

Будущие землетрясения лучше видны из Космоса

Прогнозирование таких природных катастроф как землетрясения является одной из наиболее актуальных проблем современной науки. Число землетрясений на нашей планете с каждым годом растет: в 2011 году их было 5 483, а в 2012 году их число увеличилось до 11 049. Большое значение для уменьшения числа жертв и материальных потерь в районах предполагаемых землетрясений может сыграть эффективная система прогноза, основанная на принципиально новых методах и технологиях мониторинга, в том числе, космических.

В России решением этой проблемы, как и других проблем, связанных с аэрокосмическим мониторингом Земли в целом и природных катастроф в частности, занимается Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС». О реальности использования современных методов и технологий космического мониторинга, разработанных в этом институте, для изучения и раннего выявления предвестников значительных сейсмических событий нашему корреспонденту рассказал его директор – академик Бондур В.Г.

Валерий Григорьевич, как Вы оцениваете состояние дел с разработкой методов и систем прогноза землетрясений?

Предсказание землетрясений до сих пор является до конца не решенной проблемой. Существующие методы и системы мониторинга сейсмоопасных территорий способны давать достоверную информацию о землетрясениях лишь непосредственно перед самими толчками (за несколько десятков



секунд). Современная сейсмология позволяет давать надежные долгосрочные прогнозы (за несколько лет до землетрясений). При этом достаточно точно указываются места, где могут произойти сейсмические события. Однако, такие прогнозы не позволяют указывать время свершения таких катастрофических природных явлений. Среднесрочные прогнозы менее достоверны, а краткосрочное прогнозирование землетрясений, наиболее важное для предупреждения населения, в настоящее время практически не развито.

Из-за отсутствия краткосрочного прогноза землетрясений случилось много печальных событий, в том числе, например, трагедия, произошедшая в Японии в марте

2011 года. В результате мегаземлетрясения Тохоку-Оки (магнитуда $M=9,0$), свершившегося 11 марта 2011 г. у Восточного побережья острова Хонсю и последовавшего за ним катастрофического цунами, погибли и пропали без вести более 19 тысяч человек. Произошла авария на АЭС «Фукусима-1», в результате которой район в радиусе 20-ти километров от станции стал зоной отчуждения. Полная ликвидация последствий аварии на данной АЭС займет 30–40 лет. Экономический ущерб от этой природной катастрофы составил почти 210 млрд. долларов. США.

В каком направлении должны идти исследования, направленные на повышение точности и надежности прогноза землетрясений?

Достоверность и точность прогноза землетрясений во многом определяется объемом и качеством информации об аномалиях различных параметров, возникающих вблизи потенциальных очагов в период подготовки и протекания сейсмических событий. Эти аномалии проявляются, например, в изменении уровня подземных вод, эманации различных газов и аэрозолей, вариациях теплового, магнитного и гравитационного полей, интенсивности электромагнитного излучения, а также многих других параметров, доступных для регистрации с применением специальных методов и аппаратуры. Эти аномалии используются в качестве различных предвестников (геофизических, гидрологических, геохимических, геологических, метеорологических, биологических) для прогноза землетрясений. При проведении научных исследований, направленных на повышение точности и надежности прогноза землетрясений, прежде всего сильных с магнитудами $M > 5$, основное внимание должно уделяться выявлению краткосрочных предвестников, проявляющихся за 1–7 дней до сейсмических событий. Важную роль в регистрации таких предвестников при мониторинге сейсмоопасных территорий играют современные космические методы и технологии.

Что сделано исследователями Вашего НИИ «АЭРОКОСМОС» для решения такой проблемы?

Проведенные исследования позволили выявить десятки параметров, принципиально регистрируемых из космоса, которые можно использовать для дистанционного мониторинга сейсмоопасных территорий. Однако, по разным причинам, иногда техническим, иногда экономическим, в настоящее время нельзя использовать сразу все эти параметры. Ведь прежде, чем предложить какие-либо из них для практического использования в качестве надежных предвестников землетрясений, нужно провести широкомасштабные научные исследования, а также разработать специальные методы и технические средства для их регистрации. Это требует привлечения большого числа специалистов высокого класса и вложения значительных средств.

На основе исследований, проведенных в нашем институте, удалось разработать ряд новых методов и технологий дистанционной регистрации из космоса различных параметров, характеризующих состояние среды сейсмоопасных территорий, причем с использованием существующих приборов (многоспектральных оптических, тепловых, спектрометрических, радиолокационных, аппаратуры магнитной и гравитационной съемки и др.), а также средств современных спутниковых навигационных систем. Уже в настоящее время с их помощью можно регистрировать минимум 5 различных типов краткосрочных предвестников значительных (с магнитудами больше 5) сейсмических событий. Это позволяет перейти к этапу практического использования полученных результатов для космического мониторинга сейсмоопасных территорий.

-Расскажите подробнее, как используются параметры, фиксируемые аппаратурой, установленной на ИСЗ, для мониторинга сейсмоопасных территорий.

Нам удалось разработать специальные методы и технологии дистанционного зондирования и оперативной обработки больших объемов данных, формируемых различной космической аппаратурой, для регистрации аномальных вариаций различных физических полей в сейсмоопасных регионах, которые являются краткосрочными предвестниками сильных землетрясений. Главной особенностью нашего подхода является комплексный анализ аномалий различных геофизических параметров, регистрируемых в процессе космического мониторинга, которые характеризуют сейсмическую активность, в том числе таких, например, как: геодинамические особенности в районах подготовки к землетрясениям, выявляемые путем анализа изменчивости систем линеаментов одновременных космических изображений; изменения характеристик ионосферы Земли (перестройка вертикальных профилей электронной концентрации, изменения общего электронного содержания и максимальной концентрации электронов в слое F₂) над зонами готовящегося землетрясения; аномальные вариации температуры земной поверхности и приземного слоя воздуха, а также интенсивности уходящего электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне спектра и другие.

Данный подход апробирован нами при мониторинге сейсмоопасных территорий в различных районах земного шара, где за последние 12 лет свершилось большое число сильных и катастрофических землетрясений с магнитудами 5...9. Это открывает новые перспективы для решения проблемы прогнозирования землетрясений.

Валерий Григорьевич, Вы говорили о возможности использования существующих систем спутниковой навигации для прогноза землетрясений?

Одним из наиболее перспективных методов регистрации краткосрочных предвестников сильных землетрясений ($M > 5$) является анализ возмущений,

происходящих в ионосфере – слое верхней атмосферы Земли, ионизированном космическими лучами и коротковолновым излучением Солнца. В процессе многолетних исследований, выполненных отечественными учеными (в том числе, и специалистами нашего института), а также зарубежными исследователями, было установлено, что в период подготовки сильных землетрясений происходят специфические изменения характеристик ионосферы Земли. Эти изменения проявляются, главным образом, в росте электронной концентрации слоя F_2 ионосферы, который начинается за 4–7 дней до землетрясения, а за 1–2 дня до сейсмического толчка происходит резкое падение электронной концентрации в этом слое. В процессе роста электронной концентрации значительно возрастает амплитуда ее колебаний. Такие аномальные вариации электронного содержания ионосферы обусловлены сложными и не до конца выясненными физическими механизмами сейсмо-ионосферных связей, вызывающих перестройку ионосферных параметров над зоной готовящегося землетрясения.

Для мониторинга такого типа ионосферных аномалий, возникающих над обширными сейсмоопасными территориями Земного шара, необходимо использовать специальные методы, технологии и технические средства зондирования ионосферы, наиболее перспективными среди которых являются космические. Оказалось, что для решения такой задачи могут использоваться существующие и перспективные спутниковые навигационные системы. В настоящее время это системы ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США), а в перспективе – европейская система «Галилео» и китайская – «Бэйдоу» («Компас»). Космические навигационные системы позволяют уже сейчас реализовывать двухчастотный метод радиопросвечивания ионосферы Земли. Нами разработаны специальные методы получения и оперативной обработки сигналов, которые позволяют анализировать особенности распространения в ионосфере Земли радиоволн, излучаемых на двух частотах в последовательные моменты времени с различных спутников, входящих в состав систем GPS и ГЛОНАСС, и регистрируемых на разветвленной сети наземных опорных станций этих навигационных систем.

Таким образом, появилась возможность достаточно оперативно получить данные о вариациях концентрации и пространственно-временного распределения электронов в ионосфере Земли над зонами готовящихся землетрясений и реализовать на практике метод оперативного космического мониторинга сейсмоопасных территорий. Главной задачей такого мониторинга является распознавание тех аномальных вариаций характеристик ионосферы, являющихся краткосрочными предвестниками готовящихся сейсмических событий, на фоне флуктуаций, обусловленных многочисленными

факторами, связанными с солнечной активностью, волновыми процессами в ионосфере и другими. Мы достаточно широко используем этот подход в своей деятельности.

Одним из методов, которым пользуются геологи, занимающиеся изучением тектонических движений, является выявление и анализ рисунка, созданного спрямленными элементами рельефа – линеаментами. Используется ли он в мониторинге землетрясений?

Да, мы проводим анализ линеаментных систем, проявляющихся на космических изображениях, которые возникают под воздействием сейсмических процессов и дают информацию о готовящихся землетрясениях. Разработанные нами методы позволяют путем специальной обработки космических изображений, полученных при мониторинге сейсмоопасных территорий, выделять линейные элементы, регистрируемые в последовательные моменты времени. Анализ временных зависимостей плотностей линеаментных систем, линий вытянутости и «роз-диаграмм» направленности линеаментов и других характеристик, а также обнаруживаемых с их помощью деформационных волн, позволяет выявить моменты повышения сейсмической активности и прогнозировать место и время будущих землетрясений.



Наши более чем 10-летние исследования многочисленных сейсмических событий с магнитудами больше 5, произошедших в различных районах Земли, показали, что заметные проявления деформационных волн, выявляемых путем анализа линеаментных систем на космических изображениях, начинаются обычно за 1–3 месяца до начала землетрясений (в зависимости от региона и силы землетрясений), а их затухание происходит через 1–3 месяца после землетрясений. При этом максимальные изменения систем линеаментов происходят за 7–30 дней до начала сейсмических событий. Это является важным геодинамическим предвестником землетрясений.

- Насколько реально сегодня обеспечить краткосрочное прогнозирование землетрясений и своевременно оповещать население о времени и месте этих катастрофических событий?

Как я уже отмечал в начале нашей беседы, достоверное краткосрочное прогнозирование сильных землетрясений является крайне сложной проблемой. Пока мы еще не можем обеспечить предоставление регулярных надежных предупреждений о готовящихся сейсмических событиях в наши мобильные телефоны и ноутбуки. Однако, эта проблема может быть разрешима в недалеком будущем при развитии и широком применении космических методов и технологий мониторинга сейсмоопасных территорий, а также достижений современной сейсмологии. При этом наибольшие перспективы связаны с используемым нами подходом, заключающемся в комплексном анализе различных геофизических параметров, регистрируемых, как из космоса, так и наземными средствами.

Для ускорения решения этой проблемы необходимо продолжать проведение фундаментальных, поисковых и прикладных научно-исследовательских работ для определения наиболее достоверных краткосрочных и среднесрочных предвестников сейсмических событий, выявления их природы и внедрения результатов этих работ в практику.

Каким, по Вашему мнению, должен стать следующий этап создания системы сейсмического мониторинга?

Для прогнозирования землетрясений, как и других природных катастроф, необходимо создать комплексную систему мониторинга, которая позволяла бы интегрировать как данные, получаемые из космоса, так и наземные данные.

Наиболее перспективным подходом для решения такой сложной проблемы, как прогноз землетрясений, представляется использование методов комплексного анализа различных геофизических полей, являющихся краткосрочными и среднесрочными

предвестниками землетрясений, регистрируемых из космоса, а также сетью наземных сейсмических станций при мониторинге сейсмоопасных территорий.

Эффективность применения космических методов для такого мониторинга наглядно продемонстрировали результаты исследований, выполненных НИИ «АЭРОКОСМОС».

Записал Михаил БУРЛЕШИН