i>И.В. Балашов, М.А. Бурцев, В.Ю. Ефремов, А.А. Мазуров, А.А. Мазуров-мл., А.М. Матвеев, А.А. Прошин, В.А. Толпин</i> | 49 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Современный подход к обработке тепловизионных снимков <i>В.Л. Онегов, Л.К. Каримова</i> | 50 |
| Сравнение поляриметрических особенностей характеристик отражения по радиолокационным изображениям РСА «Компакт» в L- и УКВ-диапазонах <i>М.Ю. Достовалов, А.В. Ермаков, Т.Г. Мусиняц</i> | 51 |
| Тепловое излучение и поглощение на синусоидальной границе водной поверхности для вертикальной поляризации в рамках модели плоской волны <i>А.Б. Селунский, А.В. Кузьмин</i> | 51 |
| Точность атмосферной коррекции при расчёте коэффициентов яркости моря программным комплексом SeaDAS <i>А.И. Алексанин, В.А. Качур, П.А. Салюк</i> | 52 |
| Уходящая коротковолновая радиация и альbedo на верхней границе атмосферы по наблюдениям с ИСЗ «Метеор-М»№1 <i>Ю.А. Склярков, В.А. Воробьёв, А.И. Котума, Н.В. Семёнова, Н.В. Фомина, М.Ю. Червяков, В.М. Фейгин</i> | 53 |
| Характеристики дифференцированных вариаций спектральной яркости восходящего излучения системы поверхность-атмосфера в международном многоуровневом эксперименте «Карибэ-88» («Наблюдаемые реакции») <i>Е.М. Козлов</i> | 54 |
| ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА | |
| Flood Monitoring Grid Infrastructure based on SAR and Optical Data <i>A. Shelestov, S. Skakun, Li Guoqing</i> | 55 |
| Grid Workflow Management for Satellite Data Processing within UN-SPIDER Program <i>N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun</i> | 56 |
| Monitoring water quality in open basin of non-operating copper mines and dumps <i>D.S. Borisova, H.S. Nikolov</i> | 57 |
| Ассимиляция данных ГЛОНАСС/GPS в региональную численную модель прогноза погоды WRF ARW <i>В.В. Чукин, А.В. Вахнин, С.В. Мостаманди, С.Ю. Нугай, Т.Т. Неуен, З.С. Савина</i> | 58 |
| Внедрение индикаторов эффективности космической деятельности на этапе проектирования и эксплуатации национальных космических систем <i>Л.А. Макриденко, И.Ю. Ильина</i> | 59 |
| Возможности использования системы спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель для информационного обеспечения регионов и агропромышленных предприятий <i>С.А. Барталёв, Е.А. Лупян, А.А. Нестеренко, И.Ю. Савин</i> | 60 |
| Возможности оперативного выявления аномалий в динамике развития растительности на основе данных прибора MODIS <i>В.А. Толтин, Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Хвостиков</i> | 61 |
| Возможности построения краткосрочных глобальных радиотепловых изображений системы океан—атмосфера на базе программной платформы “Stream Handler” <i>Д.М. Ермаков, А.П. Чернушич, Е.А. Шарков, Я.Н. Шрамков</i> | 62 |
| Изменчивость альbedo снежного покрова Восточно-Европейской равнины — анализ спутниковых данных <i>Л.М. Китаев, Т.Б. Титкова</i> | 63 |
| Изучение процесса формирования ландшафта ГПБЗ «Керженский» на основе методов дистанционного зондирования <i>Е.М. Семёнычева, Т.О. Ерискина, Н.А. Кащенко</i> | 63 |
| Интеграция спутниковых данных и наземных видеонаблюдений в системах мониторинга <i>В.А. Дубина, В.К. Фищенко, О.Г. Константинов, Л.М. Митник</i> | 65 |
| Интеллектуальная технология оценки посевных площадей и риска засухи по спутниковым и наземным данным <i>Ю.А. Грипич, А.Н. Кравченко, Н.Н. Куссуль</i> | 66 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Исследование воронок Тунгусского метеорита, сочетание дистанционных и экспедиционных методов <i>В.А. Алексеев, Н.Г. Алексеева, С.Ю. Желтов, В.В. Копейкин, Л.Г. Пелехань, В.А. Рукавичников, Э.Я. Фальков, В.А. Чечин</i> | 66 |
| Калибровка и верификация моделей затопления речных долин на основе космических снимков <i>И.Н. Крыленко</i> | 67 |
| Метод оценки объёмов сжигания попутного газа по спутниковым изображениям ночных огней <i>А.И. Годунов, М.Н. Жижин</i> | 69 |
| Методика оценки агротехнического уровня возделывания зерновых культур Северного Казахстана и его изменений в период 2000–2009 гг. по данным MODIS <i>А.Г. Терехов</i> | 69 |
| Многокритериальная оптимизация планирования космической съёмки <i>Н.Н. Куссуль, С.Л. Янчевский</i> | 70 |
| Моделирование полей характеристик снежного покрова для лесостепной зоны Центральной России с использованием спутниковой информации <i>М.В. Александрович</i> | 71 |
| Мониторинг выгоревших территорий в сухостепных и полупустынных зонах Евразии по данным MODIS и LANDSAT <i>А.Г. Терехов, И.С. Витковская, М.Ж. Батырбаева</i> | 72 |
| Мониторинг подтопления земель авиационным комплексом дистанционного зондирования АКДЗ-30 <i>В.Н. Цымбал, С.Е. Яцевич, Д.М. Бычков, А.Я. Матвеев, А.В. Кабанов</i> | 73 |
| Некоторые результаты космического мониторинга чрезвычайных ситуаций в Казахстане <i>О.П. Архипкин, Л.Ф. Спивак, Г.Н. Сагатдинова</i> | 74 |
| Новые подходы к организации оперативного космического мониторинга <i>М.А. Элердова</i> | 75 |
| Определение вертикальных смещений объектов нефтедобычи методом радарной интерферометрии <i>А.В. Филатов, А.В. Евтюшкин</i> | 77 |
| Опыт наблюдения за состоянием колоний большой песчанки (<i>Rhombomys opimus</i>) с использованием дистанционного зондирования в очагах чумы Республики Казахстан <i>В.М. Дубянский, Л.А. Бурделов</i> | 78 |
| Особенности мониторинга тропического циклогенеза в глобальном поле водяного пара <i>Я.Н. Шрамков, Е.А. Шарков, И.В. Покровская, М.Д. Раев</i> | 79 |
| Особенности организации контроля и управления распределенными системами дистанционного мониторинга <i>И.В. Балашов, М.А. Буцев, В.Ю. Ефремов, А.А. Мазуров-мл., А.С. Мамаев, А.М. Матвеев, А.А. Прошин, Е.В. Флитман</i> | 79 |
| Оценка динамики структуры сельхозугодий и состояния основных сельскохозяйственных культур <i>В.И. Повх, Е.А. Воробейчик, Л.А. Шляхова</i> | 80 |
| Оценка погрешностей при спутниковом мониторинге растительности Санкт-Петербурга <i>А.А. Тронин, С.Г. Крицук</i> | 81 |
| Оценка рисков на основе геопространственной информации с применением ансамблевого подхода к анализу и технологий слияния разнородных данных <i>Н.Н. Куссуль, Я.И. Зельк, С.В. Скакун, А.Ю. Шелестов</i> | 82 |
| Перспективы комплексного использования современных спутниковых, информационно-коммуникационных технологий для решения задач отраслевой системы мониторинга рыболовства <i>В.В. Марченков, В.Н. Пырков, В.Н. Черных, В.В. Ермаков, М.В. Фомичев, О.В. Бажутин</i> | 83 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Перспективы комплексного использования современных технологий анализа эффективности предпрятий для решения задач отраслевой системы мониторинга рыболовства <i>В.Е. Кривонозко, А.В. Лычёв, В.Н. Пырков, А.А. Нестеренко</i> | 84 |
| Перспективы разработки комплекса интерферометрической и дифференциально-интерферометрической обработки данных российских космических радиолокаторов с синтетизированной апертурой <i>А.А. Феоктистов, Н.Н. Новикова, А.И. Захаров, П.В. Денисов</i> | 84 |
| Подготовка и переподготовка кадров для Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли на базе Центра аэрокосмического образования Белгосуниверситета <i>Е.В. Верхотурова, В.Р. Ермакович, А.И. Жук, О.Л. Жук, С.В. Лешкевич, В.В. Понарядов, В.А. Саечников, М.И. Хомич, Э.А. Чернявская</i> | 85 |
| Построение комплексных картографических веб-интерфейсов для работы со спутниковыми данными и результатами их обработки в различных системах дистанционного мониторинга <i>В.Ю. Ефремов, И.В. Балашов, М.А. Бурцев, Е.А. Лупян, А.А. Прошин, В.А. Толтин</i> | 87 |
| Построение рядов вегетационных индексов сельхозполей на основе комплексирования космических снимков различного разрешения и векторных карт <i>А.В. Чернов, Н.С. Воробьёва, А.А. Иванов</i> | 87 |
| Построение системы работы с информацией о действующих пожарах, получаемой на основе данных прибора MODIS <i>Е.В. Флитман, А.А. Галеев, И.В. Балашов, Д.В. Еришов, В.Ю. Ефремов, Р.В. Котельников</i> | 88 |
| Потребности государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Республики Казахстан в космическом мониторинге <i>Т.М. Аюбаев, С.Г. Габбасов, Л.Ф. Спивак</i> | 89 |
| Применение данных дистанционного зондирования для наблюдения динамики прибрежной зоны <i>Н. Мамедова</i> | 91 |
| Применение метода оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ-Рослесхоз <i>А.С. Подольская, Д.В. Еришов</i> | 91 |
| Применение радарной топографической съёмки SRTM для моделирования речного стока на основе программного комплекса Esomag <i>Е.Н. Антохина</i> | 92 |
| Применение снимков LANDSAT и SPOT для обнаружения поврежденных сибирским шелкопрядом лиственных лесов Якутии <i>Е.В. Федотова</i> | 94 |
| Применение цифровых моделей рельефа в системе космического мониторинга Казахстана <i>Г.Н. Сагатдинова, Л.Ф. Спивак, О.П. Архипкин</i> | 95 |
| Проблема регионального контроля обстановки на потенциально опасных объектах и её решение с использованием космических средств <i>Е.П. Минаков, Е.Ф. Чичкова</i> | 96 |
| Разработка реляционной базы глобального тропического циклогенеза <i>Я.Н. Шрамков, Е.А. Шарков, И.В. Покровская</i> | 97 |
| Разработка технологии идентификации карьеров строительных материалов на основе оперативно получаемых космических снимков высокого разрешения и выборочных наземных данных <i>Т.В. Железнова, А.И. Свиридо, М.С. Кудряков, В.А. Спач</i> | 98 |
| Система динамических интерфейсов для работы с данными объединенного каталога НЦ ОМЗ <i>В.Ю. Ефремов, М.А. Бурцев, К.А. Емельянов, А.А. Мазуров, А.А. Прошин, В.П. Саворский</i> | 99 |
| Система информационной поддержки задач оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования <i>Ю.И. Шокин, Н.Н. Добрецов, В.В. Смирнов, А.А. Лагутин, В.Н. Антонов, А.В. Калашиников</i> | 99 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Система моделирования чрезвычайных ситуаций на водных объектах Казахстана <i>И.Н. Крыленко, В.В. Беликов, О.П. Архипкин</i> | 101 |
| Система мониторинга облачного покрытия степной зоны Северного Казахстана по данным NOAA/AVHRR <i>И.С. Витковская, А.Г. Терехов, Л.Ф. Спивак</i> | 102 |
| Систематизация и визуализация разнородных данных об опасных мезомасштабных процессах на границе атмосферы и гидросферы <i>Е.С. Митюшина</i> | 103 |
| Создание межотраслевого технического и научно-методического центра подготовки высококвалифицированных научных и производственных кадров по современным прикладным космическим технологиям <i>А.А. Спиридонов, В.А. Саечников</i> | 104 |
| Создание проектов агрополигонов для валидации данных ДЗЗ <i>В.И. Поев, Е.А. Воробейчик</i> | 107 |
| Создание распределённой базы многомерных массивов для хранения климатических данных <i>А.М. Новиков, Д.Ю. Медведев</i> | 108 |
| Спутниковый мониторинг экологического каркаса речного бассейна как метод оценки его состояния и возможности восстановления <i>И.Е. Курбатова</i> | 109 |
| Сравнение двух сценариев определения микроструктуры рассеивающего объекта лидарными системами дистанционного зондирования <i>Г.П. Арумов, А.В. Бухарин</i> | 110 |
| Технологические решения компании «СканЭкс» для приёма и обработки спутниковой информации <i>Д.И. Федоткин, И.Н. Фарутин</i> | 111 |

ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ ДЛЯ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ultra-Violet C on the Earth Surface and Wildfires Early Detection <i>G. Georgiev, R. Kancheva</i> | 112 |
| Выявление видов грубых искажений информации микроволнового радиометра МТВЗА КА «Метеор-М» № 1 <i>А.А. Козлов, М.В. Бухаров</i> | 113 |
| Исследование возможностей дистанционного обнаружения экранированных источников УФ-С-излучения <i>А.А. Белов, В.В. Егоров, А.П. Калинин, И.В. Крысюк, И.Д. Родионов, И.П. Родионова, С.Н. Степанов</i> | 114 |
| Новая эталонная база России для радиометрической калибровки оптической аппаратуры наблюдения Земли и оценка возможных уровней точности получаемых радиометрических данных <i>А.С. Панфилов, В.Р. Гаврилов, В.С. Иванов, В.Н. Крутиков, Б.Е. Лисянский, С.П. Морозова, С.А. Огарёв, Б.Б. Хлевной, В.И. Саприцкий</i> | 115 |
| Оптико-радиофизический комплекс аппаратуры для исследования свечений верхней атмосферы Земли <i>С.В. Хвалей, Ю.В. Беляев, В.В. Веллер, А.В. Домарацкий, В.А. Сосенко, В.М. Синельников</i> | 116 |
| Организация интегрированных оптических и радиолокационных наблюдений Земли из космоса <i>А.И. Захаров, Л.Н. Захарова, М.В. Сорочинский</i> | 117 |
| Патентно-конъюнктурные исследования методов и систем мониторинга гравитационного поля <i>С.А. Матвиенко, О.Л. Мороз</i> | 119 |
| Полётная и наземная геометрическая калибровка многозональных сканирующих устройств МСУ-100 и МСУ-50 <i>А.В. Никитин, Б.С. Дунаев, Т.В. Кондратьева, И.В. Полянский</i> | 119 |
| Применение многопороговых алгоритмов декодирования для перспективных высокоскоростных систем ДЗЗ <i>В.В. Золотарёв, Р.Р. Назиров, И.В. Чулков</i> | 120 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Принципы построения региональной информационной системы аэрокосмического мониторинга с интеллектуальной распределённо-параллельной обработкой данных <i>А.В. Замятин</i> | 121 |
| Проект гетеродинамического спектрометра ближнего и среднего ИК-диапазона для исследования динамики атмосфер Земли и планет Солнечной системы <i>А.В. Родин, Г.Н. Гольцман, А.В. Шураков, А.Ю. Климчук, Н.А. Евдокимова, С.В. Черников</i> | 122 |
| Распределённая по вертикали от дна океана до ионосферы система детектирования подготовки моретрясения <i>О.Б. Новик, С.В. Ершов, Ю.Я. Ружин</i> | 123 |
| Расчёт и схема регистрации деформационных, гидродинамических, магнитных, электрических, тепловых сигналов предвестников подводных землетрясений и цунами <i>О.Б. Новик, С.В. Ершов, М.Н. Волгин</i> | 124 |
| Регионализация и регрессионный анализ температуры воздуха и осадков в глобальной БД по климату <i>В.Г. Коновалов, В.В. Мацковский</i> | 125 |
| Результаты предварительных испытаний аппаратуры ИКФС-2 <i>Ф.С. Завелевич, А.В. Десятов, Ю.М. Головин, Ю.П. Мащицкий, А.Г. Никулин, Д.А. Козлов, Д.О. Монахов, И.В. Болмосов, С.А. Архипов, В.А. Целиков, А.С. Романовский</i> | 126 |
| Скоростной канал передачи научной информации для бортовой спектрометрической аппаратуры мониторинга атмосферы Земли <i>С.А. Гришин, В.П. Мельников, В.А. Селянтьев, С.С. Гришин</i> | 127 |
| Спутниковый измеритель коротковолновой отраженной радиации третьего поколения ИКОР-М <i>Ю.А. Склярков, В.А. Воробьёв, В.К. Сахаров, В.М. Фейгин</i> | 128 |
| Сравнительный анализ информативности космических систем на основе радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны, размещаемых на наклонных и полярных орбитах <i>А.М. Полетаев</i> | 129 |
| Структура и основные характеристики космической системы «Сич-2» <i>Г.А. Борщева, А.Л. Макаров, Е.Д. Ярмольчук</i> | 130 |
| Теория и методы разработки алгоритмов многопорогового декодирования <i>В.В. Золотарёв</i> | 130 |
| Элементы и системы ультрафиолетовых поляриметров для зондирования атмосферы Земли из космоса <i>П.В. Неводовский, А.В. Мороженко, А.П. Видьмаченко, М.Д. Гераймчук, Ю.П. Курнев, Е.П. Неводовский</i> | 131 |
| Юстировка антенн наземных станций приема космической информации по вреземному радиоизлучению <i>К.Н. Филькин, А.К. Гончаров, О.В. Бекренёв, С.И. Мартынов</i> | 131 |

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНЫХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Автоматизированная оценка вероятности гололеда и фазы осадков по комплексу спутниковой и прогностической информации <i>Е.А. Сизенова, М.В. Бухаров, Н.С. Миронова, В.М. Лосев, В.М. Бухаров</i> | 132 |
| Алгоритм определения вертикального распределения температуры и влажности атмосферы по спутниковым и стационарным данным в тропических широтах океана <i>А.Г. Гранков, А.А. Мильшин, Е.П. Новичихин, Н.К. Шелобанов</i> | 133 |
| Анализ ограничений при автоматизированном распознавании сильных шквалов по спутниковой и прогностической информации <i>Т.Г. Дмитриева, М.В. Бухаров, Б.Е. Песков</i> | 134 |
| Анализ результатов сопоставления данных ATOVS/NOAA, лидарных и радиозондовых измерений атмосферы <i>А.А. Будищев, В.С. Соловьёв</i> | 135 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Аномалии ветра и температуры поверхности над банкой Кашеварова в Охотском море <i>М.С. Пермяков, Т.И. Тархова, Е.Ю. Поталова, В.И. Семькин</i> | 135 |
| Валидация модели глобального крупномасштабного радиоизлучения Земли в дециметровом диапазоне <i>А.А. Мильшин, А.Г. Гранков, Н.К. Шелобанова</i> | 136 |
| Вариации облачности в Северо-Восточной Азии и солнечной активности в 1997–2009 гг. <i>В.И. Козлов, В.С. Соловьёв, М.С. Васильев</i> | 137 |
| Возможность предсказания образования тропических циклонов и ураганов по данным спутниковых наблюдений <i>И.В. Мингалёв, Н.М. Астафьева, К.Г. Орлов, В.С. Мингалёв, О.В. Мингалёв, В.М. Четкин</i> | 139 |
| Возможные причины горячего российского лета 2010 — Эль-Ниньо 2009 и межполушарные атмосферные колебания <i>Н.М. Астафьева</i> | 139 |
| Временные вариации вертикального содержания NO ₂ в пограничном слое атмосферы московского мегаполиса в период лесных пожаров 2010 г. <i>В.А. Иванов, И.Б. Беликов, А.Н. Боровский, Н.Ф. Еланский, А.С. Елохов, О.В. Постыляков, Р.А. Шумский</i> | 140 |
| Всплески энергии (скрытого тепла или водяного пара) в тропическом циклоне по данным микроволнового спутникового мониторинга <i>Н.М. Астафьева, М.Д. Раев</i> | 141 |
| Генерация крупномасштабных циклонических вихрей в приэкваториальной атмосфере <i>О.Г. Онищенко</i> | 141 |
| Гидродинамико-статистическая модель прогноза с заблаговременностью 12–48 ч сильных шквалов и смерчей по территории Сибири <i>Э.В. Переходцева</i> | 142 |
| Дистанционное зондирование загрязнений поверхности после извержения вулкана <i>Т.А. Сушкевич, С.А. Стрелков, С.В. Максакова, В.В. Козодёров</i> | 143 |
| Дистанционное определение содержания метана в тропосфере над районами Сибири по данным спутникового ИК-зондировщика IASI <i>А.Б. Успенский, А.В. Кухарский, С.В. Романов, А.Н. Рублёв</i> | 145 |
| Долговременный тренд тропосферного содержания NO ₂ в районе Санкт-Петербурга по данным измерений из космоса <i>Д.В. Ионов</i> | 145 |
| Извержение вулкана и радиационное поле Земли (моделирование) <i>Т.А. Сушкевич, С.А. Стрелков, С.В. Максакова, Б.А. Фомин</i> | 146 |
| Использование данных спутниковой микроволновой радиометрии при создании климатологии полярных циклонов <i>Е.В. Заболотских, Л.М. Митник, Л.П. Бобылев, Ю. Смирнова</i> | 147 |
| Использование спутниковых данных NOAA/AVHRR для построения и анализа карт динамики снеготаяния в Республике Казахстан <i>А.М. Кауазов, Н.Р. Муратова, С.И. Тюребаева</i> | 148 |
| Исследование внутренних гравитационных волн методом анализа годографа скорости ветра в нижней стратосфере Земли по радиозондовым измерениям <i>Р.Р. Салимзянов, В.Н. Губенко, А.Г. Павельев, А.А. Павельев</i> | 149 |
| Исследование характеристик мезомасштабных циклонов над дальневосточными морями по данным спутникового мультисенсорного зондирования <i>И.А. Гурвич, М.К. Пичугин, Л.М. Митник</i> | 149 |
| К вопросу о единстве термодинамической системы океана и атмосферы в Индопацифике <i>В.И. Бышев, В.Г. Нейман, Ю.А. Романов, И.В. Серых</i> | 150 |
| Конвекция в задаче типа смерча с влажным поднимающимся и сухим опускающимся воздухом <i>П.Б. Руткевич, Б.П. Руткевич</i> | 151 |

Космическая система «Радиомет» для радиозатменного мониторинга атмосферы и ионосферы сигналами ГНСС «ГЛОНАСС» и GPS, создаваемая на основе сверхмалых спутников

В.М. Вишняков, А.А. Виноградов, А.Г. Павельев, О.И. Яковлев, С.С. Матюгов . . . 152

Критический параметр генезиса тропических циклонов в глобальном поле интегрального водяного пара

Е.А. Шарков, Я.Н. Шрамков, И.В. Покровская 152

Методика автоматического построения карт нефанализа по данным измерений с геостационарного МИСЗ Meteosat-9

Е.В. Волкова 153

Механизм формирования полярных циклонов и возможность их предсказания по данным спутниковых наблюдений

И.В. Мингалёв, К.Г. Орлов, В.С. Мингалёв 154

Моделирование первого научного эксперимента по зондированию из космоса аэрозольных слоев после извержения вулкана (1963) (Посвящается 100-летию юбилею Главного Теоретика космонавтики академика М.В. Келдыша (10.02.1911–24.06.1978) и 35-летию программ)

Т.А. Сушкевич 154

Наблюдение за мезомасштабными атмосферными вихрями в тропической зоне Тихого океана при формировании тропических циклонов

Е.Ю. Поталова, М.С. Пермяков, Н.П. Маликова, Т.И. Тархова 155

Некоторые новые физические механизмы в концепции развития тропических циклонов

Л.И. Петрова 156

Нелинейная динамика регионального циклогенеза в рамках малопараметрической модели

Н.С. Ерохин, Н.Н. Зольникова, Л.А. Михайловская 157

Новые данные о природе некоторых инфракрасных источников в земной атмосфере

В.А. Татарченко 158

О возможности двумерного термического зондирования стратосферы по спутниковым измерениям излучения лимба в полосе поглощения CO₂ 15 мкм с высоким спектральным разрешением

А.В. Ракитин, В.С. Косцов, Ю.М. Тимофеев 158

О корреляционных связях между глобальными метеорологическими полями и солнечной активностью

В.В. Чукин, Е.В. Кузьминых 159

Определение пространственных распределений параметров внутренних волн путем анализа порогов динамической неустойчивости на основе радиозатменных данных о температуре в нижней стратосфере Земли

В.Н. Губенко, А.Г. Павельев, Р.Р. Салимзянов, А.А. Павельев, В.Е. Андреев 160

Оптические параметры протяжённого облака из самолётных измерений NASA

Гения Мванго Джефва, Ирина Мельникова, Чарльз Гатхебе 161

Особенности метода восстановления профиля водяного пара в атмосфере по данным ГЛОНАСС/GPS

В.В. Чукин, Е.С. Алдошкина, А.В. Вахнин, А.Ю. Канухина, Т.Т. Нгуен 161

Особенности экваториального поля водяного пара при эволюции тропического циклона на примере ТЦ Francisco (2001)

Е.А. Шарков, Я.Н. Шрамков, И.В. Покровская 162

Применение новых диагностических карт для анализа условий возникновения снегопада в Москве 7 декабря 2009 г.

К.Н. Головлев, М.В. Бухаров, Н.С. Миронова, Е.А. Сизенова 163

Пространственно-временная изменчивость полей концентрации и содержания CO, NO₂ и O₃ в тропосфере вблизи Санкт-Петербурга по данным измерений и результатам численного моделирования

М.В. Макарова, А.В. Ракитин, Д.В. Ионов, А.В. Поберовский 164

Пространственное распределение плотности грозových разрядов во Востоке России по данным дистанционных наблюдений

В.И. Козлов, В.А. Муллаяров, Р.Р. Каримов 164

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Радиационные характеристики облаков водного и неводного аэрозоля <i>А.К. Городецкой</i> | 165 |
| Разработка и апробация методики анализа энергетических особенностей опасных мезомасштабных процессов на границе атмосферы и гидросферы <i>Г.А. Ким</i> | 166 |
| Распознавание и структура дымовых шлейфов от лесных пожаров по данным спутникового мониторинга <i>О.А. Дубровская, В.В. Смирнов, А.И. Сухинин</i> | 167 |
| Распознавание метеорологических явлений и оценка их параметров по многоспектральной информации микроволнового радиометра МТВЗА <i>М.В. Бухаров, Н.С. Миронова, Е.А. Сизенова</i> | 168 |
| Региональный алгоритм восстановления температуры воздуха в приводном слое атмосферы по данным спутниковых микроволновых измерений в холодное полугодие над Беринговым морем <i>М.К. Пичугин</i> | 169 |
| Связь долгопериодных вариаций приземной концентрации озона с общим содержанием озона в атмосфере г. Улан-Удэ <i>В.П. Бутуханов</i> | 170 |
| Система автоматизированной тематической обработки информации микроволновых радиометров полярно-орбитальных ИСЗ <i>А.В. Кухарский, М.В. Бухаров, В.И. Соловьёв</i> | 170 |
| Сравнения спутниковых и наземных измерений общего содержания озона ИК-методом <i>Я.А. Виролайнен, Ю.М. Тимофеев, Д.В. Ионов, А.В. Поберовский, А.М. Шаламянский</i> | 171 |
| Сравнительный анализ работоспособности двух пороговых методов автоматического детектирования облачности и оценки параметров облачного покрова по данным радиометра SEVIRI с МИСЗ МЕТЕОСАТ-9 <i>Е.В. Волкова</i> | 172 |
| Суточный ход облачности по данным спутниковых и наземных наблюдений <i>А.В. Чернокульский, И.И. Мохов</i> | 173 |
| Теоретическое и экспериментальное исследование влияния пылевых и сажевых загрязнений на процесс снеготаяния <i>А.В. Дмитриев, В.В. Дмитриев</i> | 174 |
| Трёхмерное представление полей скорости ветра в зонах тропосферных струйных течений <i>М.В. Бухаров, Н.С. Миронова, Е.А. Сизенова, В.М. Лосев, В.М. Бухаров, Л.А. Мисник</i> | 175 |
| Трёхмерный диагноз интенсивности обледенения в облаках по комплексу спутниковой и прогностической информации <i>Н.С. Миронова, М.В. Бухаров, Е.А. Сизенова, В.М. Лосев, В.М. Бухаров, Л.А. Мисник</i> | 176 |
| Характеристики атмосферы в зоне действия внутритропического циклона Ксинтия (февраль 2010 г.) по данным спутниковых измерений <i>А.Ф. Нерушев, А.Э. Бархатов, Л.И. Петрова</i> | 176 |
| Широтно-временная структура квазидвухлетних колебаний радиотеплового поля и стратосферного среднего зонального ветра в тропической зоне <i>Г.Р. Хайруллина, Н.М. Астафьева</i> | 177 |
| Экспериментальное исследование потоков углекислого газа в системе океан – атмосфера в Арктике <i>И.А. Репина, И.И. Пипко, А.Н. Салюк, А.С. Смирнов</i> | 178 |

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА И ЛЕДЯНЫХ ПОКРОВОВ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Алгоритм атмосферной коррекции данных спутникового сканера MODIS в области солнечного блика <i>М.В. Лихачева, О.В. Копелевич, С.В. Шеберстов</i> | 179 |
| Алгоритм оценки приводного ветра по данным микроволнового радиометра AMSR-E и его применение к анализу погодных систем в тропической зоне <i>М.Л. Митник, Л.М. Митник</i> | 180 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Анализ межгодовых трендов температуры поверхности океана и концентрации хлорофилла в Атлантическом океане по спутниковым данным <i>С.В. Шеберстов, О.В. Копелевич, Е.А. Лукьянова</i> | 181 |
| Анализ причин возникновения локального минимума вблизи 510–520 нм в спектре коэффициента яркости излучения, выходящего из водной толщи <i>С.В. Вазюля</i> | 182 |
| Антициклоническая циркуляция выступа вод Амура в Сахалинском заливе по спутниковым и морским наблюдениям <i>Н.В. Шлык, К.А. Рогачёв, В.С. Тамбовский</i> | 182 |
| Вейвлет-анализ спутниковых наблюдений за уровнем Северо-западной части Тихого океана по данным AVISO пятнадцатилетней продолжительности <i>Т.В. Белоненко</i> | 183 |
| Влияние температурных напряжений на микроволновые поляризационные характеристики ледяных покровов <i>Г.С. Бордонский, А.А. Гурулев, С.Д. Крылов</i> | 184 |
| Возможности спутникового дистанционного зондирования для характеристики условий обитания бурых водорослей <i>И.Л. Цытышева, Т.Н. Крупнова</i> | 185 |
| Восстановление дисперсии наклонов крупномасштабного волнения по данным PR-радиолокатора <i>В.Ю. Караев, М.Б. Каневский, Е.М. Мешков, К. Чу</i> | 186 |
| Дешифрирование радиолокационных изображений морской поверхности с использованием результатов синхронного диагноза метеорологических условий по информации Meteosat-9 <i>З.В. Андреева, М.В. Бухаров, В.А. Кровотынцева</i> | 187 |
| Излучательные характеристики трёхслойных сред с тонким промежуточным слоем в СВЧ-диапазоне <i>А.А. Гурулев, А.О. Орлов, С.В. Цыренжапов</i> | 187 |
| Измерение основных статистических параметров взволнованной водной поверхности доплеровским радиолокатором сантиметрового диапазона <i>Ю.А. Титченко, В.Ю. Караев</i> | 188 |
| Изучение изменчивости ледовых условий Берингова моря <i>Н.М. Вакульская</i> | 189 |
| Использование данных спутниковой альтиметрии для выявления районов, перспективных для промысла тихоокеанского кальмара в Японском море <i>Е.В. Самко, А.В. Капиштер</i> | 191 |
| Исследование возможности применения метода нелинейной радиотепловой резонансной спектроскопии при обработке данных спутниковых наблюдений <i>И.Н. Садовский</i> | 192 |
| Исследование динамики спектра ГКВ по результатам серии натуральных экспериментов CAPMOS <i>И.Н. Садовский, Д.С. Сазонов</i> | 193 |
| Исследование динамических образований восточнее Курильских островов по спутниковым и судовым данным <i>Е.В. Самко, Н.В. Булатов</i> | 194 |
| Исследование пространственной и временной динамики первичной продуктивности и трофики в Арктике в условиях происходящих климатических изменений <i>Д.А. Петренко, Д.В. Поздняков</i> | 195 |
| Исследование разномасштабной изменчивости ледяного покрова Японского моря с использованием спутниковой информации <i>С.П. Шкорба</i> | 196 |
| Исследование субмезомасштабных вихрей Чёрного и Балтийского морей по данным спутниковой радиолокации и радиометрии <i>С.С. Каримова</i> | 197 |
| Итоги спутникового мониторинга нефтяного загрязнения Юго-Восточной Балтики за 2006–2009 гг. <i>Е.В. Булычева, А.Г. Костяной</i> | 198 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Калибровка как часть обработки экспериментальных радиополяриметрических измерений <i>Д.С. Сазонов, И.Н. Садовский</i> | 199 |
| Качественная модель атмосферных явлений Юпитера на основе характеристического излучения фазовых переходов первого рода <i>В.А. Татарченко</i> | 200 |
| Межгодовая и сезонная изменчивость положения и интенсивности Антарктического циркумполярного течения по данным дистанционного зондирования <i>С.А. Лебедев, С.Н. Шауро</i> | 201 |
| Межгодовая изменчивость синоптических процессов во фронтальной зоне Курсио по результатам спутникового мониторинга <i>Н.В. Булатов, И.Л. Цыпышева</i> | 201 |
| Многомерный статистический анализ полей напряжения и завихренности ветра над Японским морем, основанный на данных спутниковой скаттерометрии <i>О.О. Трусенкова, А.Н. Кожанов</i> | 202 |
| Модель средней высоты морской поверхности Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии <i>С.А. Лебедев</i> | 203 |
| Мониторинг ледовых условий на дальневосточных морях России с использованием синтезированной информации (спутниковые и подспутниковые данные) <i>В.В. Плотников</i> | 204 |
| Наблюдение на шельфе Чёрного моря внутренних волн больших амплитуд, сгенерированных антициклоническим вихрем <i>А.Н. Серебряный</i> | 205 |
| Наблюдения из космоса за явлением Эль-Ниньо в Мировом океане <i>В.Е. Скляр, В.И. Бышев</i> | 206 |
| Наблюдения по данным датчиков цвета океана многолетних и сезонных изменений некоторых показателей состояния экосистемы Бискайского залива <i>Е.А. Морозов, Д.В. Поздняков, А.А. Коросов, В.И. Сычёв</i> | 206 |
| О возможностях радиолокационного зондирования зон эвтрофирования водоёмов <i>С.А. Ермаков, И.А. Капустин, Т.Н. Лазарева, И.А. Сергиевская</i> | 207 |
| О необходимости спутникового мониторинга строительства морского газопровода «Норд Стрим» в Балтийском море <i>А.Г. Костяной, Е.С. Тетушкина</i> | 208 |
| О формировании явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья Тихого океана <i>А.Л. Бондаренко, И.В. Серых</i> | 209 |
| Об особенностях рассеяния радиолокационных сигналов сильно-нелинейными гравитационно-капиллярными волнами <i>И.А. Капустин, С.А. Ермаков, И.А. Сергиевская</i> | 210 |
| Особенности гидрологии вод Аральского моря летом 2009 г. <i>А.С. Ижицкий</i> | 211 |
| Особенности динамики прибрежных вод юго-восточной части Балтийского моря по данным MODIS <i>Е.С. Гурова</i> | 211 |
| Особенности распространения Атлантических вод на севере Баренцева моря по вековому массиву данных <i>М.Н. Писарева</i> | 212 |
| Оценки контрастов нефтяных slicks на морской поверхности по изображениям солнечного блика <i>А.Г. Мясоедов, В.Н. Кудрявцев</i> | 213 |
| Построение композиционных карт температуры морской поверхности по данным спутников NOAA и MTSAT-1R <i>С.Е. Дьяков</i> | 213 |
| Применение многочастичного фильтра Калмана к моделированию динамики Южной полярной шапки Марса по гиперспектральным данным прибора «Омега» <i>Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, В.В. Егоров, В.А. Котцов, М.В. Стальная</i> | 214 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Пример восстановления поля температуры поверхности моря на основе РЛ-снимков апвеллинга в Балтийском море <i>И.Е. Козлов, В.Н. Кудрявцев</i> | 216 |
| Пространственно-временная изменчивость поверхностных проявлений внутренних волн непреливной природы в различных морях <i>М.И. Митягина, О.Ю. Лаврова</i> | 216 |
| Прохождение полосы полного солнечного затмения 11 июля 2010 г. через Тихий океан <i>А.Г. Пахомов</i> | 217 |
| Радиолокационный контраст ветровой ряби на волне сейсмического происхождения <i>А.Я. Матвеев, А.Г. Боев, А.А. Боева</i> | 217 |
| Разномасштабные вихри и струйные течения в заливе Петра Великого (дистанционные наблюдения и численный эксперимент) <i>В.И. Пономарёв, П.А. Файман, В.А. Дубина</i> | 218 |
| Региональные алгоритмы оценки концентрации хлорофилла и взвеси в юго-восточной Балтике по данным спутниковых сканеров цвета <i>Т.В. Буканова, С.В. Вазюля, О.В. Копелевич, В.И. Буренков, А.В. Григорьев, А.Н. Храпко, С.В. Шеберстов</i> | 219 |
| Результаты комплексного исследования Северо-Апшеронского района Каспийского моря <i>Т.М. Татаряев, Л.Н. Фараджева, К.Г. Новрузова, Б.А. Бабаева</i> | 220 |
| Результаты оперативного спутникового мониторинга Чёрного, Балтийского и Каспийского морей в 2009–2010 гг. <i>О.Ю. Лаврова, С.С. Каримова, М.И. Митягина, Т.Ю. Бочарова, А.Я. Строчков</i> | 220 |
| Ретроспективный анализ океанографии и космических отображений океанских процессов в районе Японского архипелага <i>В.Б. Дарницкий, М.А. Ищенко, Н.В. Булатов, И.В. Машкина</i> | 221 |
| Сезонные и межгодовые изменения биооптических характеристик Чёрного моря по спутниковым данным <i>В.И. Буренков, О.В. Копелевич, С.В. Шеберстов, С.В. Вазюля</i> | 223 |
| Синоптическая вихревая динамика над северо-западным материковым склоном и шельфом Японского моря (моделирование и результаты дистанционных наблюдений) <i>В.И. Пономарёв, П.А. Файман, В.А. Дубина, С.Ю. Ладыченко, В.Б. Лобанов</i> | 224 |
| Синоптическая изменчивость уровня в северо-западной части Тихого океана по данным спутниковых вдоль трековых альтиметрических измерений <i>Д.К. Старицын, В.Р. Фукс</i> | 225 |
| Современное состояние ледяного покрова Арктики по данным спутниковых наблюдений <i>Е.В. Шалина</i> | 225 |
| Спирали на поверхности океана — микрокопии ураганов в атмосфере <i>Г.С. Голицын</i> | 226 |
| Статистические свойства турбулентного пограничного слоя атмосферы над крутыми поверхностными волнами <i>Ю.И. Троицкая, Д.А. Сергеев, О.С. Ермакова, Г.Н. Балидина</i> | 226 |
| Тонкая пространственная структура течений, выявляемая на спутниковых изображениях <i>О.Ю. Лаврова, М.И. Митягина, К.Д. Сабинин, А.Н. Серебряный</i> | 228 |
| Факторный анализ многоканальных спутниковых изображений океана для исследования эффектов поверхностного волнения <i>Д.М. Ермаков, М.Т. Смирнов</i> | 229 |
| Чёрное и Азовское моря: сравнительный анализ изменчивости температуры поверхности (1982–2009 гг., спутниковая информация) <i>А.И. Гинзбург, А.Г. Костяной, Н.А. Шерemet</i> | 230 |
| Эволюция температурного режима Аральского моря в 1982–2009 гг. по спутниковым данным <i>А.И. Гинзбург, А.Г. Костяной, Н.А. Шерemet</i> | 231 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Экспериментальное исследование затухания волн под действием турбулентности <i>О.В. Шомина, С.А. Ермаков, И.А. Капустин, Т.Н. Лазарева</i> | 232 |
| Эмпирическая модель спектра ГКВ, полученная на основе данных дистанционных радиополяриметрических наблюдений <i>И.Н. Садовский, А.В. Кузьмин</i> | 233 |

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Алгоритм автономного выбора места посадки КА «Фобос-Грунт» по телевизионным изображениям <i>Б.С. Жуков, С.Б. Жуков</i> | 234 |
| Влияние априорной модели на характеристики марсианского аэрозоля, восстанавливаемые из данных спектрометра OMEGA миссии Mars-Express <i>Б.С. Майоров, А.В. Васильев, J.-P. Bibring</i> | 235 |
| Восстановление оптических параметров облаков Венеры из данных измерений АМС «Венера-13» <i>И. Мельникова, Б. Майоров</i> | 236 |
| Двуокись серы над облаками Венеры: измерения прибором SPICAV/SOIR с борта КА «Венера-Экспресс» <i>Д. Беляев², Ф. Монтмессан, Э. Марк, Ж.Л. Берто, А. Фёдорова, О. Корablёв</i> | 236 |
| Качественная модель атмосферных явлений Юпитера на основе характеристического излучения фазовых переходов первого рода <i>В.А. Татарченко</i> | 237 |
| Наблюдения дневного свечения кислорода в атмосфере Марса по данным эксперимента СПИКАМ на КА Марс-Экспресс <i>С.А. Гулякова, А.А. Фёдорова, О.И. Корablёв, Ж.Л. Берто, Ф. Монтмессан</i> | 237 |
| Одномерная микрофизическая модель конденсационных облаков в атмосфере Марса <i>А.В. Бурлаков, А.В. Родин</i> | 238 |
| Определение параметров внутренних гравитационных волн методом анализа порогов динамической неустойчивости на основе радиозатменных данных о температуре в атмосфере Венеры и Марса <i>В.Н. Губенко, А.Г. Павельев, Р.Р. Салимзянов, В.Е. Андреев, А.А. Павельев</i> | 238 |
| Применение многочастичного фильтра Калмана к моделированию динамики Южной полярной шапки Марса по гиперспектральным данным прибора «Омега» <i>Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, В.В. Егоров, В.А. Котцов, М.В. Стальная</i> | 239 |
| Радиофизические эффекты в экспериментах двухчастотного радиопросвечивания ионосферы Венеры <i>А.Л. Гаврик, Ю.А. Гаврик, Т.Ф. Копнина, Л.Н. Самознаев</i> | 240 |
| Теоретическое моделирование полосы поглощения света лунной поверхностью вблизи 3 мкм: вода или протоны солнечного ветра? <i>Л.В. Старухина</i> | 241 |
| Фотометрические исследования поверхности приближающихся к орбите Земли астероидов 433 Эрос и 1627 Ивар <i>Ф.П. Величко</i> | 242 |

СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКЕ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ground deformations monitoring by persistent scatterer pairs (PSP) SAR interferometry <i>Mario Costantini, Francesco Trillo, Francesco Vecchioli, Alexander Vasileisky</i> | 243 |
| Oil deposits mapping using remote sensing / ground data and PCI Geomatics Technologies <i>М.А. Попов, S.A. Stankevich, S.P. Kovalchuk, A.I. Arkhipov, A. Kaushal, E.I. Levchik, O.V. Titarenko</i> | 244 |
| Анализ размещения линеаментов и нефтегазоносных структур на территории Тимано-Печорской провинции <i>М.Г. Вахнин</i> | 245 |
| Выделение площадей, перспективных на поиски коренных источников алмазов Архангельской алмазносной провинции в условиях бореальной тайги по спутниковым данным <i>Ю.Г. Кутинов, З.Б. Чистова, М.Ю. Гофаров</i> | 246 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Выявление предвестников землетрясений по результатам обработки изображений космических снимков программой ALINA <i>М.В. Щепин</i> | 247 |
| Динамика взаимодействия полей сейсмичности и деформаций земной поверхности <i>Г.А. Соболев, Н.А. Закржевская, К.Н. Акатова, В.Г. Гитис, А. Б. Дерендяев, В.Д. Брагин, Н. Сычёва, С.И. Кузиков</i> | 248 |
| Зоны неустойчивого состояния земной коры и прогноз землетрясений <i>Л.А. Латынина, Т.В. Гусева</i> | 248 |
| Изучение гравитационного поля Земли с помощью спутниковой системы GRACE <i>М.А. Строчков</i> | 249 |
| Изучение изменения поля напряжений в период подготовки землетрясения при помощи линий вытянутости роз-диаграмм линеаментов <i>В.Г. Бондур, А.Т. Зверев, А.Л. Булатова, Е.В. Гапонова</i> | 250 |
| Изучение сезонной динамики теплового излучения городских ландшафтов по снимкам LANDSAT-7 ETM+ (на примере Москвы) <i>М.Ю. Грищенко, Е.А. Балдина</i> | 251 |
| Использование снимков различного пространственного разрешения для картографирования геолого-геоморфологических объектов (на примере Чуйской котловины) <i>В.А. Лямина, И.Д. Зольников, Н.В. Глушкова, А.Ю. Королюк, Е.Н. Смоленцева</i> .. | 252 |
| Комплексные наземные измерения газового состава атмосферы для валидации спутниковых данных <i>А.В. Поберовский, М.В. Макарова, Я.А. Виролайнен, А.В. Поляков, А.В. Ракитин, М.А. Киевецкая, Д.В. Ионов, С.И. Осипов, Х.Х. Имхасин, И.С. Яговкина, Ю.М. Тимофеев</i> | 254 |
| Космические методы измерения параметров гравитационного поля Земли <i>С.А. Матвиенко, О.Л. Мороз</i> | 254 |
| О возможности использования данных дистанционного зондирования при прогнозировании залежей углеводородов <i>Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, Е.П. Зацепин</i> | 255 |
| Организация радиоэкологической геоинформационной системы Брянской области с использованием радарных высотных данных SRTM и результатов аэрогаммасъёмки <i>В.Г. Линник, А.В. Соколов</i> | 256 |
| Оценка угроз оползневых процессов на территории Южного Федерального Округа по данным ДЗЗ <i>Л.А. Шляхова, В.И. Повх</i> | 257 |
| Перспективы использования многоспектральных космических изображений при поисках подземных вод в Испании <i>К.М. Каримов, В.Н. Соколов, Хуан Антонио, Карлос Ордоньес, С.Н. Кокутин, Л.К. Каримова, В.Л. Онегов</i> | 258 |
| Получение и обработка материалов дистанционного зондирования с целью решения геоэкологических задач на примере юго-западной части Крыма <i>П.С. Линева, О.В. Анисимова</i> | 259 |
| Потенциал ИК+МКВ зондирования атмосферы и поверхности с помощью спутников «Метеор-3М» <i>А.В. Поляков, В.С. Косцов, Ю.М. Тимофеев, А.Б. Успенский, И.В. Чёрный, Е.В. Заболоцкая, Л.П. Бобылев</i> | 260 |
| Применение методов ДЗЗ для изучения поверхностного теплообмена геоструктуры и его связи с геодинамическими ситуациями <i>Н.В. Вилор</i> | 260 |
| Применение методов дистанционного зондирования для выбора площадки строительства АЭС <i>Ю.Г. Гатинский, В.И. Захаров, Г.Л. Владова, Т.В. Прохорова, Ю.Н. Сирота</i> . . . | 262 |
| Применение технологии спутникового мониторинга потенциально-опасных воздействий на объекты железнодорожной инфраструктуры на участке Туапсе-Адлер <i>А.С. Василейский</i> | 263 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Прогноз перспективности территории на обнаружение залежей полезных ископаемых по материалам ДЗЗ <i>А.А. Ходоровский, А.А. Апостолов, А.Б. Востоков</i> | 264 |
| Прогнозные нефтепоисковые работы на основе геодинамических критериев в пределах Каукбашкой площади (Южно-Татарский свод) <i>И.И. Нугманов, И.Ю. Чернова, Е.В. Ерошина, А.Н. Даутов, Б.М. Насыртдинов</i> . | 265 |
| Радиационный баланс и чувствительность климата Земли: диагностика и геопроектирование <i>В.А. Головкин</i> | 267 |
| Районирование территорий по степени проявления современной геодинамики с использованием архивных аэрокосмических данных <i>А.В. Фаттахов, И.Ю. Чернова, О.В. Лунёва, П.С. Крылов, Р.Н. Ситдииков, Р.Р. Хабибуллин, И.И. Нугманов</i> | 269 |
| Реакция атмосферы на эмиссию метана из Земли <i>П.В. Люшвин</i> | 270 |
| Результаты линейного анализа рудных районов Кольского полуострова <i>В.Г. Бондур, А.Т. Зверев, А.Л. Булатова, Е.В. Гапонова</i> | 271 |
| Роль деформации фундамента в формировании современного рельефа Скифской плиты <i>В.А. Зайцев, А.А. Златопольский, Л.В. Панина</i> | 272 |
| Современные движения земной коры Ладожско-Онежского региона по данным спутниковых и наземных измерений <i>О.Н. Галаганов, В.Л. Горшков, Т.В. Гусева, Н.К. Розенберг, В.П. Передерин, Н.В. Шербакова</i> | 273 |
| Спектральные методы дистанционного зондирования в геологии. Обзор <i>А.А. Тронин, В.И. Горный</i> | 274 |
| Спутниковый мониторинг активных вулканов Камчатки и Северных Курил <i>О.А. Гирина, Д.В. Мельников, А.А. Нурбаев, С.В. Ушаков, А.Г. Маневич, О.А. Коновалова</i> | 275 |
| Структурно-тектонический анализ космических материалов территории юга Западной Сибири для оценки нефтеперспективности <i>А.Ю. Белоносов, О.С. Мартынов, А.Р. Курчиков, С.А. Шешуков, А.Е. Кудрявцев</i> . | 276 |

МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ И ПОЧВЕННЫХ ПОКРОВОВ

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Early Detection of Vegetation Physiological Stress from Multispectral Data <i>R. Kancheva, D. Borisova, G. Georgiev</i> | 278 |
| Endmember Decomposition Techniques from Soil-Vegetation Mixture Reflectance <i>R. Kancheva, D. Borisova, G. Georgiev</i> | 278 |
| Estimating actual ET for wheat from climatic and IRS images data using neural computing technique in the arid zone of Central Iran (Marvast Region) <i>M. Akhavan-Ghalibaf, M. Heidari, A.M. Heidhari</i> | 279 |
| Анализ динамики растительности арктических островов с применением многозональных спутниковых снимков <i>И.А. Лавриненко</i> | 279 |
| База данных о термокарстовых озёрах Западной Сибири на основе данных дистанционного зондирования и ГИС <i>Н.А. Брыксина, Ю.М. Полищук, В.Ю. Полищук</i> | 280 |
| Влияние изменений климата и геомагнитного поля на вегетацию лесов Северной Евразии <i>О. Хабарова, И. Савин, М. Медведева</i> | 281 |
| Влияние изменения влажности почвы на состояние растительного покрова юга Европейской территории России по спутниковым данным в конце XX – начале XXI в. <i>Е.А. Черенкова</i> | 282 |
| Возможности использования технологии локально-адаптивной классификации для создания временной серии карт типов наземного покрова <i>И.А. Уваров, С.А. Барталёв</i> | 283 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Возможности оценки проективного покрытия территории древесной растительностью на основе полученных в зимний период спутниковых данных MODIS <i>С.С. Барталёв, С.А. Барталёв, В.О. Жарко</i> | 284 |
| Возможности подспутникового дистанционного зондирования наземных участков с использованием беспилотного летательного аппарата StopCam <i>Е.В. Полякова, М.Ю. Гофаров</i> | 285 |
| Диагностика поврежденной пожаром растительности по данным дистанционного зондирования в Эвенкийском автономном округе <i>А.А. Кокутенко, Е.А. Охоткина, А.И. Сухинин</i> | 286 |
| Динамика растительного покрова на плато Путорано по данным дистанционного зондирования <i>С.Т. Им</i> | 287 |
| Дистанционные методы в мониторинге лесов таежной зоны Западной Сибири <i>В.А. Хамедов, Ю.М. Полищук, В.Ю. Полищук, И.А. Маслов</i> | 287 |
| Дистанционный мониторинг вспышки массового размножения непарного шелкопряда в Красноярском крае <i>А.М. Крылов, А.Н. Бобринский</i> | 288 |
| Задачи дистанционного зондирования лесов при изучении глобальных климатических изменений <i>А.А. Чухланцев, В.П. Саворский</i> | 289 |
| Изменения растительности пахотных угодий России за период с 1982 по 2006 г., выявленные по данным NOAA AVHRR <i>М.А. Медведева, И.Ю. Савин, С.А. Барталёв</i> | 289 |
| Использование данных дистанционного зондирования для выявления изменений растительного покрова на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника <i>И.В. Кохан</i> | 290 |
| Использование космических снимков для эколого-геохимического мониторинга городской территории <i>Т.С. Хайбрахманов, И.А. Лабутина</i> | 291 |
| Использование материалов съёмок для распознавания участков лесовозобновления на равнинных территориях <i>В.М. Жирин, С.В. Князева, С.П. Эйдлина</i> | 293 |
| Использование структурных признаков при дешифрировании космических снимков высокого разрешения <i>Л.Г. Евстратова</i> | 293 |
| Исследование возможностей многолетней интегральной оценки площадей гарей в лесах России на основе спутниковых данных <i>Ф.В. Стыценко, С.А. Барталёв, В.А. Егоров, И.А. Уваров</i> | 294 |
| Исследование особенностей сезонных и межгодовых изменений вегетационного индекса растительного покрова криолитозоны <i>Е.В. Варламова, В.С. Соловьёв</i> | 295 |
| Космический мониторинг мест обитания саранчовых в Южном Прибалхашье <i>Н.Ю. Цыгуева, В.Е. Камбулин, Н.Р. Муратова</i> | 295 |
| Моделирование параметров вегетации водно-болотной растительности с использованием спутниковых и наземных данных <i>Е.Н. Финиченко, В.В. Дмитриев</i> | 296 |
| Моделирование составляющих водного и теплового балансов для части Центрально-Черноземной зоны ЕТР с использованием спутниковых данных о характеристиках подстилающей поверхности <i>Е.Л. Музылёв, А.Б. Успенский, З.П. Старцева</i> | 297 |
| Мониторинг горных лесных экосистем на основе спутниковых съёмок и базы данных наземных обследований <i>Е.И. Пономарёв, Д.М. Исмаилова, Д.И. Назимова, О.В. Дробушевская</i> | 299 |
| Мониторинг долговременных изменений растительного покрова аридных и полуаридных зон Казахстана с использованием данных дистанционного зондирования <i>И.С. Витковская, Л.Ф. Спивак, А.Г. Терехов, М.Ж. Батырбаева</i> | 299 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| О возможностях спутникового мониторинга риска повреждения посевов засухой <i>Е.В. Фисенко, И.Ю. Савин</i> | 301 |
| Опыт проведения космического мониторинга агротехнических работ в Казахстане <i>Н.Р. Муратова, А.Г. Терехов, Н.Ю. Цычуева, О.В. Дегтярёва, Е.В. Старикова</i> . | 301 |
| Опыт стратификации лесов по космическим снимкам высокого разрешения для государственной инвентаризации лесов <i>Н.А. Владимирова</i> | 302 |
| Основные проблемы визуального дешифрирования при автоматической кластеризации космических снимков среднего разрешения <i>Р.Ю. Бирюков</i> | 304 |
| Оценивание площадей посевов сельскохозяйственных культур в Украине по спутниковым и наземным данным <i>Н.Н. Куссуль, А.Н. Кравченко, С.В. Скакун, А.Ю. Шелестов</i> | 305 |
| Оценка биометрических характеристик посевов наркосодержащих культур по данным авиационного гиперспектрального зондирования <i>В.В. Егоров, А.А. Ильин, А.П. Калинин, А.И. Родионов, И.Д. Родионов</i> | 306 |
| Оценка выбросов чёрного углерода от лесных пожаров на территории России по результатам дистанционного зондирования и статистическим данным <i>О.В. Юсим, С.А. Барталёв, Д.В. Еришов, Д.Г. Замолодчиков</i> | 307 |
| Подспутниковые наблюдения для задач космического мониторинга сельскохозяйственных угодий Казахстана <i>Н.Р. Муратова, С.М. Северская</i> | 307 |
| Применение линейной модели спектрального смещения для восстановления яркости почвенного покрова <i>Т.С. Москаленко, С.А. Барталёв</i> | 308 |
| Применение продукта MOD09Q1 для прогноза урожайности зерновых культур Казахстана примере Костанайской области <i>А.Г. Терехов</i> | 309 |
| Развитие метода выявления пройденных огнем площадей и оценки степени повреждений лесов с использованием свойств межгодового разностного нормализованного индекса водного стресса <i>В.А. Егоров, С.А. Барталёв, Ф.В. Стыценко</i> | 310 |
| Распознавание сельскохозяйственных культур по данным спутниковых наблюдений <i>В.О. Жарко, Д.Е. Плотников, С.А. Барталёв</i> | 311 |
| Регрессионная модель для прогнозирования урожайности озимой пшеницы по спутниковым данным <i>С.А. Хвостиков, И.Ю. Савин, С.А. Барталёв, В.А. Толлин, Е.Н. Чумаченко</i> | 312 |
| Сегментация многоспектральных спутниковых изображений для выявления изменений в лесах <i>Т.С. Ховратович, С.А. Барталёв</i> | 313 |
| Сопоставление данных спутника SMOS с результатами наземных радиометрических измерений <i>П.П. Бобров, В.Л. Миронов, О.В. Кондратьева, А.И. Сухинин, Е.Г. Швецов, А.С. Яценко</i> | 313 |
| Спектрально-динамические признаки и адаптивные алгоритмы классификации некоторых типов растительности <i>Д.Е. Плотников, С.А. Барталёв</i> | 314 |
| Спутниковые методы исследований в мониторинге и картировании пастбищных угодий северного оленя <i>В.В. Елсаков</i> | 315 |
| Сравнительное дешифрирование снимков SPOT и LANDSAT с целью картографирования породного состава лесов Комсинского лесничества (Туруханский район, Красноярский край) <i>А.А. Романов, Е.А. Старченко</i> | 316 |
| Сравнительный анализ дистанционных методов определения влажности почвенно-грунтовых покровов для оценки проходимости местности <i>М.П. Долгова</i> | 316 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Сравнительный анализ значений индекса NDVI разноориентированных склоновых поверхностей горных участков Приполярного Урала <i>И.О. Марущак, В.В. Елсаков</i> | 318 |
| Тенденция опустынивания Северо-Западного Прикаспия по MODIS-данным <i>А.Н. Золотокрылин, Т.Б. Туткова</i> | 318 |
| Характеристика состояния почвенно-растительных покровов и многолетнемерзлых пород по данным космической съёмки <i>С.Г. Корниенко</i> | 319 |
| Частотные зависимости коэффициентов отражения от лесных покровов Земли <i>Ю.Л. Ломухин, Е.Б. Атутов, В.П. Бутуханов</i> | 320 |

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Вариации ионосферного слоя F2 под влиянием тропического циклона по данным радиозондирования <i>Л.Б. Ванина-Дарт, А.А. Романов, Е.А. Шарков</i> | 321 |
| Вариации ионосферных параметров в азиатском регионе России в период действия тропических циклонов <i>М.А. Черниговская, В.И. Куркин, И.И. Орлов, Б.М. Шевцов, И.Н. Поддельский</i> .. | 322 |
| Вариации температуры атмосферы на высотах мезопаузы и нижней термосферы в различных долготных секторах по данным наземных и спутниковых измерений <i>И.В. Медведева, А.Б. Белецкий, В.И. Перминов, А.И. Семенов, М.А. Черниговская, Н.Н. Шефов</i> | 323 |
| Влияние солнечных протонных событий на содержание атмосферного озона по данным спутникового оборудования SBUV <i>А.В. Шилкин</i> | 323 |
| Динамика температуры атмосферы по данным спутниковых измерений в период стратосферных потеплений. <i>С.А. Тащилин, А.В. Татарников</i> | 324 |
| Исследование динамических процессов в ионосфере в период низкой солнечной активности по данным радиофизического комплекса ИСЗФ СО РАН <i>А.В. Медведев, Г.А. Жеребцов, В.И. Куркин, А.П. Потехин, К.Г. Ратовский, С.С. Алсаткин, М.В. Толстиков, А.А. Щербатов</i> | 324 |
| Исследование эффекта магнитного зенита методом радиопросвечивания ионосферы сигналами искусственных спутников Земли на частоте 400 МГц <i>Ф.И. Выборнов, В.А. Алимов, А.В. Рахлин</i> | 325 |
| Магнитогидродинамическая (МГД) природа ионосферных волновых пакетов, генерируемых солнечным терминатором, и сезонная динамика их параметров <i>Э.Л. Афраймович, И.К. Едемский, С.В. Воейков, Ю.В. Ясюкевич</i> | 326 |
| Мониторинг состояния ионосферы в режиме реального времени <i>В.М. Смирнов, Е.В. Смирнова, В.Н. Скобелкин, С.И. Тынянкин</i> | 326 |
| Программный комплекс определения параметров ионосферы средствами радиозондирования <i>И.В. Суворцева, В.О. Скрипачев, И.О. Скрипачев</i> | 327 |
| Результаты моделирования задачи трёхмерной томографии ионосферы по измерениям относительной разности фаз <i>Д.М. Ермолаев, А.В. Аджалова, А.А. Романов, С.В. Трусов, А.А. Романов</i> | 328 |
| Связь волновых процессов на высотах мезосферы — нижней термосферы с сильными возмущениями в тропосфере при различных сопутствующих условиях в тропосфере и стратосфере <i>А.Б. Белецкий, М.А. Черниговская, М.А. Тащилин</i> | 328 |
| Сетевой программно-аппаратный комплекс двумерной томографии ионосферы <i>С.В. Трусов, А.А. Романов, А.В. Аджалова, С.А. Бобровский, А.А. Романов</i> | 329 |
| Системный подход к изучению физико-математических основ электрических явлений и нелинейной динамики в ионосфере и верхней атмосфере <i>И.А. Володин, С.В. Пешин</i> | 329 |
| Сопоставление методов оценки ПЭС в ионосфере <i>В.В. Чукин, Е.В. Кузьминых</i> | 330 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Сравнительный анализ вариаций ионосферных и метеорологических параметров над зонами действия ураганов Rita (18–26.09.2005) и Wilma (15–25.10.2005) <i>Н.П. Первалова, А.С. Полякова, А.Б. Ишин, С.В. Воейков</i> | 331 |
| Фазовый метод исследования фрактальной структуры турбулентности ионосферной плазмы <i>Ф.И. Выборнов, В.А. Алимов, А.В. Рахлин</i> | 331 |
| ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ | |
| Physically based remote sensing methods and the remaining challenges of monitoring vegetation: new angles on an old problem <i>Jan Pisek, Tiit Nilson, Andres Kuusk</i> | 332 |
| Вихри в океане: наблюдения и моделирование <i>А.Г. Зацепин</i> | 332 |
| Изучение льдов Арктики средствами дистанционного зондирования <i>Е.В. Шалина</i> | 333 |
| Современные Интернет-архивы спутниковых и метеорологических данных — примеры использования для контроля процессов и явлений в окружающей среде <i>С.В. Станичный</i> | 334 |
| Спектральные методы дистанционного зондирования в геологии. Обзор <i>А.А. Тронин, В.И. Горный</i> | 334 |