

В.К. САРЬЯН, А.А. ЛЮБУШИН, А.П. НАЗАРЕНКО, Ю.Н. ЗАРЯНОВ

## Перспективы снижения потерь от чрезвычайных ситуаций природного происхождения

*Проблема снижения человеческих и материальных потерь от возникновения глобальных чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного происхождения актуальна как для развитых, так и для развивающихся стран. Но если высокоразвитые страны в силу экономической мощи могут быстрее восстановить материальные потери, то для некоторых регионов РФ большие потери от ЧС могут оказаться чувствительными. В статье рассмотрены трудности и предложены пути решения этой проблемы за счет комплексного использования разработанных в РФ систем долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозов и достижений в области инфокоммуникационных технологий. Предлагается в каждом регионе или его части, где прогнозируется ЧС, организовать доступ к массовой индивидуализированной услуге управления спасением (ИУСА) для каждого человека – абонента современных сетей связи, реализованной с использованием технологии интернета вещей (IoT) и системы дистанционного мониторинга – комплекса зондирования ионосферы «Радуга-М». Организация такой системы спасения повысит хозяйственную значимость получаемых сегодня результатов долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов ЧС, так как заметно уменьшит возможные экономические потери от недостоверных долгосрочных и среднесрочных прогнозов.*

*Ключевые слова:* чрезвычайные ситуации (ЧС) природного происхождения, катастрофическая фаза ЧС, система гибридного мониторинга ЧС, параметры ионосферы, индивидуализированное управление спасением человека-абонента, сигналы – предвестники ЧС.

**Prospects for reducing losses from natural emergencies.** V.K. SARIAN<sup>1</sup>, A.A. LYUBUSHIN<sup>2</sup>, A.P. NAZARENKO<sup>3</sup>, Yu.N. ZARYANOV<sup>4</sup> (<sup>1</sup>Radio Research and Development Institute, Moscow, <sup>2</sup>The O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, <sup>3</sup>Research and Technology Centre of the Radio Research and Development Institute, Moscow, <sup>4</sup>NIIR-Svyaz, LLC, Moscow).

*The problem of reduction in human and material losses from global emergencies of natural origin is relevant for both developed and developing countries. But if highly developed countries due to economic power can recover material losses faster, for some regions of the Russian Federation large losses from emergencies may be sensitive. The article discusses the difficulties and proposed ways of solving this problem in the form of a comprehensive use of a long-term, medium-term and short-term forecasts and achievements of ICT developed in the Russian Federation. To do this, it is proposed in each specific region or its part where the occurrence of an emergency is predicted to organize an access to an individualized rescue management system for each person – a subscriber of modern communication networks (IUSA), implemented using the Internet of Things (IoT) technology and a remote monitoring system - ionospheric sounding complex «Rainbow-M». Organization of this rescue system not only reduces losses, but also increases the economic significance of the long-term, medium-term and short-term emergency forecasts obtained today, since the effectiveness of losses from unreliable long-term and medium-term forecasts is significantly reduced.*

---

\*САРЬЯН Вильям Карпович – доктор технических наук, академик НАН РА, профессор (Московский физико-технический институт, Москва; Московский технический университет связи и информатики, Москва), научный консультант (Научно-исследовательский институт радио, Москва), ЛЮБУШИН Алексей Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва), НАЗАРЕНКО Анатолий Петрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель заведующего базовой кафедры (Московский физико-технический институт, Москва), директор (Научно-технический центр Научно-исследовательского института радио, Москва), ЗАРЯНОВ Юрий Николаевич – директор (ООО «НИИР-Связь», Москва). \*E-mail: sarian@niir.ru

*Key words: emergencies of natural origin, catastrophic phase of emergencies, hybrid monitoring system of emergencies, ionosphere parameters, individualized management of rescue of a person – a subscriber, warning signals – emergency precursors.*

## **Введение**

Проблема снижения человеческих и материальных потерь от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера для стран АТЭС, в число которых входит и РФ, особенно актуальна в силу их географического расположения по берегам Тихого Океана – активного сейсмического региона нашей планеты. Экономические потери, которые ежегодно несут страны региона от ЧС (прежде всего землетрясений и наводнений), одинаково велики как для развитых, так и для развивающихся государств, с той, правда, существенной разницей, что развитые страны, обладая экономической мощью, могут быстрее восстановить материальные потери. Для многих стран АТЭС не являются критическими и человеческие потери по причине благоприятной демографической ситуации. Для регионов же Дальнего Востока РФ из-за географической удаленности от развитых западных территорий России, сравнительно низких экономических показателей и малой заселенности потери от ЧС могут оказаться чрезвычайно чувствительными. Эта проблема настолько актуальна, что является предметом постоянного внимания политического руководства и научного сообщества РФ.

На специальном совместном заседании МЧС и Президиума РАН 2 февраля 2005 г., в котором принял участие Президент РФ В.В. Путин ([www.kremlin.ru/events/president/news/32696](http://www.kremlin.ru/events/president/news/32696) (дата обращения: 28.04.2020)), прозвучало три важных тезиса:

1) «Трагические последствия цунами в Юго-Восточной Азии в 2005 г. заставляют задуматься, как организовать работу по предотвращению подобных катастроф в России»;

2) «Произошедшее показало, что России, четверть территории которой с населением в 20 миллионов человек относится к сейсмоопасным районам, необходима действенная система предупреждения о стихийных бедствиях»;

3) «Хотя система мониторинга и предупреждения о стихийных бедствиях функционирует, накоплена большая база данных, специалисты работают, однако очевидно, что все эти элементы нуждаются в укреплении, большей слаженности и лучшем оснащении».

По результатам этого совещания Президент РФ поручил правительству скорректировать планы по модернизации отечественной системы предупреждения о стихийных бедствиях.

Через 14 лет, в сентябре 2019 г. в рамках Восточного экономического форума во Владивостоке Президент РАН академик А.М. Сергеев после ознакомления с работой институтов Дальневосточного отделения РАН и подразделений МЧС, а также с существующими системами мониторинга и оповещения о природных ЧС в интервью журналистам заявил, что на форуме с властями Сахалинской области обсуждались конкретные планы создания системы диагностики появления цунами и снежных лавин ([www.academia.interfax.ru/ru/interview/articles/3306](http://www.academia.interfax.ru/ru/interview/articles/3306) (дата обращения: 28.04.2020)). Он отметил необходимость создания систем моделирования катастрофических явлений и средств раннего оповещения о таких явлениях, подчеркнув, что ученые-вулканологи и те, кто изучает морское и океаническое дно, уже работают над созданием такой системы.

Может создаться впечатление, что ученые РАН и специалисты МЧС РФ ничего не делают для снижения потерь от ЧС. Однако это далеко не так. В подтверждение этого можно сослаться на результаты оригинальных научных исследований, проведенных институтами ДВО РАН в последние годы [3, 4, 11, 13]. Вместе с тем своевременное обнаружение очагов будущих землетрясений – задача очень трудная и нелокальная в силу миграции этих очагов.

Каждый год ЧС, особенно вызванные глобальными процессами природного происхождения, становятся причиной непомерно больших материальных и людских потерь

в разных частях Земли. Надо отметить, что природные ЧС часто сопровождаются техногенными ЧС, особенно в крупных городах. Поэтому международное сообщество и страны Азиатско-Тихоокеанского экономического содружества в частности, в том числе Российская Федерация, большое внимание уделяют разработке и эксплуатации систем долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогноза глобальных процессов, систем оповещения населения о ЧС и ликвидации последствий, основанных на инфокоммуникационных технологиях [3, 8, 10–14]. Однако предпринимаемые меры пока не могут повысить предсказательный потенциал долгосрочного и среднесрочного прогнозов существующих систем до необходимого уровня, а более достоверный краткосрочный прогноз, связанный в основном с фиксацией датчиками сигналов – предвестников ЧС, возможен только за очень короткий срок до наступления катастрофической фазы. Это обстоятельство делает все усилия государств по развитию средств мониторинга и предупреждения о возникновении ЧС малоэффективными. Оказавшиеся в зоне ЧС граждане, даже предупрежденные о ЧС по существующей вещательной сети, сразу забывают все инструкции и за очень короткое время между сигналом оповещения о ЧС и наступлением его катастрофической фазы не успевают спастись. И каждая очередная ЧС становится катастрофическим сюрпризом как для администрации, так и для всего населения региона, где случилась ЧС.

Решение жизненно важной проблемы снижения потерь от ЧС в конкретном сейсмически опасном регионе было найдено в РФ учеными и специалистами предприятий, которые представляют в том числе авторы настоящей статьи. Для успешного исполнения этого решения необходимо реализовать следующие подготовительные этапы:

1) развернуть в регионе систему индивидуализированного управления спасением абонентов (ИУСА) и обеспечить доступ к ней любому абоненту современных сетей связи при возникновении ЧС природного или техногенного происхождения;

2) создать гибридную систему краткосрочного прогноза глобальных ЧС с повышенным предсказательным потенциалом;

3) развернуть в регионе модернизированную ионосферную станцию «Радуга-М», которая может непрерывно в реальном времени фиксировать сигналы – предвестники землетрясений, определять их координаты на расстоянии 3 тыс. км от побережья и передавать их в центр. Станция в данном случае является элементом гибридной системы краткосрочного прогноза, что имеет особое значение для ЧС, вызванных цунами;

4) обеспечить взаимодействие между организациями РАН, осуществляющими долгосрочный и среднесрочный прогноз, и операторами системы ИУСА в том или ином регионе. Цель этого взаимодействия – адаптация технологий, обеспечивающих своевременное предупреждение оператора ИУСА о повышении сейсмической опасности для региона и необходимости актуализации ИУСА для всех абонентов;

5) наладить взаимодействие со структурами МЧС в регионе на всех этапах создания и функционирования системы ИУСА;

6) создать регуляторную базу функционирования создаваемой системы.

Далее мы покажем, что уверенность в реализуемости перечисленных выше этапов основана на разработанных в РФ исследованиях, технологиях и аппаратуре.

### **Сценарий и бизнес-модель системы ИУСА**

Система ИУСА подробно описана в литературе [15, 16, 19–21], поэтому здесь основное внимание уделено описанию сценария и бизнес-модели ИУСА.

Чтобы описать сценарий и бизнес-модель услуги в рамках системы ИУСА, рассмотрим временные этапы развития ЧС: 1) время до возникновения ЧС, включая момент предсказания места и времени ЧС, 2) время ЧС, включая ее катастрофическую фазу ( $T_k$ ), 3) время ликвидации последствий ЧС.

Предоставляемые сегодня услуги по спасению людей (например, услуга по оповещению о ЧС) практически не обеспечивают спасения во время протекания ЧС, хотя наибольшие людские потери происходят именно в этот период.

Вначале систему ИУСА с использованием технологии интернета вещей (IoT) удалось создать для ЧС, у которых период между началом ЧС и  $T_k$  составляет не менее 10 мин. Это могут быть ЧС техногенного характера (пожар, утечка вредных веществ и др.), возникающие в каком-то объекте, отдельном здании или городе в целом, либо природного (цунами, наводнения), которые зарождаются вдалеке от населенных пунктов и с предсказуемой скоростью движутся к ним [15, 16].

В отличие от существующих сценариев предлагаемой услуги обеспечивает динамическое в реальном масштабе времени персонализированное управление эвакуацией людей непосредственно во время ЧС до наступления  $T_k$ . На абонентском устройстве пользователя указывается безопасный маршрут для определенного вида ЧС с учетом текущего местоположения абонента, что значительно повышает эффективность предупреждения о ЧС в условиях дефицита времени. Вот почему система ИУСА признана Международным союзом электросвязи как вид персонализированной услуги по управлению поведением абонента (его самоэвакуацией в безопасную зону) во время возникновения ЧС [21].

Таким образом, подключение к данной услуге может обеспечить пользователям управление их самостоятельным выходом из опасной зоны ЧС до наступления  $T_k$ . В период между началом ЧС и моментом наступления катастрофической фазы, если он составляет 10 мин, можно вывести из опасной зоны до 90 % людей. Естественно, что при  $T_k > 10$  мин можно достичь лучших результатов.

Но система ИУСА бессильна в ситуациях, когда время между началом ЧС и катастрофической фазой приближается к нулю. А именно это характерно для таких разрушительных катастроф, как землетрясения, которые приносят наибольшие людские и материальные потери. Для того чтобы расширить возможности применения ИУСА при возникновении ЧС такого типа, необходимо повысить краткосрочный предсказательный потенциал существующих систем мониторинга землетрясений хотя бы до значений эффективного действия ИУСА. Это, в свою очередь, связано с поиском и фиксацией сигналов – предвестников ЧС с  $T_k \approx 0$ . Используемые сегодня в системах мониторинга сейсмические датчики малочувствительны к сигналам – предвестникам землетрясений: в существующих датчиках они теряются на фоне шумов. Поэтому разрабатываются различные математические методы для выявления на фоне шумов сигналов – предвестников землетрясений. Значительная часть этих методов основана на каноническом анализе когерентностей многомерных спектральных матриц и корреляций коэффициентов вейвлет-разложений сигналов как в скользящих временных окнах, так и по всей выборке [1, 5–9, 18]. Цель данных методов – выделить очень слабые нестационарные сигналы общего происхождения, имеющие как гармоническое поведение, так и резко всплесковый характер, в многомерных временных рядах мониторинга с определением их характерных периодов (временных масштабов). Главным результатом применения предлагаемой методики стала разработка нового метода синхронизации оценки сейсмической опасности.

Анализ мультифрактальных свойств низкочастотного сейсмического шума и свойств их когерентности позволил дать заблаговременный прогноз мегаземлетрясения, произошедшего в Японии 11 марта 2011 г.,  $M = 9$ . Этот прогноз описан в серии статей и выступлениях на российских и международных конференциях в 2008–2010 гг., полный список которых приведен в работах [6, 7, 17].

Развивая теорию синхронизации как эффективного способа выявления сигналов – предвестников землетрясений, А.А. Любушин предположил, что эффект синхронизации будет особенно действенным, если сигналы, получаемые от основных сейсмических датчиков, будут складываться в реальном масштабе времени с сигналами датчиков другой физической природы, расположенных поблизости от сейсмических датчиков. Идея использования датчиков разной физической природы базируется на двух положениях:

1) альтернативные дополнительные датчики могут обладать большей чувствительностью, чем сейсмические датчики, 2) сигналы – предвестники ЧС являются общим для них модулирующим сигналом.

В качестве таких датчиков В.К. Сарьян и А.П. Назаренко предложили использовать датчики на основе интернета вещей [19]. В соответствии с определением IoT, это могут быть любые живые (включая человека) и косные объекты природы, которые могут оказаться очень чувствительными к определенным типам сигналов – предвестников ЧС. Наилучший эффект обеспечивается при использовании в дополнение к существующим датчикам объединенного датчика IoT, т.е. панели, состоящей из датчиков разного типа, из которых при реальных обстоятельствах одни могут оказаться более чувствительными к сигналам-предвестникам, чем другие. На рис. 1 приведена блок-схема предложенной В.К. Сарьяном и А.П. Назаренко гибридной сети мониторинга землетрясений [10].

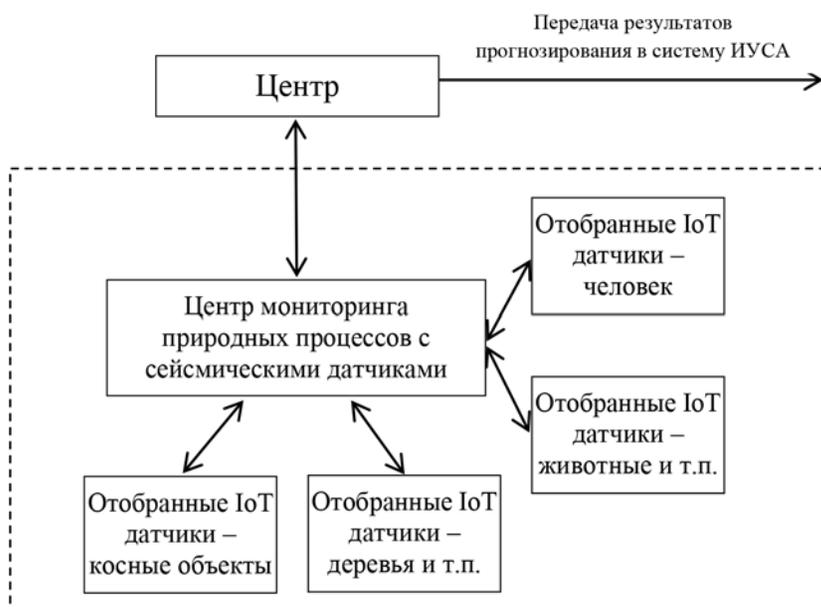


Рис. 1. Блок-схема гибридной сети мониторинга землетрясений

Сигналы – предвестники землетрясений модулируют синхронно периодические жизненные (естественные) процессы, которые протекают в датчиках IoT, входящих в панель. Сложение этих сигналов с сигналами сейсмодатчиков дает эффект синхронизации и позволяет уже на ранних этапах выявить наличие сигналов – предвестников землетрясений и их мощность, что позволит определить с достаточной точностью (от 2 ч до 10 мин) не только время наступления землетрясения, но и его силу и место эпицентра.

В случае, когда  $T_k \approx 0$ , сценарий предоставления услуг ИУСА, описанный для ситуаций  $T_k \geq 10$  мин, дополняется следующими действиями:

- в аналитическом центре гибридной мониторинговой сети в результате обработки данных формируется информация о времени, силе и эпицентре землетрясений;
- эта информация по каналам связи, в том числе сотовой, в реальном времени передается на входы сенсорных объектовых сетей системы ИУСА [19];
- далее через датчики IoT информация поступает на терминалы абонентов, которые находятся в зоне землетрясения, и автоматически в абонентском устройстве пользователя вырабатываются индивидуальные управляющие сигналы: как лучше поступить в сложившейся ситуации, чтобы своевременно выйти из опасной зоны.

Таким образом, сценарий действия ИУСА для пользователя, который через короткое время может оказаться в зоне ЧС, действует даже при  $T_k \approx 0$ , т.е. при землетрясениях.

Проблему повышения эффективности краткосрочного предсказательного потенциала существующих систем мониторинга для техногенных и природных ЧС предлагается решить за счет широкого использования природных косных, живых (включая человека) и других объектов окружающей среды, трансформируемых в интернет вещей для фиксации сигналов наступившей или ожидаемой ЧС. Если в потенциально сейсмоактивном регионе ведется непрерывный мониторинг с помощью гибридной сети, которая фиксирует повышенную вероятность возникновения ЧС (с  $T_k \approx 0$ ), то немедленно актуализировав развернутую в данном регионе систему ИУСА, можно избежать ощутимых потерь. Необходимо отметить, что эти технологии чисто российские и их приоритет зафиксирован и принят мировым сообществом [19, 21].

Предлагаемое решение позволит перевести в практическую плоскость получаемые сегодня результаты долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов, заметно снизив возможные экономические потери от недостоверных долгосрочных и среднесрочных прогнозов.

### **Описание системы дистанционного мониторинга для раннего обнаружения возникновения цунами**

Среди мощных глобальных природных ЧС цунами для Дальневосточного региона РФ занимает особое место ввиду частоты их появления, разрушительных последствий и, как было отмечено выше, неэффективности существующих систем мониторинга и средств оповещения.

В случае с цунами систему гибридного мониторинга предлагается дополнить оборудованием для раннего обнаружения возникновения цунами, разработанным в РФ и производимым на заказ ООО «НИИР-Связь» (Ю.Н. Зарянов).

В состав комплекса вертикального зондирования ионосферы «Радуга-М» входят:

- 8-элементная приемная АФС;
- 8-элементная передающая АФС;
- 16-канальный радиопередающий тракт;
- 16-канальный радиоприемный тракт;
- система временной синхронизации;
- программа для решения задач обнаружения и обработки зондирующих сигналов;
- рабочее место оператора мониторинга ионосферных данных;
- источник бесперебойного питания.

В режиме вертикального зондирования (рис. 2) комплекс осуществляет:

- поиск и обеспечение работы ионозонда с минимальным уровнем помех в заданных частотных поддиапазонах;
- программное управление и формирование зондирующих сигналов с требуемой поляризацией и модуляцией;
- обработку зондирующих сигналов в автоматическом режиме;
- измерение зависимости действующей высоты отраженных ионосферой сигналов от частоты (получение ионограмм вертикального зондирования);
- выделение и классификацию высотно-частотных характеристик ионосферы;
- автоматическое построение профиля электронной концентрации и определение его параметров: высот и критических частот слоев  $E_r$ ,  $E_s$ ,  $F1$ ,  $F2$ ;
- измерение амплитудно-дальностных характеристик сигналов, отраженных от ионосферы;
- измерение доплеровских и фазовых характеристик отраженных сигналов.

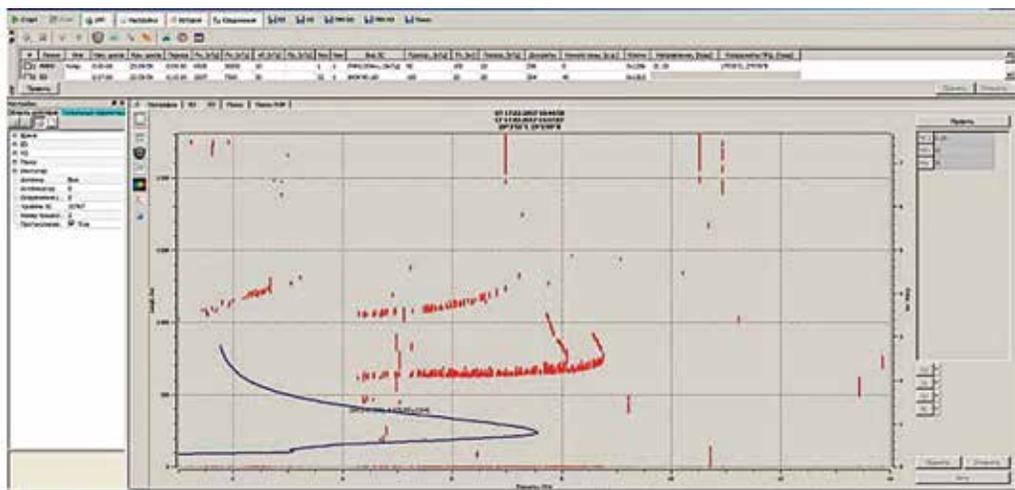


Рис. 2. Режим вертикального зондирования

Работа комплекса в режиме наклонного зондирования (рис. 3) обеспечивает:

- прием и обработку зондирующих сигналов от выносного передающего модуля наклонного зондирования ионосферы в автоматическом режиме в диапазоне частот 1,5–30 МГц;
- измерение зависимости прохождения отраженных ионосферой сигналов от частоты (построение ионограмм наклонного зондирования);
- автоматическое построение профиля электронной концентрации;
- измерение амплитудно-дальностных характеристик сигналов, отраженных от ионосферы;
- измерение углов прихода отраженных ионосферой сигналов;
- измерение доплеровских и фазовых характеристик отраженных сигналов;
- организацию базы данных ионосферных измерений;
- возможность работы комплекса по реперным источникам радиоизлучений с целью коррекции комплексной ионосферной информации, применяемой для расчета дистанций и географических координат источников радиоизлучения.

Режим радиотомографии ионосферы на основе обработки сигналов навигационных спутниковых систем GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия) обеспечивает:

- прием и обнаружение сигналов от спутников радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS в двух диапазонах частот L1 и L2;
- обработку бинарной информации и получение результатов измерений в стандартной форме, регламентируемой протоколом RINEX;
- построение высотного профиля электронной концентрации ионосферы в подионосферных точках на дальности до 1000 км от точки наблюдения;
- возможность получения от 120 до 200 профилей высотного распределения электронной концентрации за 15 мин работы на дальности до 1000 км от точки наблюдения;
- возможность расчета максимально применимой частоты для слоя F2;
- оценку интенсивности неоднородности ионосферы;
- определение полосы когерентности трансionoсферного канала связи;
- определение распределения ионосферных индексов солнечной активности в локальном регионе;
- вычисление трасс распространения КВ-сигналов;
- отслеживание динамики проявления и отображение данных спутниковой группировки навигационных систем ГЛОНАСС/GPS, в том числе на картографическом фоне;
- вспомогательную обработку данных (сведение шкал времени и системы координат).

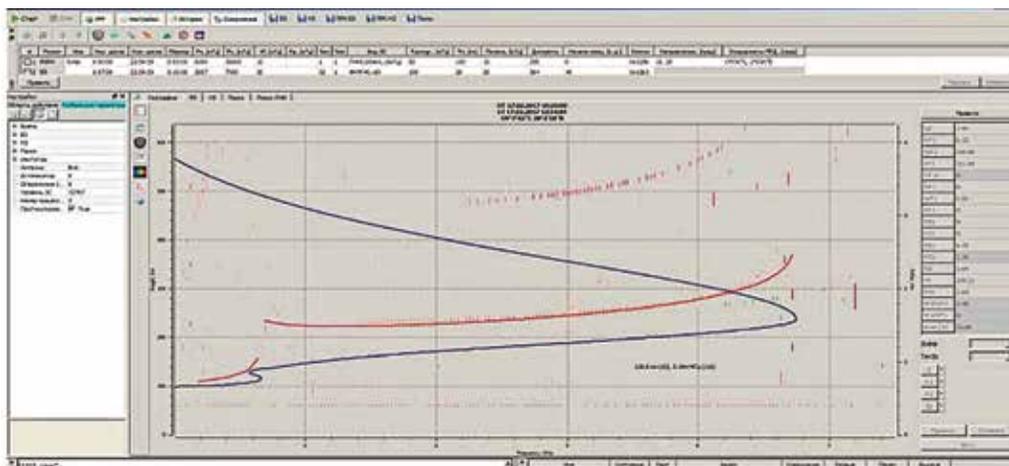


Рис. 3. Режим наклонного зондирования

Комплекс зондирования ионосферы «Радуга-М» в настоящее время является уникальным и одним из лучших в мире среди подобного оборудования. Это подтверждается сравнением характеристик российского и зарубежного оборудования [19] (см. таблицу).

#### Сравнение технических характеристик ионозондов

Характеристики	DPS-4 (США)	IPS-71 (Австралия)	Диназонд-21 (США)	Радуга-М (Россия)
Диапазон частот, МГц	1–30 ВЗ	1–20 ВЗ, 1–62 НЗ	0,1–30	1,5–30 ВЗ, НЗ
Импульсная мощность, Вт	2 × 150	50	4000	1000
Длительность излучаемого сигнала, мкс	533,33	Непрерывный ЛЧМ	100	10–500, Непрерывный ЛЧМ
Частоты повторения, Гц	50, 100	Девияция 100–500 кГц/с	50, 100	50–100

Уникальность российского оборудования заключается также в высокой разрешающей способности, которая позволяет фиксировать сигналы – предвестники землетрясений при их начальном возникновении в ионосфере.

Разрешающая способность оборудования достигает в ионосфере 50 м и позволяет наблюдать непрерывно за динамикой изменения полного электронного содержания в различных слоях ионосферы.

Необходимо отметить, что оборудование «Радуга-М» обладает также возможностью фиксировать предвестники землетрясений над океаном благодаря функции наклонного зондирования ионосферы. Для этого оборудование располагается через интервалы до 3000 км (например, на островах).

Оборудование ионосферной станции «Радуга-М» имеет свою систему коротковолновой связи, которая позволяет станциям работать в автоматическом режиме и передавать информацию о состоянии ионосферы на головную станцию и в интернет.

В системе «Радуга-М» предвестники землетрясения определяются на основе математической обработки сигнала резкого увеличения полной электронной концентрации (ТЕС) в слоях E<sub>g</sub>, E<sub>s</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> и затем резкого уменьшения ТЕС непосредственно перед землетрясением. Это позволяет с высокой вероятностью определять время, место и мощность сейсмического события.

Ионосферная станция в реальном масштабе времени может проводить дистанционный мониторинг параметров ионосферы акватории Тихого океана в радиусе до 3000 км

и фиксировать координаты поверхности океана, над которыми проводимость ионосферы резко повышается. Как показали исследования, такие явления могут быть предвестниками цунами. При совместной обработке методом синхронизации этих сигналов с сигналами других датчиков в гибридной системе мониторинга, развернутой на территории региона, можно обнаружить возникновение цунами и передать данные в региональный ситуационный центр, который автоматически сформирует задание для системы ИУСА в регионе и приведет в действие эту систему. Поэтому даже десяти минут хватит, чтобы с помощью индивидуализированного управления самоэвакуацией спасти значительное число людей, находящихся в зоне прогнозируемого затопления.

### **О создании опытного участка гибридной системы в ДВО РАН**

Эффективность предлагаемых решений необходимо проверить испытаниями на опытных участках в сейсмически активных регионах, где развернуты мониторинговые системы и имеются квалифицированные научные кадры. Такой опытный участок в 2019 г. был развернут на Северном Кавказе и уже проведены первые испытания. Опытный участок создан совместно с ГЕОХИ РАН на геологической базе МГУ им. М.В. Ломоносова в пос. Нижний Унал в Северной Осетии [2]. Результаты первого этапа экспериментов на этом участке опубликованы в работе [20]. В качестве дополнительных датчиков в системах глобального мониторинга землетрясений нами было предложено использовать датчики, основанные на технологии интернета вещей, в которую можно трансформировать все косные и живые объекты среды, окружающей существующую станцию. Важно, что в каждом регионе должны быть выбраны косные и живые объекты, характерные для данного региона и наиболее чувствительные к ранним стадиям возникновения типичных для региона видов ЧС. Так, на полигоне на Северном Кавказе в первых сериях измерений использовали следующие дополнительные датчики: портативную систему мониторинга почвы Stevens Hydra Probe Field, датчик углекислого газа Vaisala GMT220, индикатор радона RADEX MR107, анализатор ртути УКР-1МЦ, портативный газоанализатор для мониторинга паров ртути в воздухе и других газах, датчик для определения окислительно-восстановительного потенциала Redox S406 DG, цифровой оптический датчик кислорода S423/C/OPT. Показания этих датчиков методом корреляции обрабатывались в реальном времени совместно с сигналами ближайших сейсмических станций и сигналами от комплекса зондирования ионосферы «Радуга-М».

Опытный участок предполагалось создать и на территории Республики Армения. Авторы предлагают также организовать опытный участок гибридной сети в Дальневосточном регионе – на Камчатке. Сигналы с измерительного пункта гибридной сети с использованием разных датчиков на базе интернета вещей в реальном времени должны поступать на одну из существующих в регионе сейсмостанций.

Развернуть сеть предоставления услуг системы ИУСА сравнительно несложно в рамках реализации программ развития в регионе системы широкополосного беспроводного доступа к сетям связи и реализации планов создания умных городов. Система ИУСА должна быть интегрирована в национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации» – платформу, на базе которой создается новая модель взаимодействия между бизнесом, властью, экспертным и научными сообществами для повышения конкурентоспособности России на глобальном уровне.

Создание опытного участка системы ИУСА на Камчатке и его успешное функционирование позволит поставить задачу внедрения системы в рамках всего Дальневосточного региона.

Внедрение предлагаемой системы решит несколько очень важных для региона задач: – заметно снизит риски человеческих и материальных потерь от глобальных ЧС и повысит рентабельность освоения природных ресурсов региона;

– придаст практическую значимость получаемых сегодня долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов ЧС, заметно снизив возможные экономические потери от недостоверных прогнозов. Это, в свою очередь, послужит обоснованием для выделения на развитие системы ИУСА не только бюджетных средств, но и средств бизнеса;

– позволит разработать уникальную, полностью российскую систему, востребованную внутри страны и имеющую большой экспортный потенциал.

## Заключение

В качестве дополнительных датчиков в системах глобального мониторинга землетрясений нами предложено использовать датчики, основанные на технологии интернета вещей, в которые можно трансформировать все косные и живые объекты среды вблизи расположения сейсмической станции. В каждом отдельном регионе должны быть выбраны косные и живые объекты, характерные для данного региона и чувствительные к ранним стадиям возникновения типичных для региона видов ЧС.

Предлагаемая глобальная гибридная мониторинговая система благодаря совместной обработке сигналов, получаемых с датчиков разной физической природы, и сигналов с существующих сейсмических станций позволяет обеспечить более оперативное выявление наступающего землетрясения. При возникновении ЧС, предсказанной даже за малое время до начала катастрофической фазы, актуализация системы ИУСА поможет обеспечить эвакуацию людей в безопасное место, что заметно снизит человеческие потери от землетрясений.

Краткосрочные прогнозы, как правило, имеют высокую достоверность. Но даже в случае неверного прогноза заметных потерь для хозяйственной деятельности может не быть ввиду краткосрочности мероприятий по предотвращению потерь. В то же время относительно низкий на сегодняшний день предсказательный потенциал среднесрочных и долгосрочных прогнозов, несмотря на достаточное время до возникновения ЧС, не позволяет перевести хозяйственную инфраструктуру в режим ЧС (остановить производства, эвакуировать население) и вернуть ее в обычный режим работы в случае отбоя, так как это повлечет за собой огромные моральные и экономические потери. Поэтому все среднесрочные и долгосрочные прогнозы ученых сегодня практически во всех странах игнорируются. В предлагаемом нами решении проводимые исследования по долгосрочному и среднесрочному прогнозам приобретают хозяйственное значение.

На взгляд авторов, внедрение в сейсмоопасных регионах решений, предложенных в статье, и разработанных учеными ДВО РАН (так как именно учет региональных особенностей имеет ключевое значение) предложений по системам долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогнозов [3, 4, 10, 11, 13 и др.], а также обеспечение в регионе (в первую очередь в городах) доступа массового пользователя к услуге системы индивидуализированного управления спасением людей (ИУСА) могут заметно снизить риск человеческих и материальных потерь от ЧС и повысить экономическую значимость проводимых здесь геофизических исследований.

Создаваемая система должна рассматриваться как одна из важных платформ реализуемой до 2024 г. национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», на базе которой будет формироваться новая модель взаимодействия между экспертным и научным сообществами, бизнесом и властью для повышения конкурентоспособности России на глобальном уровне

## ЛИТЕРАТУРА

1. Водянова А., Марапулец Ю. О логнормальном законе распределения частот в импульсах высокочастотной геоакустической эмиссии // Вестн. КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2016. Т. 12, № 1. С. 48–54.

2. Ермаков В.В., Сарьян В.К. Развитие исследований по применению новых информационных технологий в экологическом мониторинге и биогеохимии // Докл. ТУСУР. 2018. Т. 21, № 3. С. 129–134.
3. Закупин А.С., Богомолов Л.М., Богинская Н.В. Применение методов анализа сейсмических последовательностей LURR и СРП для прогноза землетрясений на Сахалине // Геофиз. процессы и биосфера. 2020. № 19 (1). С. 66–78.
4. Закупин А.С., Левин Ю.Н., Богинская Н.В., Жердева О.А. Развитие методов среднесрочного прогноза на примере Онорского землетрясения на Сахалине ( $M_w = 5.8$ , 14 августа 2016 года) // Геология и геофизика. 2018. № 11. С. 1904–1911.
5. Кузнецов В.В. Физика землетрясения и сопутствующих ему явлений в литосфере, атмосфере, ионосфере и магнитосфере / Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. – [www.vvkuz.ru/books/phys.eart.pdf](http://www.vvkuz.ru/books/phys.eart.pdf) (дата обращения: 28.04.2020).
6. Любушин А.А. Анализ микросейсмического шума дал возможность оценить магнитуду, время и место сейсмической катастрофы в Японии 11 марта 2011 г. // Наука и технол. разработки. 2011. № 1. С. 3–12.
7. Любушин А.А. Сейсмическая катастрофа в Японии 11 марта 2011 года. Долгосрочный прогноз по низко-частотным микросейсмам // Геофиз. процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 1. С. 9–35. – Перевод: Lyubushin A.A. Seismic Catastrophe in Japan on March 11, 2011: Long-term prediction on the basis of low-frequency microseisms // Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics. 2011. Vol. 47, N 8. P. 904–921. – [www.link.springer.com/article/10.1134/4%2FS0001433811080056](http://www.link.springer.com/article/10.1134/4%2FS0001433811080056).
8. Марапулец Ю.В., Тристанов А.Б. Разреженная аппроксимация акустических временных рядов с использованием частотно-временного словаря Берлаге // Тр. Рос. науч.-техн. об-ва радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова: Цифровая обработка сигналов и ее применение. 2012. Вып. 14, № 1. С. 91–94.
9. Новоселов О.Н. Новые методы идентификации и анализа состояния природных объектов по данным мониторинга / Мос. гос. ун-т леса. М., 2008. – [www.d33.infospace.ru/d33\\_conf/2008\\_conf\\_pdf/SMY/Novoselov.pdf](http://www.d33.infospace.ru/d33_conf/2008_conf_pdf/SMY/Novoselov.pdf) (дата обращения: 28.04.2020).
10. Полец А.Ю. Глубокофокусные землетрясения и тектоническое поле современных напряжений в Курило-Охотском регионе // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 1 (191). С. 26–37.
11. Рыбин А.В., Чибисова М.В., Дегтерев А.В., Гурьянов В.Б. Вулканическая активность на Курильских островах в XXI веке // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 1 (191). С. 51–61.
12. Сердюков А.С., Татаурова А.А., Кулаков И.Ю. и др., Исследование глубинного строения южной части Сахалина методом сейсмографии // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 1 (191). С. 43–50.
13. Тихонов И.Н., Закупин А.С. Ретроспективная оценка применимости двухэтапной схемы краткосрочного прогнозирования землетрясений ( $M \geq 5$ ) Южного Сахалина по данным детального каталога // Вестн. ДВО РАН. 2016. № 1 (185). С. 58–66.
14. Требования к сейсмическим сетям и станциям, интегрируемым в Федеральную сеть сейсмологических наблюдений / Фед. исслед. центр «Единая геофиз. служба РАН». – [www.ceme.gsras.ru/new/struct/files/Requirements\\_seismic\\_stations.pdf](http://www.ceme.gsras.ru/new/struct/files/Requirements_seismic_stations.pdf) (дата обращения: 28.04.2020).
15. Butenko V., Nazarenko A., Sarian V. et al. Applications of wireless sensor networks in next generation networks: technical paper / International Telecommunication Union (ITU). 2014. Vol. 28. P. 94–97.
16. Butenko V., Nazarenko A., Sarian V. et al. Personal safety in emergency // Innovative application for mobile phones ITU news. 2012. N 3. P. 47–49.
17. Filatov D.M., Lyubushin A.A. Precursory Analysis of GPS Time Series for Seismic Hazard Assessment // Pure and Applied Geophysics. First Online. 2019. Vol. 177 (1). P. 509–530. – [www.doi.org/10.1007/s00024-018-2079-3](http://www.doi.org/10.1007/s00024-018-2079-3).
18. Lyubushin A. Synchronization of Geophysical Fields Fluctuations // Complexity of Seismic Time Series: Measurement and Applications / eds T. Chelidze, F. Vallianatos, L. Telesca. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier, 2018. Ch. 6. P. 161–197. – [www.doi.org/10.1016/B978-0-12-813138-1.00006-7](http://www.doi.org/10.1016/B978-0-12-813138-1.00006-7).
19. Sarian V. Earthquakes and Waterfloods Monitoring System with the Application of the Internet of Things (IoT). Workshop on APEC TEL58 Taipei. Chinese Taipei. 1 Oct. 2018. – [www.apec-epwg.org/media/2289/16bed26f89ad133a998a79813e0c4bd4.pdf](http://www.apec-epwg.org/media/2289/16bed26f89ad133a998a79813e0c4bd4.pdf) (дата обращения: 22.05.2020).
20. Sarian V.K., Nazarenko A.P., Mkrtchyan A.R., Ermakov V.V., Lyubushin A.A., Meshcheryakov R.V. Hybrid monitoring systems for global processes. The results of the experiment at the first point of the hybrid system // Armenian J. Phys. 2020. Vol. 13 (3). P. 243–254.
21. Sarian V., Nazarenko A. Mass service of individualized control for the population rescue in the event of all kinds of emergency situation // 4th ITU Workshop on Network 2030, Saint Petersburg, Russia, 21–23 May 2019. – [www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201905/Documents/Sarian\\_Nazarenko\\_Presentation.pdf](http://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201905/Documents/Sarian_Nazarenko_Presentation.pdf) (дата обращения: 22.05.2020).