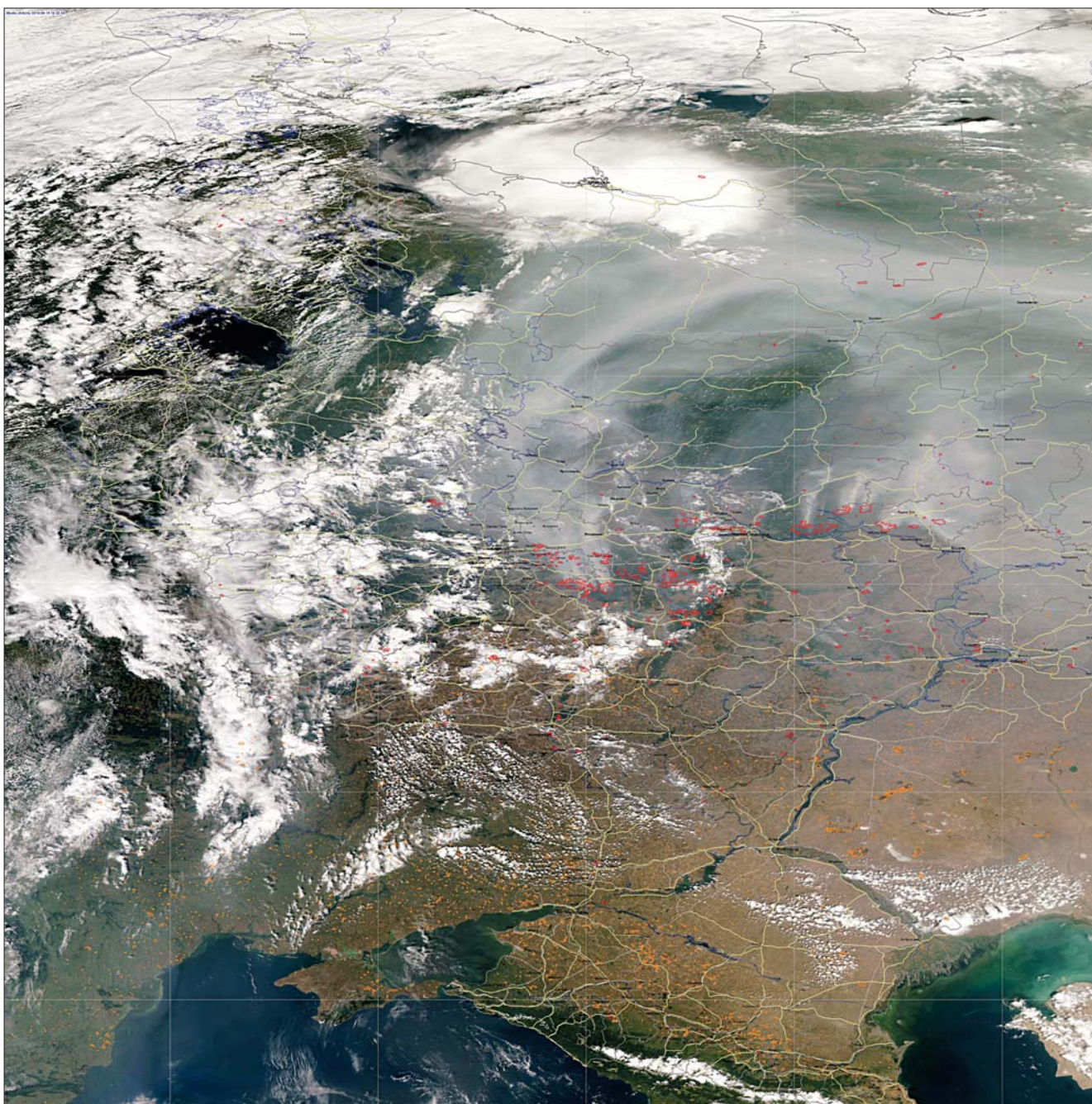


# ЗЕМЛЯ ИЗ КОСМОСА



*Дымы над европейской частью России 10 августа 2010 г.  
Красным цветом отмечены пожары, захватившие лесные, оранжевым – нелесные территории.*



---

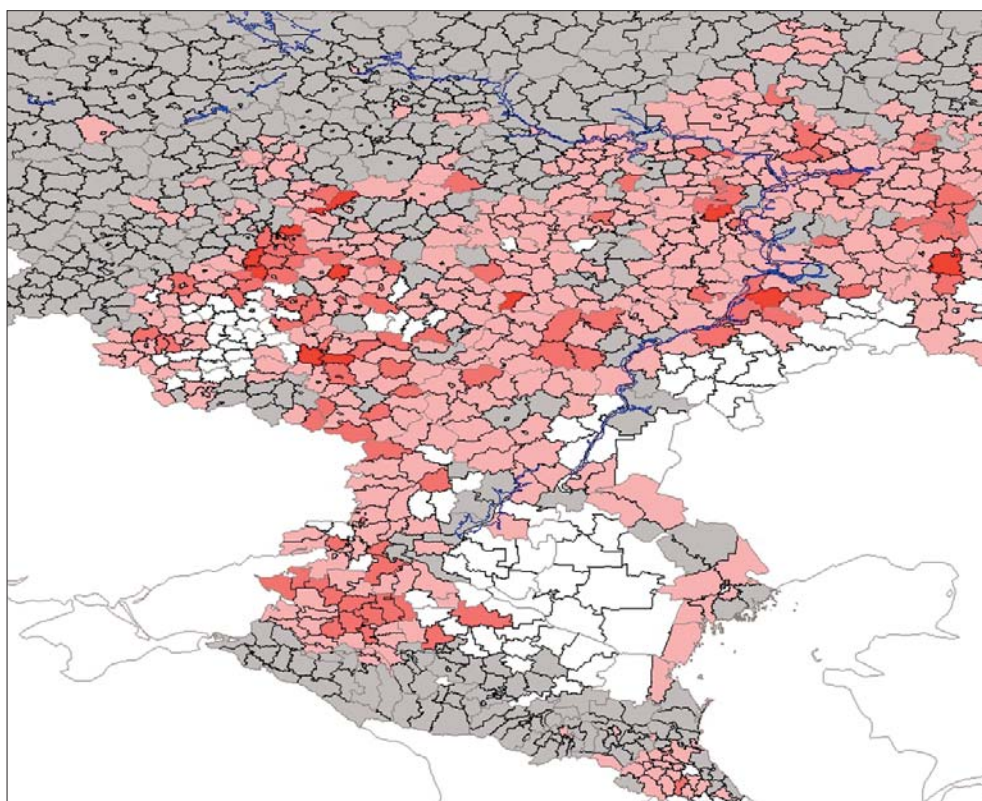
Доктор технических наук Евгений ЛУПЯН,  
заместитель директора Института космических исследований РАН,  
кандидат физико-математических наук Ольга ЛАВРОВА,  
заведующая лабораторией аэрокосмической радиолокации  
того же института

---

**Дистанционное зондирование Земли из космоса –  
интенсивно развивающаяся сегодня область исследований.  
В последнее десятилетие здесь получены интересные результаты,  
разработана обширная научно-методическая база,  
созданы новые средства, системы наблюдения и технологии мониторинга,  
позволяющие изучать природные и антропогенные объекты,  
оценивать и прогнозировать происходящие на планете процессы,  
относящиеся, в частности, к крупномасштабным  
и долговременным изменениям климата,  
исследовать строение Земли и динамику ее развития.**

*Председатель программного комитета 8-й Всероссийской конференции  
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» вице-президент РАН  
академик Николай Лаверов (справа) и директор Центра по проблемам  
экологии и продуктивности лесов РАН академик Александр Исаев.*





**Информация о лесной растительности в регионах России. По спутниковым данным выявлена зона аномального состояния и ее развитие с 16 по 22 августа 2010 г. Показаны районы, в которых величина вегетационного индекса опустилась ниже среднегогодового значения на 10% (розовый цвет) и 30% (красный).**

Именно эти проблемы стали лейтмотивом 8-й Всероссийской открытой конференции, прошедшей в ноябре 2010 г. в Институте космических исследований (ИКИ) РАН при поддержке Российской академии наук, Российского фонда фундаментальных исследований и Федерального космического агентства. Ее программный комитет возглавлял вице-президент РАН академик Николай Лаверов.

Форум называют открытым, так как в его работе принимали участие не только наши ученые, но и специалисты ведущих центров Украины, Беларуси, Казахстана, Азербайджана, Грузии, а также Болгарии, Великобритании, Германии, Испании, Монголии, Польши, Португалии и США. В 2010 г. он собрал свыше 600 человек из более чем 100 отечественных и зарубежных организаций. На конференцию были делегированы представители практически всех крупных центров Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, Красноярска, Иркутска, Томска, Ханты-Мансийска, Барнаула, Владивостока и других городов, где давно и успешно занимаются дистанционными методами и системами мониторинга состояния поверхности суши, океана и атмосферы.

Прозвучавшие в конференц-зале ИКИ РАН обзорные доклады касались наиболее актуальных в 2010 г. тем: последствий природных катастроф, влияния климатических изменений на среду обитания, эффективности систем для решения социально-экономических задач.

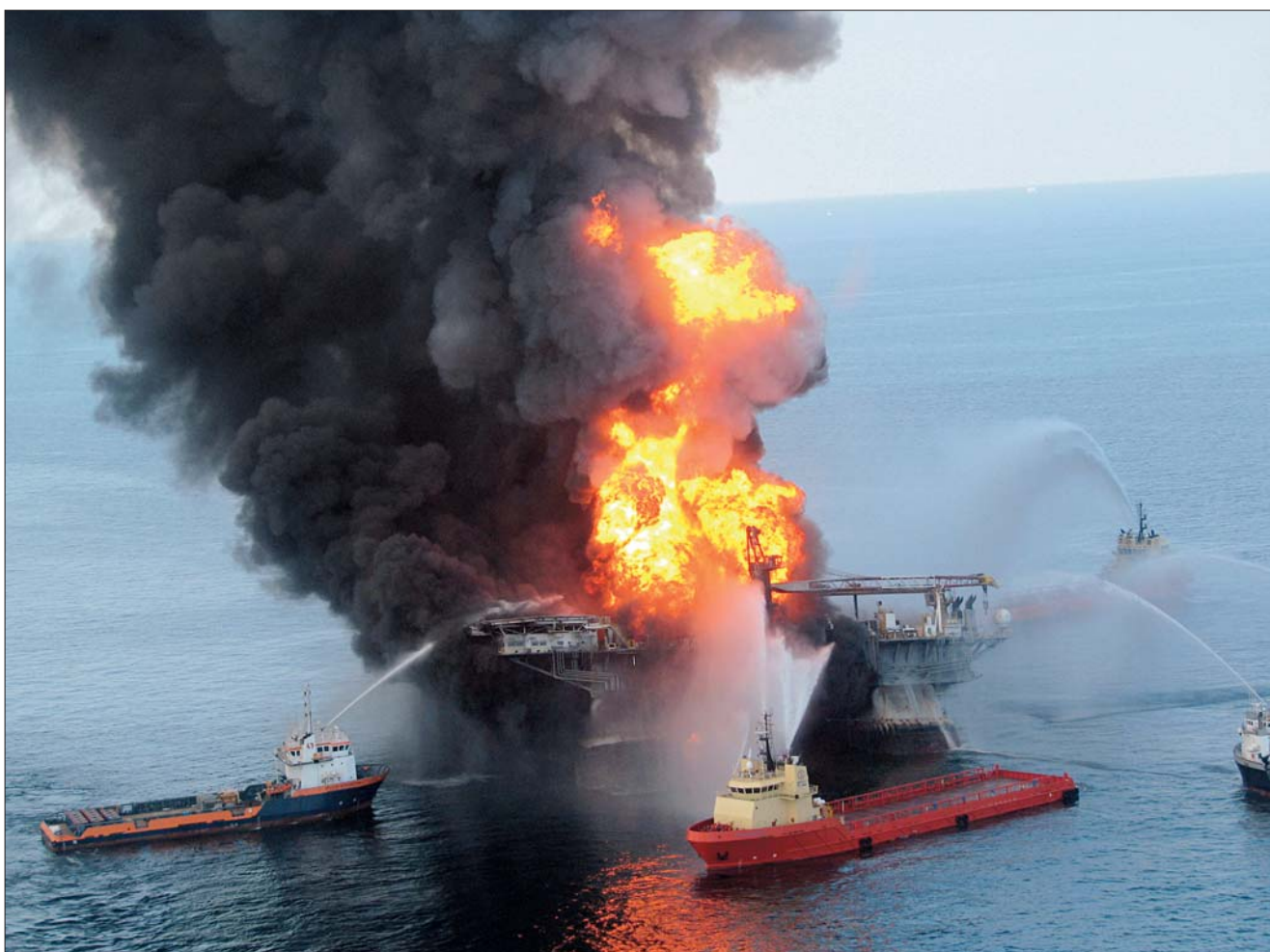
Под пристальным вниманием специалистов находились бушевавшие летом прошлого года в европейской

части России пожары\*, вызванные небывалой жарой и засухой. Каковы возможности дистанционного мониторинга таких стихий? Какую роль в этом играют спутниковые технологии?\*\*\* Ответы на эти и многие другие вопросы слушатели получили из доклада, представленного ИКИ РАН, Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (Москва) и Центральной базой авиационной охраны лесов («Авиалесоохрана», г. Пушкино, Московская область). Особый акцент в нем был сделан на формирование объективной оценки последствий обрушившегося бедствия, в том числе площадей, охваченных огнем, картирование погибших насаждений, динамику состояния растительности.

Основой для сообщения послужил опыт, полученный при создании и более чем пятилетней эксплуатации Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ-Рослесхоз). В ее разработке, кроме специалистов упомянутых организаций, участвовали также ученые Института солнечно-земной физики СО РАН (г. Иркутск), Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства и др. Система предназначена для оперативного получения информации о действующих природных пожарах на территории нашей страны, принятия управленческих решений по их обнаружению, мониторингу и тушению, а также оценке последствий. Заметим, в

\*См.: А. Сирин и др. Как избежать торфяных пожаров? — В этом номере журнала (*прим. ред.*).

\*\*См.: В. Сухих, В. Жирин. Из космоса леса видны лучше. — Наука в России, 2007, № 3; Н. Новикова и др. Взгляд из космоса. — Наука в России, 2008, № 4 (*прим. ред.*).



**Борьба с огнем на взорвавшейся 20 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе нефтяной платформе «Deepwater Horizon» компании «British Petroleum».**

ИСДМ-Рослесхоз поступают данные с американских спутников «NOAA», «Terra», «Aqua», «Landsat», европейских «RapidEye», «Spot», а также российских «Ресурс ДК» и «Метеор М № 1».

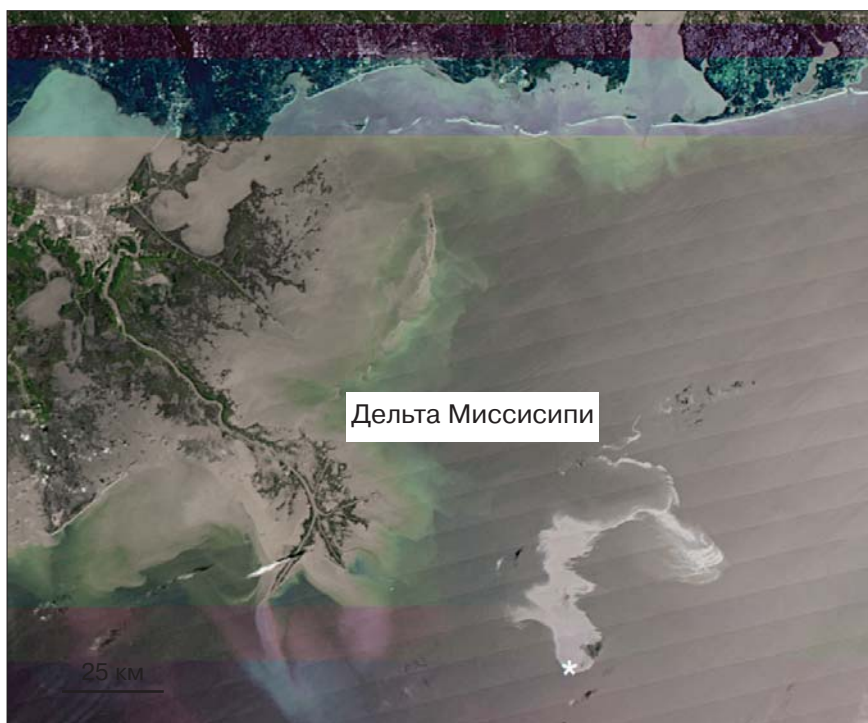
На основе спутниковых данных сегодня оценивают и общее состояние растительности, в том числе лесов. Например, засуха летом 2010 г. в европейской части России, вызвавшая массовую гибель сельскохозяйственных посевов, привела, как показал мониторинг, к их аномальным изменениям, впервые наблюдаемым у нас в ходе регулярных спутниковых съемок последнего десятилетия. Индикатором служили так называемый вегетационный индекс NDVI\* и степень его отклонения от среднего многолетнего показателя в течение года. Оперативно зафиксированные тогда данные свидетельствовали о возможности массового усыхания лесных массивов, об угрозе новых пожаров, которые могли быть спровоцированы преждевременным опаданием

сухой листвы и накоплением в лесах горючих материалов. И действительно, вегетационная активность растительности в тот период характеризовалась крайне низким для сезона уровнем. По сути уже в середине лета 2010 г. в леса пришла «сухая осень». Только спутниковые данные, обеспечившие получение информации по всей территории, охваченной засухой, позволили оценить масштабы наблюдаемого явления, охватившего беспрецедентно большие площади.

Доклад докторов физико-математических наук Юлии Троицкой (Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород), Леонида Митника (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН) и одного из авторов данного обзора о возможностях дистанционной диагностики тропических циклонов и их моделирования в значительной степени был инспирирован крупным метеорологическим событием – супертайфуном Megi, свидетелями которого стали специалисты во время Международного симпозиума по дистанционному зондированию Мирового океана, проходившего в октябре 2010 г. в г. Килунг (Тайвань). Это был один из тропических циклонов высшей, пятой категории (максимальный ра-

\*NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности (обычно его называют вегетационным), показывающий количество фотосинтетически активной биомассы, один из самых распространенных при оценке растительного покрова (прим. ред.).





**Спутниковое изображение нефтяного загрязнения в Мексиканском заливе (по данным сканирующего радиометра MODIS) 25 апреля 2010 г. Звездочкой отмечено место аварии. Нефтяное пятно подковообразной формы имело тогда общую площадь 1200 км<sup>2</sup>, а также четкие границы.**

диус — 600 км, скорость ветра — 300 км/ч), спровоцировавший на северо-востоке Тайваня, на Филиппинах и в Китае сильнейшие дожди, что привело к многочисленным оползням, нарушениям электроснабжения, потере урожая. Общий экономический ущерб от него составил 611 млн дол. Впечатляют и людские потери: 45 человек погибли, 28 пропали без вести. Но жертв было бы больше, если бы не развитая система мониторинга.

Тропические циклоны зарождаются в открытом океане, где невозможно организовать наземное наблюдение, поэтому важнейшая роль здесь отводится дистанционным и прежде всего космическим технологиям сбора информации. Радиометры видимого и инфракрасного диапазонов, размещенные на геостационарных спутниках, позволяют следить за их развитием и перемещением по облачной структуре в реальном времени. Наиболее привлекательны пассивные и активные микроволновые методы, предоставляющие количественную пространственную характеристику о температуре, скорости ветра, влагосодержании атмосферы и водо-запасе облаков, интенсивности осадков. Благодаря полученным данным и удалось оценить величину аккумулярованных осадков, вызванных супертайфуном Мегі, достигавшую 700 мм. Подобные циклоны, наблюдаемые главным образом между 5 и 20° с.ш., представляют значительную опасность и для стран, не входящих в этот регион, например, для Дальнего Востока, провоцируя здесь мощные атмосферные вихри.

Тропический циклогенез — сложное и не до конца изученное физическое явление. Скажем, до сих пор не выяснены формирование начального возмущения, приводящего к возникновению тайфуна, взаимодействие атмосферы и океана в циклоне, что определяет его

источники и стоки энергии. И здесь одна из загадок — эффект аномально низкого аэродинамического сопротивления водной поверхности при ураганном ветре, открытый с помощью спускаемых с самолета метеорологических зондов. Неоценимую роль в решении этих задач играют дистанционные методы исследования Земли.

Вопросам мониторинга вулканической активности, в том числе извержению вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии 14 апреля 2010 г., был посвящен доклад доктора геолого-минералогических наук Анатолия Хренова (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва). По мнению специалистов, единственная возможность максимального снижения риска и минимизации последствий воздействия таких стихий на природную среду и цивилизацию — прогноз и своевременное оповещение о готовящихся геологических событиях. Этим целям служит предложенная учеными названного института система космического мониторинга катастрофических явлений, предназначенная для обнаружения предвестников извержений, контроля развития соответствующих процессов, определения дальнейших шагов по оценке масштаба надвигающейся беды и ее влияния на природную среду.

В докладе речь шла и о создании цифровых трехмерных моделей рельефа активных вулканов с последующей разработкой сценария извержений, выполненного для геологических образований Камчатки (Ключевской, Карымской и Южной групп), а также ряда Курильских островов\*.

\*См.: Г. Карпов. Камчатка — уникал в структуре Земли. — Наука в России, 2010, № 6 (прим. ред.).

**Место разлива углеводородного топлива  
29 апреля 2010 г.**

**Пятно попало в циклонический вихрь:  
при практически неизменной площади  
оно сильно изменило форму,  
от него стали отходить шлейфы  
нефтяных загрязнений до 75 км в длину,  
впервые с момента аварии достигшие  
берега в районе дельты реки Миссисипи.**



**Гигантская «нефтяная струя»,  
образовавшаяся 17 мая 2010 г.,  
распространилась на 300 км  
(по данным MODIS).**



Для проведения мониторинга вулканической активности сегодня используют различные приборы, в том числе многоспектральный сканирующий радиометр MODIS и радиометр теплового излучения и отражения ASTER, установленные на спутниках «Терра» и «Аква», а также данные радиолокационных систем. Компьютерная обработка радарных интерферометрических измерений и возможность построения новых трехмерных цифровых изображений позволяет оперативно оценивать границы и объемы поступившей на поверхность информации в реальном времени. Ученые Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН установили: для мониторинга вулканической деятельности и ее контроля достаточно эффективны методы дистанционного зондирования в инфракрасном и микроволновых диапазонах длин волн.

Особый интерес представляет дифференциальная спутниковая интерферометрия для обнаружения деформационных предвестников извержений. А благодаря космическим аппаратам можно постоянно наблюдать за изменением морфологии конкретных кратеров, следить за вариациями теплового потока в них, а с помощью радиолокационной съемки, выполняемой одновременно в различных диапазонах длин волн, и интерферометрических измерений сейсмостектонически активных территорий осуществлять краткосрочный прогноз природных катастроф и оперативно передавать информацию в обрабатывающие центры.

При извержении вулканов особая роль отводится контролю и распространению пепловых облаков во время и после события, ибо они представляют реальную угрозу безопасности полетов реактивной авиации. Активность Эйяфьятлайокудль, на неделю парализовавшего работу европейских аэропортов, лишний раз свидетельствует об этом. Заметим, мониторинг распространения пепловых облаков производят давно, в частности, в районах вулканической активности на Дальнем Востоке. Если бы подобные системы использовали и в Европе, то это, может быть, существенно сократило бы потери, связанные с ограничениями на полеты авиации.

Катастрофические извержения Везувия (79 г.) в Италии, Кракатау (1883 г.) и Тамбора (1815 г.) в Индонезии, Ксудач (1907 г.) и Катмай (1912 г.) на Аляске, Безымянного (1956 г.) и Шивелуч (1964 г.) на Камчатке, Сент-Хеленс (1980 г.) в штате Вашингтон (США), Пинатубо (1991 г.) на филиппинском острове Лусон в 93 км к северо-западу от столицы Манилы стали хрестоматийными при описании воздействия этих явлений на окружающую среду. Последствия, как правило, ужасны: в одних случаях страдает только природа, в других — гибнут люди и города. Дистанционные методы мониторинга наряду с традиционными геологическими и вулканологическими методами, несомненно, расширяют наши знания в области наук о Земле, открывают возможность оценки баланса вещества современного вулканизма и масштаба извержений.

Крупное землетрясение на острове Гаити в Карибском море, произошедшее 12 января 2010 г. и повлекшее гибель свыше 220 тыс. человек, еще раз доказало важность раннего предупреждения подобных катастроф.

Об этом подробно рассказал на конференции в ИКИ РАН сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН, кандидат биологических наук Андрей Тронин. Привлечение спутниковых технологий для изучения подземных толчков, отметил он, вызвано сложностью объекта, трудностями его локализации во времени и пространстве, высокой стоимостью наземных методов. Дистанционное же зондирование помогает решать не только прикладные задачи сейсмологии (тот же прогноз землетрясений), но и фундаментальные вопросы строения и динамики развития нашей планеты в целом.

Докладчик остановился и на проблемах исследования деформаций земной поверхности оптическими и радиолокационными методами. Последние особенно бурно развиваются в варианте спутниковой радиолокационной интерферометрии, позволяющей измерять смещения с миллиметровой точностью на больших площадях. Для поиска предвестников землетрясений сегодня также используют возможности глобальной системы позиционирования GPS, разработанной и реализованной в 1970-х годах Министерством обороны США, а теперь и отечественной системы навигации ГЛОНАСС\*.

Большое внимание в последние годы специалисты уделяют изучению тепловых аномалий на поверхности Земли и их связи с сейсмической активностью.

Участники конференции обсуждали также проблемы негативного антропогенного влияния экологических катастроф на живую природу\*\*. В частности, в докладе доктора физико-математических наук Андрея Костяного (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва) и одного из авторов этой статьи речь шла о созданной у нас технологии комплексного многосенсорного спутникового мониторинга антропогенных загрязнений морской поверхности и ее применении во время аварии в Мексиканском заливе на нефтяной платформе «Deepwater Horizon» компании «British Petroleum» (Великобритания) 20 апреля 2010 г. Сбор информации российские ученые начали сразу после появления в печати первых сообщений о глубоководном разливе углеводородного топлива. Основная задача данного мониторинга состояла в том, чтобы составить прогноз дрейфа нефтяного пятна. Течения в районе самой аварии достаточно слабы и не имеют постоянного направления. Поэтому в гидродинамических моделях, на основе которых строились официальные прогнозы, учитывали только влияние ветра и волнение. Однако, как показал анализ уже первых спутниковых данных, трансформация пятна складывалась под действием мезомасштабной (от 10 до 1000 км) вихревой циркуляции, не учитываемой ни в каких моделях.

Впоследствии (17 мая 2010 г.) космические изображения продемонстрировали существенный рост общей площади загрязнения тут морской поверхности (с 11 до 16 тыс. км<sup>2</sup>) за счет гигантской нефтяной струи длиной примерно 300 км и шириной от 40 км у основания до 10 км на ее конце, двигающейся по дуге из рай-

\*См.: Ю. Носенко и др. ГЛОНАСС сегодня и завтра. — Наука в России, 2008, № 5 (прим. ред.).

\*\*См.: Р. Нигматулин. Во власти океана. — Наука в России, 2010, № 4 (прим. ред.).



**Победитель конкурса молодых ученых Иван Уваров (слева) и Дмитрий Плотников, занявший второе место (ИКИ РАН).**

она утечки в юго-восточном направлении. Моделирование не давало оснований для выдвижения версий о ее появлении. Однако авторам доклада удалось не только понять причины этого образования, но и сделать прогноз распространения, полностью оправдавшийся в дальнейшем. Дело в том, что часть пятна, попавшая в зону действия интенсивного дипольного вихря (совокупность двух вихрей разной направленности вращения) общим поперечным размером 300 км, была захвачена своим передним фронтом и вовлечена в циклоническое движение, чем и объяснялась «странная» траектория струи.

Ситуация обострилась тем, что загрязнение уже достигло 27° с.ш., куда обычно доходит петля Юкатанского течения (Loop Current) — самого мощного в восточной части Мексиканского залива. В свою очередь, оно питает Флоридское течение, огибающее одноименный полуостров с юга и востока. Возникли серьезные опасения: если нефтяная струя подойдет к западным берегам Флориды или, захваченная Юкатанским потоком, «волется» в теплое морское течение Гольфстрим в Атлантическом океане, то это неминуемо приведет к глобальной экологической катастрофе. Однако российские ученые на базе спутниковых данных сделали свое предположение: она будет захвачена циклоническим вихрем, как бы «наматываясь» на него, а в дальнейшем распадется на отдельные фрагменты и диссипирует под действием достаточно сильного восточного ветра. Все пошло именно по такому сценарию. Как заявили докладчики, основной вывод из предложенного оперативного анализа состоит в следующем: при составлении прогнозов дрейфа углеводородных загрязнений, когда речь идет не о поверхностной пленке, а о пятне сырой

нефти, в первую очередь надо учитывать не влияние ветра, а мезомасштабную циркуляцию в районе аварии.

Подчеркнем: форум, о котором идет речь в данной статье, проводят не только для обсуждения научных аспектов и новых технологий спутникового мониторинга, но и для привлечения к работе тех, кто лишь начинает карьеру в науке. Именно поэтому в рамках подобных конференций проходит Школа молодых ученых. В 2010 г. среди ее слушателей были студенты Москвы, Нижнего Новгорода, Омска, других российских городов. В научную программу организаторы включили обзорные лекции отечественных и зарубежных специалистов по актуальным проблемам дистанционного зондирования Земли и использования космических технологий в решении фундаментальных и прикладных задач. Молодым, как обычно, представилась возможность выступить с докладами о первых достижениях. К слову, их работы участвовали и в конкурсе, победителем которого стал Иван Уваров (ИКИ РАН). Две вторые премии разделили Азамат Кауазов (Национальное космическое агентство Республики Казахстан) и Дмитрий Плотников (ИКИ РАН), обладателями трех третьих — Илья Едемский (Институт солнечно-земной физики СО РАН), Наталья Брыксина (Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий, г. Ханты-Мансийск) и Василий Пошехонов (Рязанский государственный радиотехнический университет). Лауреатам вручили почетные грамоты и денежные премии.

*Иллюстрации предоставлены авторами*