

УДК 550.388.2; 551.594; 51.510.535

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СЕТИ МАЛОГАБАРИТНЫХ МЕТЕОРАДАРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНЫХ АНОМАЛИЙ – ПРЕДВЕСТНИКОВ СЕЙСМОАКТИВНЫХ СОБЫТИЙ

© 2013 Н. А. Березинский¹, И. Н. Березинский², А. В. Капитанников¹,
М. Ю. Пашкевич¹, А. Н. Репин³, Ю. Я. Ружин⁴, Л. Н. Трефилова⁴,
А. В. Шаповалов².

¹ Высокогорный научно-исследовательский испытательный центр авиационной техники и вооружения, Россия, 866030, г.Нальчик, пр. Ленина,2,
e-mail: vniic@rambler.ru.

² Высокогорный геофизический институт, Россия, 866030, г.Нальчик,
пр. Ленина,2, e-mail: vgikbr@rambler.ru.

³ ООО «Контур-НИИРС» 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Швецова, д. 23,
e-mail: public@kontur-niirs.ru.

⁴ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н. В. Пушкова 142190, Россия, г.Троицк, Калужское шоссе, 4,
e-mail: ruzhin@izmiran.ru.

В работе обсуждается возможность получения объективной многопараметрической информации на базе сети малогабаритных метеорологических радаров, созданной для непрерывных наблюдений за атмосферными образованиями – индикаторами подготовки землетрясений. В результате появится новая информация, необходимая для лучшего понимания динамики происходящих под землей процессов и выявления возможности улучшения прогноза реальных сейсмических событий.

Ключевые слова: атмосферные аномалии, предвестники, землетрясения

Проблема математического описания динамики сейсмических событий, прогноза их координат, времени и энергии относится к одной из самых важных и сложных проблем современной геофизики и геологии. Для ее решения используют многие достижения науки и техники: деформацию земной поверхности измеряют посредством лазерных деформографов, движение блоков земной коры фиксируют по спутниковым данным, выделение газов из недр Земли изучают с помощью новейших масс-спектрометров, моделирование процессов подготовки сейсмических событий выполняют на основе современного аппарата математической физики и т. д. [Добровольский, 1991].

Наблюдения ряда лет во многих регионах Земли выявило наличие аномальных облачных явлений, длительно сопровождающих сейсмические процессы и вместе с ними изменяющими свою конфигурацию и активность. Над разломами суши, морского дна выявляются резкие границы облачных полей, узкие безоблачные зоны внутри облачных массивов или гряды облаков в безоблачном пространстве [Морозова, 2005; Guo, Wang, 2008; Дода и др., 2009]. Протяженность облачных аномалий достигает сотен километров. Цепочки облаков – полосы над разломами, имеют ширину всего несколько сотен метров. При этом отмечается слабо возмущенное со-

стояние атмосферы, но, несмотря на ветер, облака стоят на месте. Проекция резкой границы облачности на поверхность Земли совпадает с положением и конфигурацией разлома.

Имеется несколько модельных попыток объяснения их появления [Липеровский, 2006]. Отметим наше понимание взаимосвязи атмосферных и сейсмических явлений.

При подготовке и прохождении сильных землетрясений возникают специфические вариации параметров атмосферы и ионосферы, наблюдаемые в регионе подготовки, размеры которой определяются формулой Добровольского $R = \exp M$ (км), где R – радиус области подготовки землетрясения, а M – его магнитуда [Добровольский, 1991]. Чем больше радиус подготовки сейсмического явления, тем больше его магнитуда.

В сейсмоактивных областях перед землетрясениями отмечается возникновение острова тепла. Спутниковые измерения над сейсмоактивными областями с использованием инфракрасных радиометров [Горный и др., 1988] выявили подтверждение наличия тепловых (метеорологических) аномалий, обнаруженных ранее с помощью наземных измерений [Милькис, 1986].

В соответствии с вариациями активности сейсмического процесса изменяется и эманация газов, ионов и паров в атмосферу. Ионы в данном случае проявят себя как ядра конденсации, а водяной пар соответственно будет конденсироваться на них, образуя облачные капли. Соответствующим образом откликнутся на это и параметры образовавшихся облаков: высоты основания и верхней границы, концентрации и спектра размеров облачных частиц, водности, радиолокационной отражаемости, электрической активности и др. Существование облака зависит от степени его подпитки. Сносимая от разлома ветром часть облака теряет подпитку и испаряется. А над разломом, при сохранении подпитки, часть облака будет восстанавливаться. Это приводит к динамическому сохранению облака в целом и его стационарного положения над разломом. Конфигурация облака будет соответствовать трассе подпитки, т. е. конфигурации сейсмического разлома.

Линейные облачные аномалии (ЛОА) достаточно точно повторяют конфигурацию разлома земной коры при порождающем их сейсмическом событии, а вариации облачных параметров соответствуют вариациям тектонических событий в литосфере [Pulinets et al., 2006; Уткин, Юрков, 1998]. Они существуют длительное время в регионе развития процесса, что благоприятствует его планомерному радиолокационному исследованию [Волков, 2009].

Проводя непрерывные радиолокационные наблюдения облаков – спутников сейсмического явления, можно отслеживать динамику подземных процессов достаточно подробно и непрерывно. Это приведет к появлению новых сведений, если не обо всем процессе, то, хотя бы, о его активной фазе.

До настоящего времени все гипотезы относительно формирования облачных процессов над тектоническими разломами строились на основании спутниковых радиолокационных наблюдений. Несомненно, такие наблюдения весьма перспективны из-за своего объема информации и способности покрывать обширные территории, но, несмотря на свои преимущества, у этого метода имеется ряд недостатков:

– отрывочность наблюдений за облачными процессами – возникают значительные паузы, связанные с определенным циклом обращения спутника, или наличие зон наблюдения с низким разрешением на краях зон обзора;

– отсутствие информации о высоте верхней и нижней границ облачности, структуры рассеивающих электромагнитные волны частиц (концентрации, спектра размеров, фазового состава и др.), динамики внутриоблачных процессов и т. д.;

– низкая разрешающая способность радиолокационных станций по причине большого удаления и конечной ширины диаграммы направленности;

– экранирования облаков нижнего яруса при многоярусном состоянии облачности – наиболее часто отмечаемого в весенний и осенний периоды года.

Все эти недостатки могут быть устранены при использовании в наблюдениях наземных радиолокаторов, объединенных в информационную сеть. Наиболее удобным в этом отношении является использование малогабаритных радиолокаторов. Радиолокационный комплекс, созданный на базе легко перемещаемых радиолокаторов (вес 65 кг) и аппаратуры передачи данных, можно быстро развернуть на любой, интересующей исследователей, территории Земли.

Для правильного описания сейсмического события и его достоверного прогнозирования необходимо глубокое понимание физики подземных явлений, проходящих в период подготовки землетрясений, и динамики их развития. Поэтому важны долговременные непрерывные наблюдения и измерения на обширной территории, но в то же время, измерения с высоким разрешением возможны только на малых дистанциях.

С этой целью мы предлагаем создать автоматизированную радиолокационную сеть на базе переносных радиолокаторов в диапазоне 3,2 см наблюдения для детального изучения хронологии развития сейсмического процесса по трансформации его индикатора – тектонических облаков на обширных территориях.

Наиболее информативными признаками определения мест и магнитуды прогнозируемого землетрясения являются облачные сейсмоиндикаторы, которые повторяют контуры активных участков границ литосферных плит, блоков или разломов и часто проявляются в виде линейных или углообразных структур.

О связях наличия необычных облаков с активизацией процессов в разломах Земли было обращено внимание ряда отечественных и зарубежных ученых, например [Devi, 2007; Guo, 2008; Voinov, 1992].

Облака специфической конфигурации могут свидетельствовать о скором землетрясении. Они выстраиваются в четкие линейные структуры. Найдена тесная связь появления аномально прямых облачных структур с мощными подземными толчками. Именно такие структуры отмечались на космических снимках с метеорологических спутников в районе армянского города Спитак накануне сильнейшего землетрясения 1988 года [Voinov, 1992]. На аналогичных космических снимках Юго-Восточной Азии накануне сильнейшего цунами 29 декабря 2011 года наблюдаются прямые линии из облаков, изогнутые под прямым углом, которые протянулись от Шри-Ланки до Южно- Китайского моря. Отсюда и родилась гипотеза, что эти и другие облачные аномалии (например, «сетчатые» облака) возникают над разломами земной коры в период активизации сейсмических процессов.

Землетрясение в Испании 11 мая 2011 г. и спутниковые фотоснимки [Морозова, 2011]

Землетрясение было небольшой магнитуды, но на небольшой глубине –1 км и потому разрушительным. Первый толчок $M=4.5$ произошел в 15 ч 5 мин, второй $M=5.1$ в 16 ч 47 мин. 11 мая 2011 г. Оба в одном эпицентре у г. Лорка. Его пред-

вестник – линейные облачные аномалии, проявился на спутниковых снимках за 2 месяца до землетрясения – 9 марта над Атлантикой в виде безоблачного просвета в низкой облачности, протяженностью 3000 км и гряды облаков над Бискайским заливом. С октября 2010 г., когда был начат спутниковый мониторинг линейных облачных аномалий (ЛОА), аномалии над этим регионом возникли впервые.

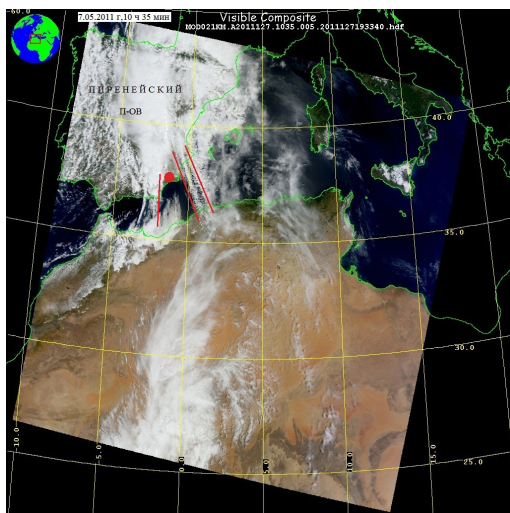


Рис. 1. Активизация разломов, примыкающих к эпицентру будущего землетрясения 7.5.2011 г.

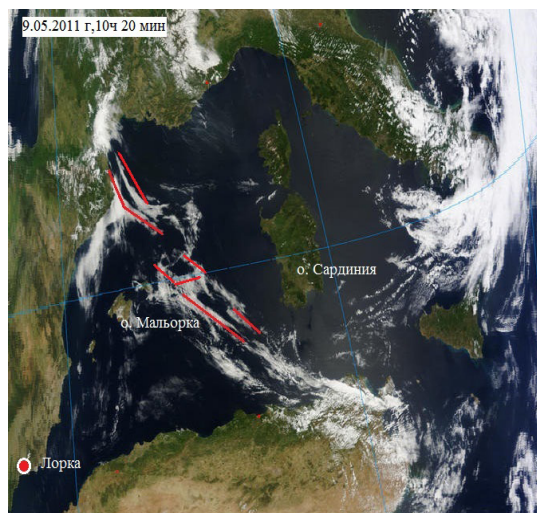


Рис. 2. Сейсмоиндикатор ЛОА вне зоны облачных полей 9.05.2011 г.

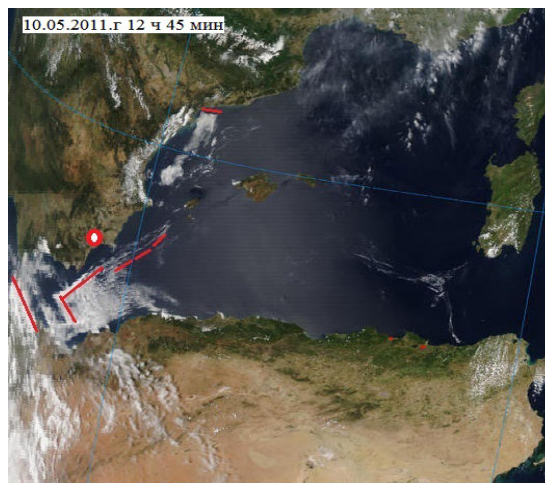
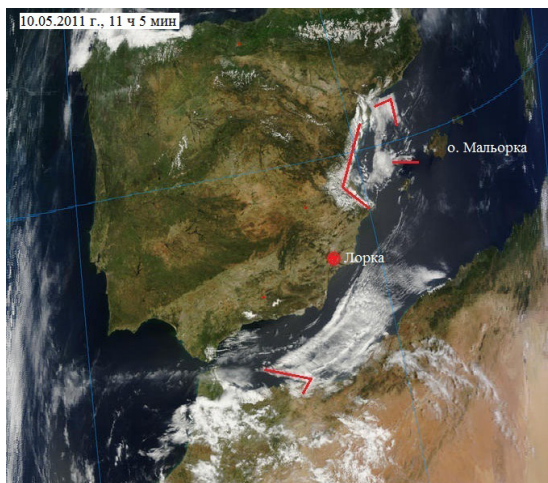


Рис. 3,4. Сейсмоиндикаторы 10.05.2011 г. в регионе будущего землетрясения

Активизация разломов, примыкающих непосредственно к эпицентру землетрясения в г. Лорка, началась 7 мая – за 4 суток до толчка. На снимке большого масштаба в облачном массиве над Пиренейским полуостровом и прилегающей акваторией находились две ЛОА: одна к востоку от очага в виде гряды, соединяющей Пиренеи с Африкой; вторая – к западу, северная её половина – на границе облаков, а южная в виде узкого просвета в облачности над морем (рис. 1). Эти ЛОА были северо-западной ориентации, что соответствует сейсмической активизации породивших их разломов.

8 и 9 мая в регионе землетрясения облаков не наблюдалось (рис.2), но Западное Средиземноморье с небольшим количеством облачности, судя по наличию здесь ЛОА, уже было охвачено сейсмическим процессом. 10 мая на двух последователь-

ных снимках (рис. 3,4) в облачных массивах вблизи эпицентра запечатлены ЛОА в виде резких линейных углообразных границ разрывающейся облачности.

11 мая в 12 ч над Атлантикой, там же, где и в начале процесса 9 марта, повторно возник протяженный просвет в поле низкой облачности. Первый толчок произошел спустя 3 ч 5 мин. На крупномасштабном снимке в 13 ч 25 мин, полученном за 1 ч 40 мин до толчка, видно, что тектонический процесс развился, в облачности проявилось 7 разломов: два из них на северо-западе полуострова имеют северо-западное направление (рис. 5).

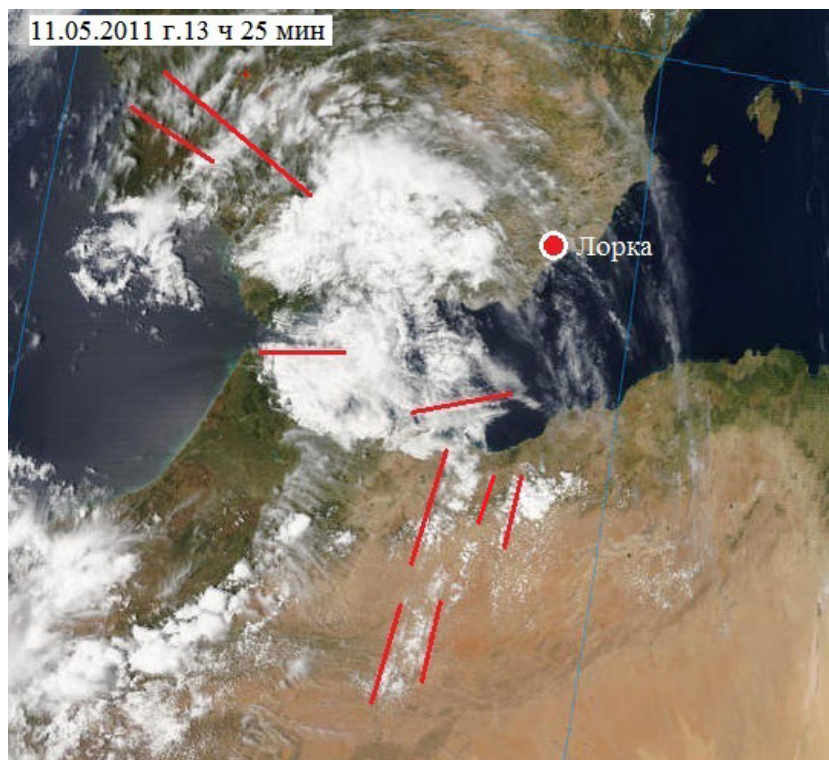


Рис.5. Активизация сейсмической активности в регионе перед самым землетрясением

Появление только одной ЛОА 9 марта и целого их «роя» с 7 мая перед землетрясением, служит доказательством проявления активности сейсмического события в атмосфере и является краткосрочным предвестником времени и региона землетрясения. При подробном изучении конфигурации и активности облаков данного региона можно было бы построить последовательные схемы напряжений коренных пород, появление и развитие подземных разломов, движения магматических пород и другие эффекты сейсмического события. Концентрация разных систем наблюдения и разностороннего исследования одного сейсмического события могло бы стать революционным явлением в науке о землетрясениях.

Радиолокационные исследования облаков

Каждое облако, как объект наблюдений, представляет собой своеобразное сочетание двух облаков разного типа с несовпадающими границами. Одно из них состоит из частиц, размеры которых не превосходят нескольких десятков микрон. Именно его мы видим. Оно содержит основную массу облачной воды, от него зависят: видимость в облаках, обледенение самолетов, вклад облаков в радиационный

баланс атмосферы и т. д. Другое облако состоит из частиц, размеры которых составляют сотни микрон (более 75 мкм). Радиолокационная отражаемость от него увеличивается на два-три порядка по сравнению с радиолокационной отражаемостью от первого облака. Такое облако играет большую роль в процессе формирования осадков и свидетельствует о том, что в облаках существуют достаточно эффективные механизмы формирования и удержания сверхкрупных частиц.

Обнаружение сверхкрупных капель и кристаллов в облаках, не дающих осадков, и установление особенностей их распределения по размерам явилось импульсом для поисков механизмов, объясняющих эти особенности. Ясное понимание того, что является носителем радиолокационного сигнала от облаков, дает возможность не только правильно интерпретировать радиолокационные данные, но и разрабатывать новые способы получения метеорологической информации на основе радиолокационных наблюдений.

В настоящее время интенсивное развитие получили радиолокационные методы измерения важнейших параметров облаков и осадков – их водности, микроструктуры, поля воздушных потоков внутри облаков и т. п.

Параметры облаков и осадков, получаемые с помощью наземных метеорадиолокаторов, соответствуют термодинамическим условиям атмосферы, которые с большой достоверностью описываются различными физико-математическими моделями атмосферы.

Целью настоящего предложения является организация непрерывных наблюдений за атмосферными образованиями, как индикаторами землетрясений, для лучшего понимания динамики происходящих под землей процессов и выявления возможности в дальнейшем реальных сейсмических событий.

Для проведения регулярных радиолокационных наблюдений метеорологических образований на обширных территориях у нас в стране и ряде зарубежных стран используются высокопотенциальные метеорологические радиолокационные станции МРЛ-5. Эти станции имеют диаметр параболической антенны 4,5 м с эффективным радиусом действия порядка 220-240 км. Дальнему обнаружению поддаются локальные очаги осадков средней и большой интенсивности IR от 100 до 1000 мм/час км.

Практика исследований [Калинин, 2000] показала, что при длине волны радиолокатора $\lambda > 6$ см мощность отраженного сигнала для определенной длины волны $P_r(\lambda)$ сильно падает вследствие уменьшения релеевского коэффициента отражения (поглощение при $\lambda > 6$ см в осадках ничтожно мало). При $\lambda < 3$ см $P_r(\lambda)$ также резко уменьшается вследствие возрастающего поглощения в осадках. Коэффициент ослабления $K_{осл}$ (дБ/км) для жидкокапельных облаков ($IR \approx 100$ мм/час км.) прямо пропорционален их водности и обратно пропорционален λ^2 : $K_{осл} = (0,438q/\lambda^2) f(t)$; а численные значения $K_{осл}$ для $\lambda = 0,9$ см больше $K_{осл}$ для $\lambda = 3,2$ см примерно в 18,5 раз.

Таким образом, предварительный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности применения для обнаружения слабых облаков $IR < 100$ мм/час км радиолокационные станции диапазона 3,2 см.

В диапазоне 3,2 см коэффициент ослабления в слабых облаках без осадков не превышает 0,05-0,1 дБ/км. Но пренебрегать этим нельзя, т. к. эти искажения могут сказаться на отображении структуры радиолокационного сигнала. В практике метеорадиолокационных работ этот вопрос решается за счет использования много-

позиционных (сетевых) наблюдений. При обработке радиолокационной информации по возможности не используются сигналы, полученные при пересечении мощного радиоэхо.

Радиолокационная сеть из 3-х переносных радиолокаторов «Контур-Метео-01» (радиус действия каждого ~ 150 км) покрывает ~ 200 000 км² приземной поверхности в любом интересующем исследователей районе Земли в сейсмоопасном регионе.

В настоящее время на вооружение гидрометеорологической службы России поступает новый доплеровский метеорадиолокатор – ДМРЛ. Это стационарная станция с эффективным радиусом действия ~ 220-240 км. Стоимость ее составляет 90 млн. рублей. Чтобы эту станцию на время эксперимента переместить в интересующий район, необходимы большие капитальные вложения.

Затраты на приобретение и развертывание предлагаемой мобильной сети наблюдений по сравнению со стационарными метеорадиолокаторами ниже в 8-10 раз.

Малогабаритный метеорологический радиолокатор «Контур-МЕТЕО-01»

Малогабаритный метеорологический радиолокатор Контур-МЕТЕО-01 предназначен для обнаружения и классификации метеообразований, анализа метеообстановки и предупреждения об опасных метеоявлениях. Метеорадиолокатор работает совместно с персональным компьютером (ПК), выполняющим функции пульта управления, устройства обработки информации и индикатора. Управление метеорадиолокатором и обмен информацией с ПК осуществляется по проводной линии связи «Ethernet» с использованием стека протокола TCP/IP, при этом никаких специальных доработок ПК не требуется. Программное обеспечение (ПО) метеорадиолокатора осуществляет построение карт отражаемости, интенсивности осадков, высоты верхней и нижней границ облачности, видимости в осадках. Имеется возможность просматривать увеличенное изображение выбранного участка метеообразования и изображение вертикального профиля. Метеорадиолокатор «Контур-МЕТЕО-01» может работать в режиме удаленного доступа через Интернет с сохранением всех функций управления радиолокатором и получения от него информации. Внешний вид метеорадиолокатора «Контур-Метео-01» показан на рисунке 6.

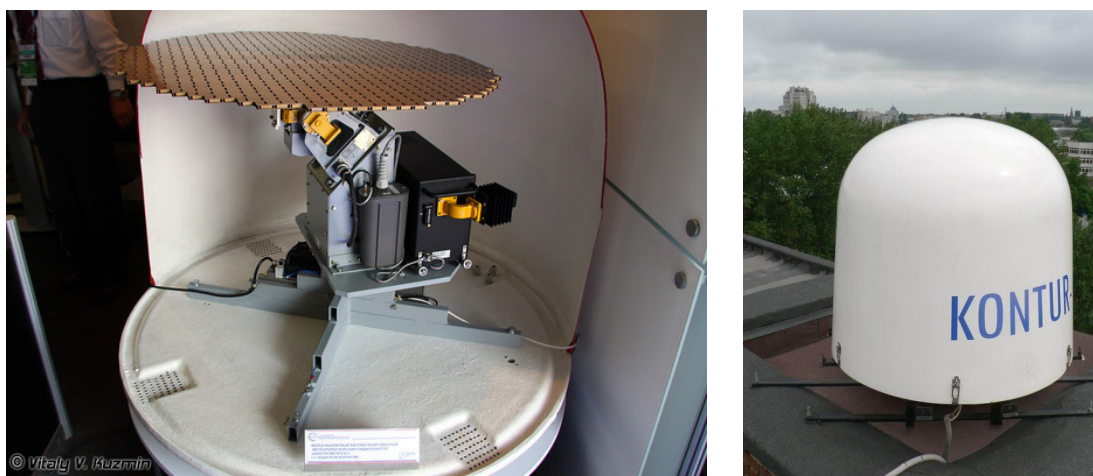


Рис.6. Малогабаритный метеорадиолокатор «Контур-Метео-01» в защитном кожухе (стандартная конструкция, установленная на крыше здания)

Малогабаритный метеорадиолокатор «Контур-Метео-01» является высокотехнологичным и надежным изделием, разработанным и изготовленным с использованием современной элементной базы и алгоритмов обработки сигналов. Он способен решать многие задачи, возложенные сейчас на «большие» метеорадиолокаторы, при этом имеет место значительная экономия в стоимости, затратах на монтаж и обслуживание, а также на развертывание в составе наблюдательной сети. Основные характеристики малогабаритного метеорадиолокатора «Контур-Метео-01» приведены в таблице 1.

В комплект поставки входят собственно метеорадиолокатор с радиопрозрачным укрытием, компьютер (по согласованию с заказчиком), специальное программное обеспечение (СПО) управления, обработки и визуализации метеоинформации, монтажный комплект. ПО радиолокатора работает в ОС Windows (может быть адаптировано для работы в ОС Linux).

Метеорадиолокатор «Контур-Метео-01» совместим по формату выходной информации с действующей сетью метеорадиолокаторов Росгидромета. Для обработки и визуализации информации используется ПО «MRLVIS».

Габариты и масса метеорадиолокатора позволяют устанавливать его как на наземных пунктах мониторинга, так и на подвижных объектах (автомобиль, корабль).

Таблица 1

Основные характеристики малогабаритного метеорадиолокатора «Контур-Метео-01»

Обзор по азимуту	Круговое вращение
Пределы перемещения антенной решетки по углу места, град	– 5... +93
Максимальная скорость вращения по азимуту, град/с	36
Длина волны, см	3,2
Импульсная мощность, кВт	не менее 5
Длительность импульсов, мкс	1,0; 2,0; 4,0
Частота повторения импульсов, Гц	400 ÷ 1400
Размеры антенной решетки, мм	760 × 760
Ширина диаграммы направленности, град	3,0 × 3,0
Радиус действия, км	50-100-200
Период обновления информации, мин	> 3
Характер обнаруживаемых метеорологических явлений	Облачность, зоны осадков (снег, дождь, град), грозовые фронты
Напряжение питания	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, Вт	не более 250
Диапазон рабочих температур, °С	От –40 до +60
Вес, кг; не более	65
Габариты радиопрозрачного колпака, мм	Диаметр –1100, высота – 1050

Современные средства связи и разработанное программное обеспечение позволяют осуществлять прием и передачу данных в единый информационный центр. Модемы передачи данных должны иметь производительность не менее 5 Мбит/сек.

За рубежом имеются аналогичные радиолокаторы однопунктного наземного базирования (могут устанавливаться и на небольших мачтах).

На рисунке 7 демонстрируются технические возможности радиолокационной сети в отображении обширного метеорологического явления на значительной территории.

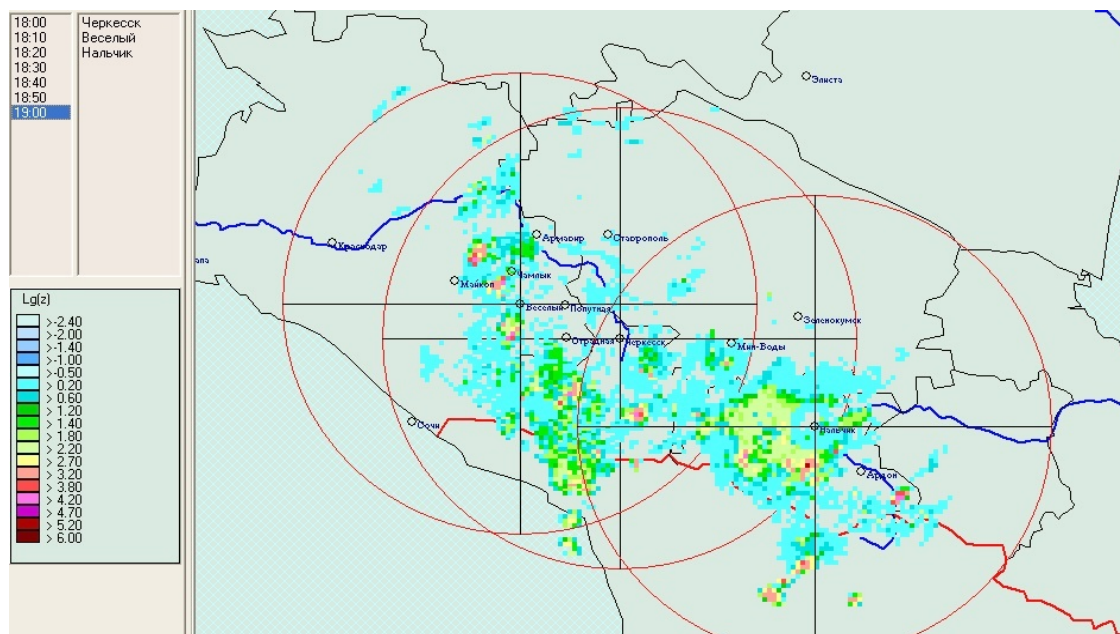


Рисунок 7. Пример формы отображения объединенной карты метеорологических явлений, полученной в результате обработки информации от трех радиолокаторов сети на территории ~ 200000 км². Август 2012 (18/15:20).

Применение сети радаров позволит исследовать весь комплекс явлений в атмосфере в период подготовки землетрясений. Атмосферные сейсмоаномалии (возможные предвестники) в настоящее время включают генерацию электромагнитного КВ -УКВ излучения [Voinov et al., 1992; Ruzhin et al., 2000], появление зарядовых (грозовых) облаков накануне землетрясений [Voinov et al., 1992; Ruzhin, Nomicos, 2007], изменение условий распространения УКВ радиоволн [Devi et al., 2007, 2010, 2012]. Даже при распространении вблизи горизонта GPS сигналов над зоной подготовки проявляется эффект аномальной рефракции за несколько дней до землетрясений [Милькис, 1986], который вызван повышенным влагосодержанием и температурными вариациями.

Таким образом, развертывание КВ- и УКВ-приема, совместно с радиолокационной сетью наблюдений, расширяет получаемый ряд данных о предвестниках землетрясений. Без особых затрат на пунктах радиолокационного зондирования можно установить УКВ-приемники (с учетом зон закрытия). Сбор, обработка и передача дополнительной информации по электромагнитному излучению может осуществляться с помощью сетевой аппаратуры обмена данными. Такой комплексный подход к мониторингу сейсмических событий несомненно повысит надежность и достоверность прогноза землетрясений. С этой точки зрения необходимо обратить внимание на нижеуказанные исследования.

Предложена модель [Ruzhin et al., 2007], и создана теория процесса [Sorokin et al., 2011] модификации атмосферы накануне землетрясений. Показано [Koulouras et al., 2009], отличие генерируемого УКВ предвестника от возмущений, обусловленных солнечной активностью. Перечисленные проявления в атмосфере грядущей сейсмоактивности могут происходить в комплексе и отдельно. Это, по-видимому, связано с локальностью их генерации, которая определяется геологией и/или местными метео-особенностями (условиями), которые в ходе мониторинга могут быть выявлены с помощью метеорадаров.

На рисунке 8 показан пример развития предвестника итальянского землетрясения (L, Aguila 2009 г.).

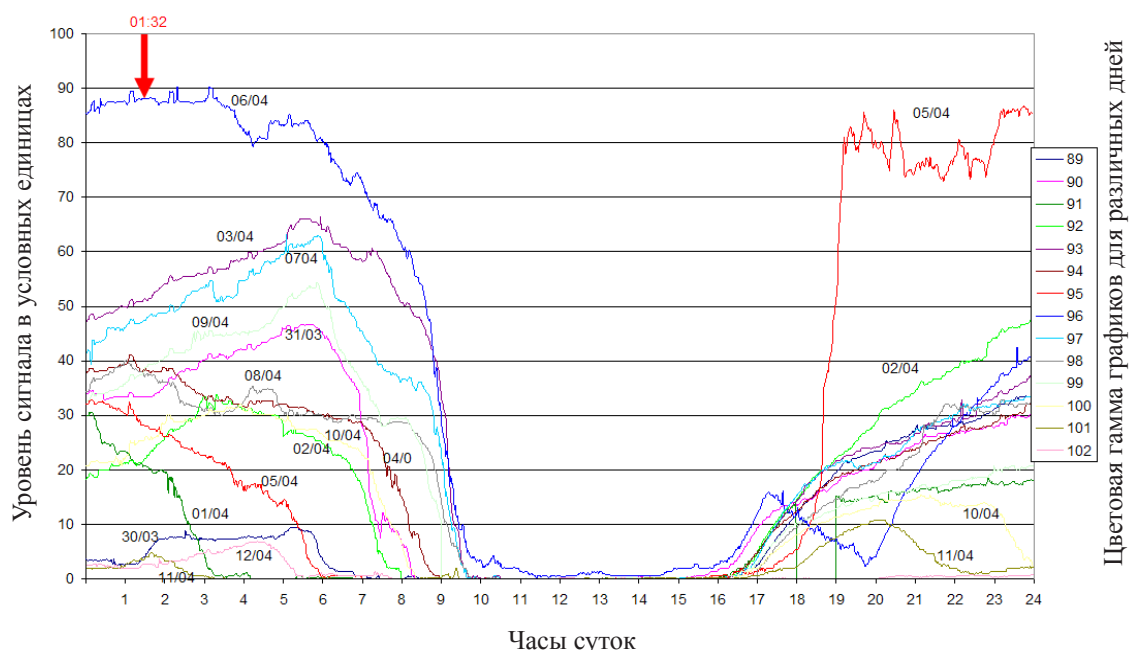


Рис.8. Развитие предвестника итальянского землетрясения (L, Aguila 2009 г.)

На рисунке 8 изображен ход сигнала, принимаемого на частоте 46 МГц. Стационарный приемник находится на острове Занте (УКВ сеть, Греция [Nikolopoulos et al., 2012] рис. 9). Взят период времени с 89 по 102 день 2009 года (с 30 марта по 12 апреля). В данном временном промежутке, а именно 06 апреля в 01:32 UT произошло землетрясение силой 6.3 по шкале Рихтера. На рисунке оно отмечено красной стрелкой с указанием времени. Как видно на графике, максимальный всплеск приходится на время самого землетрясения. На рисунке хорошо видны временной ход распространения сигнала, а именно, всплески в ночные часы.

В некоторые дни, например 1 и 4 апреля, максимальные значения приходились на 1-ый и 24-ый час. Основное количество максимумов приходилось на 5-6 часов, так, например, 30 и 31 марта, 3 и 7 апреля. Абсолютный максимум отмечается в день землетрясения 6 апреля в районе 2-3 часов. Накануне, 5 апреля так же сильный сигнал (около 86 у.е.) отмечается в 23-24 часа. На графике хорошо видно, что в период с 10 до 16 часов, наблюдается, как бы провал сигнала. Только 6 апреля сигнал протягивается в этом временном интервале (с 10 до 16 часов) над нулевым уровнем (около 1-2 у.е.), тогда как во все остальные дни в этом временном интервале наблюдается слияние сигнала с уровнем нуля.

На рисунке 9 приведена геометрия приема сигнала. Пунктирной линией соединены станция приема (остров Zante, Ионическое море, Греция) и эпицентр. Звездочка – граница зоны подготовки, определенная по формуле Добровольского. Дальнее распространение УКВ, по-видимому, происходит за счет эффекта суперрефракции в области атмосферы в окрестности границы земля-море (юго-восток Италии, в пределах зоны радиуса Добровольского).

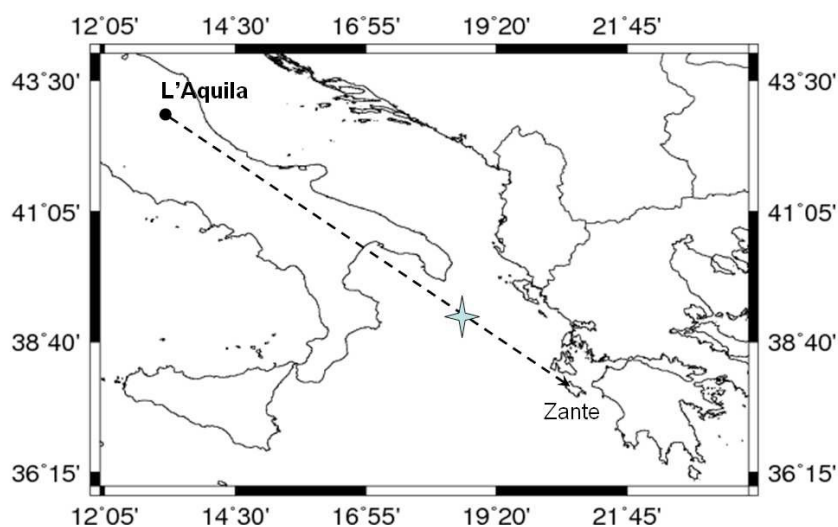


Рис. 9. Геометрия приема дальнего распространения УКВ- сигнала по географическим координатам

На рисунке 10 представлен пример зависимости высоты УКВ излучающих источников [Nikolopoulos et al., 2012] от дальности для 3-х избранных землетрясений по данным нескольких станций сети (Греция).

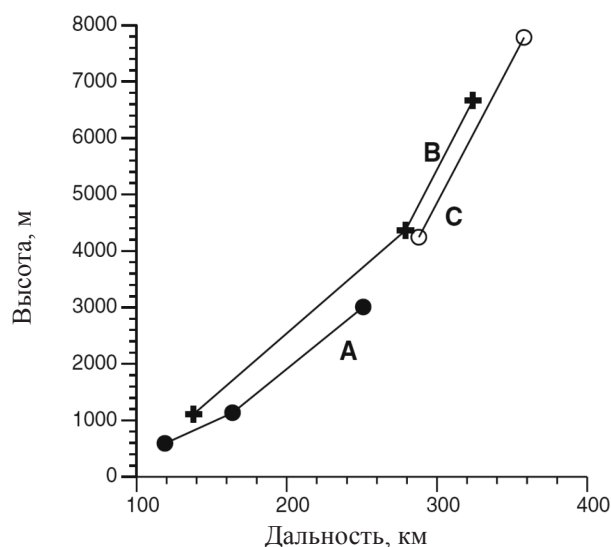


Рис. 10. Зависимость высоты УКВ излучающих источников от дальности для 3-х землетрясений (Греция) [Nikolopoulos et al., 2012]

Из рисунка видно, что для приема УКВ-сигналов на расстояниях 300-400 км (без привлечения эффекта аномалий атмосферной рефракции) высота излучателей может достигать 5-8 км над уровнем моря.

Следствием появления облаков пространственного заряда и их динамики (разрядов в особенности) может быть существенное изменение наших современных представлений о сейсмогенном взаимодействии литосферы с ионосферно-магнитосферной системой. В качестве первого шага в исследовании этих процессов предлагается установить на спутниках устройства для глобального мониторинга сейсмо-

генного УКВ излучения, подобного обнаруженному на сети станций острова Крит. Учитывая, что заряженные области в атмосфере могут лоцироваться со спутников оптическими и радиотехническими средствами, можно рекомендовать проработку таких средств и методик для будущих объектов спутниковой системы.

Так как мониторинг всевозможного сейсмогенного УКВ излучения проводился непрерывно и длительное время, то анализируемый материал получен для всех возможных событий, происшедших почти за трехлетний период наблюдений. Область генерации высокочастотного сейсмо-предвестника (HF radioemissions) находится в атмосфере (над поверхностью моря) на высотах 0,1-10 км. Предложена и обоснована модель генерации высокочастотного предвестника землетрясений, в основе которой лежит предположение об образовании заряженных облаков в атмосфере над зоной подготовки землетрясения и последующих электрических разрядах, служащих (являющихся) источником ЭМИ в УКВ диапазоне.

Размер термической конвективной ячейки определяется в основном градиентом температуры и может варьироваться от сотен метров до десятков километров. Для типичного радиуса конвективной облачности величиной в 1 км и разности температур в $0,5^{\circ}\text{K}$ оценка дает скорость подъема равную 7,5 м/с. Таким образом, при помощи термической конвекции вещество/заряды/кластеры с поверхности моря могут быть доставлены на высоту 2-2,5 км всего за 5 минут.

В нашей модели количество конвективных ячеек генерируемых в атмосфере (и их размер) является случайным процессом. Такие ячейки заполняют площадь подготовки землетрясения хаотически и, в результате, поле конвективных ячеек является проекцией (на поверхность моря) зоны активных процессов в литосфере. В результате конвективного переноса зарядов создаются локальные условия, способствующие генерации грозового электричества, появление и время жизни, а также, горизонтальный масштаб которого определяется процессами как в литосфере так и в атмосфере. Таким образом, появление электрических зарядов у поверхности моря и транспортировка их в дальнейшем по высоте до 10 км в нашей модели происходит за счет энергии, выделяющейся со дна моря в виде газов и тепла.

Выводы

1. Линейные облачные аномалии, длительно существующие над тектоническими разломами, являются следствием деятельности сейсмического процесса в регионе и отражают его динамику. Несмотря на важность задачи детального понимания динамики сейсмического процесса, это явление детально не изучено.

Отслеживание динамики характеристик и параметров аномальных облаков может помочь пониманию хронологической последовательности и пространственно-развития вызывающих их сейсмических процессов.

2. Наблюдение облаков тектонического происхождения необходимо проводить методами спутникового мониторинга и с использованием мобильных метеорологических радиолокаторов, объединенных в гибкую информационную сеть.

Сеть может быть задействована в непрерывном режиме от периода подготовки сейсмического процесса до его релаксации в любом месте Земли. По завершении программы наблюдений радиолокационные станции могут быть мобильно перенацелены для выполнения других задач.

3. При подробном изучении конфигурации и активности облаков данного региона можно обозначить последовательные схемы напряжений коренных пород, по-

явление и развитие подземных разломов, движения магматических пород и другие эффекты сейсмического события.

Применение различных систем дистанционного и прямого наблюдений одного сейсмического события может стать важным явлением в науке о землетрясениях.

Литература

1. Волков А. Землетрясение можно предсказать по облакам. Элементы большой науки. URL: www.inauka.ru (дата обращения: 07.04.2009).
2. Горный В.И., Сальман А.Г., Тронин А.А., Шилин Б.В. Уходящее инфракрасное излучение Земли – индикатор сейсмической активности // ДАН СССР. 1988. Т. 301. № 1. С. 67-69.
3. Добровольский И.П., Теория подготовки тектонического землетрясения // АН СССР. Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. 224 с. 1991.
4. Дода Л., Новикова Н., Пахомов Л., Степанов И. Космический мониторинг предвестников землетрясений // Наука в России. № 6. 2009. С. 30-37.
5. Калинин Н.А. Исследование атмосферы с помощью импульсных метеорологических радиолокаторов / Н.А. Калинин; Пермь: Перм. ун-т, 2000.
6. Липеровский В.А. Физические модели связи в системе литосфера – атмосфера – ионосфера // Лекции Байкальской Школы Фундаментальной Физики. 2006. С. 58-65.
7. Милькис М.Р. Метеорологические предвестники сильных землетрясений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1986. С. 36-47.
8. Морозова Л.И. Спутниковый мониторинг землетрясений. Владивосток: Дальнаука, 2005. 137 с.
9. Морозова Л.И. Землетрясение в Испании 11 мая 2011 г. и спутниковые фотоснимки. URL: <http://www.roscosmos.ru/main.php?random=213877&random=693009&id=2&nid=16992>
10. Уткин В.И., Юрков А.К. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясения // Доклады РАН. 1998. т.358, № 5.
11. Devi M., Barbara A. K., Ruzhin Yu. Ya., Depueva A. H. Beyond the horizon propagation of VHF signals, atmospheric features and earthquake // Электронный научный журнал «Исследовано в России». URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/129e.pdf>. 2007.
12. Devi M., Barbara A. K., Depueva, A. H., Ruzhin, Yu. Ya., Depuev, V., 2010, Anomalous Total Electron Content (TEC) and atmospheric refractivity prior to very strong China earthquake of May 2008, International Journal of Remote Sensing, 31, 3589-3599.
13. Devi M., A. K. Barbara, Ya. Yu. Ruzhin, M. Hayakawa. 2012. Over-the-Horizon Anomalous VHF Propagation and Earthquake Precursors. Surv Geophys DOI 10.1007/s10712-012-9185-z. 2012.
14. Guo G.M. & Wang B., 2008, Cloud anomaly before Iran earthquake, International Journal of Remote Sensing, V29.7, pp.1921-1928.
15. Guo G.M. & Wang B., 2008, Cloud anomaly before Iran earthquake, International Journal of Remote Sensing, V29.7, pp.1921-1928.
16. Koulouras G., G. Balasis, I. Kiourktsidis, E. Nannos, K. Kontakos, J. Stonham, Y. Ruzhin, K. Eftaxias, D. Kavouras, C. Nomikos, Discrimination between pre-seismic electromagnetic anomalies and solar activity effects, Physica Scripta 79 (2009) 45901/1-12.

17. Nikolopoulos, D., Petraki, E., Marousaki, A., Potirakis, S. M., Koulouras, G., Nomicos, C., Panagiotaras, D., Stonham, J., Louizi, A., 2012. Environmental monitoring of radon in soil during a very seismically active period occurred in South West Greece. *J. Environ. Monit.* 14, 564-578.

18. Pulinets S.A., Ouzounov D., Karelin A.V., Boyarchuk K.A., Pokhmelnykh L.A. The physical nature of the thermal anomalies observed before strong earthquakes, *Physics and Chemistry of the Earth*. – 2006. – №31. – P.143-153.

19. Ruzhin Y., Nomicos C., and Valianatos F. 2000. High frequency seismoprecursor emissions. In: *Proceed. 15th Wroclaw EMC Symposium*. 512-516.

20. Ruzhin Yu., Nomicos C. Radio VHF precursors of earthquakes. 2007. *Natural Hazards*. V. 40. 573-583. DOI 10.1007/s11069-006-9021-1.

21. Sorokin V.M., Yu. Ya. Ruzhin, V.D. Kuznetsov, A.K. Yaschenko. Generation of VHF radio emissions by electric discharges in the lower atmosphere over a seismic region. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 73 (2011), N5–6, 664-670.

22. Voinov V.V., Gufeld I.L., Kruglikov V.V. et al., Effects in the ionosphere and atmosphere before the Spitack earthquake, *News of USSR Academy, Fizika Zemli* (in Russian), No.3, pp.96-101, 1992.

ABOUT CAPABILITIES OF NETWORKS OF COMPACT WEATHER RADARS FOR WEATHER ANOMALIES MONITORING – PRECURSORS OF SEISMIC EVENTS

**N. A. Berezinskiy¹, I. N. Berezinskiy², A. V. Kapitannikov¹, M. Pashkevich¹,
A. N. Repin³, Yu. Ya. Ruzhin⁴, L. N. Trefilova⁴, A. V. Shapovalov²**

¹ Alpine Research and Testing Center of aircraft and weapons, Nalchik, Russia

² Mountain Geophysical Institute, Russia,

³ LLC «Contour-NIIRS», St. Petersburg, Russia

⁴ Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russia,

Possibility of obtaining objective information based on a multi-parameter small weather radar network established for continuous observations of atmospheric formations – indicators of earthquake preparation is discussed in the paper. As a result new information, necessary for better understanding of the processes taking place under the ground and to identify opportunities to improve the forecast of real seismic events.

Keywords: atmospheric anomalies, earthquakes, precursors