

## ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ СРЕД

УДК 538.338

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОГНОЗОВ  
ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ, ЭКОЛОГИЧЕСКИХ БЕДСТВИЙ  
И ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ НА ОСНОВЕ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ  
ГЛОБАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ «ОКО»****А. И. Савин<sup>1</sup>, В. Н. Страхов<sup>2</sup>, С. М. Болотов<sup>1</sup>, В. Г. Бондур<sup>1</sup>,  
К. А. Власко-Власов<sup>1</sup>, Г. В. Гвишвили<sup>3</sup>, В. Н. Малютин<sup>1</sup>, Ю. А. Пировов<sup>4</sup>**

Радиофизические методы контроля гелиогеофизической и сейсмологической обстановки используются для информационного обеспечения в реальном масштабе времени высоконадежных краткосрочных прогнозов места и времени сильнейших землетрясений, выявления фактов проведения мощных наземных и подземных взрывов, а также прогноза условий распространения радиоволн КВ-диапазона, определяющих качество функционирования систем связи и радиолокации.

**Введение**

В настоящее время противоречия между сложившимся характером современной цивилизации и биосферы достигли такого уровня, когда на карту поставлено само существование человека как биологического вида.

В самом деле, за одну вторую половину XX в. человечество накопило колоссальный разрушительный потенциал, который непрерывно растет, грозя миру вселенской катастрофой. Однако, несмотря на реальную угрозу самому существованию жизни на Земле, люди все еще рассматривают проблему практической экологии как задачу завтрашнего дня. Нынешнее же чрезвычайное экологическое состояние биосферы в целом показывает, что откладывать эту глобальную проблему крайне опасно для земной цивилизации и потому недопустимо.

В расширенном смысле экология понимается нами как наука о существовании живой материи на планете. Физическая экология — это наука, изучающая физико-химические и биофизические процессы, регулирующие жизнедеятельность биологических видов. Социальная экология в первую очередь рассматривает пути сохранения жизни на Земле, в частности ограничения на хозяйственную, военную и исследовательскую деятельность человека.

Основными опасностями, угрожающими человечеству, кроме катастрофических природных явлений, таких как землетрясения, вулканическая деятельность, цунами, ураганы и т. п., сегодня принято считать [1]:

химическое, радиационное, электромагнитное и тепловое загрязнение окружающей природной среды;

загрязнение поверхностей литосферы и Мирового океана нефтепродуктами;

разрушение озонового слоя;

истощение природных ресурсов Земли;

локальные вооруженные конфликты и угрозу ракетно-ядерной войны.

Система глобального наблюдения «ОКО» дает информацию, необходимую для оперативного предотвращения или минимизации ущерба от природных катастроф, среди которых из-за их внезапности наиболее опасными по своим экологическим и экономическим последствиям являются разрушительные землетрясения.

По данным ООН, по всему миру в результате катастрофических землетрясений ежегодно погибают в среднем около 20 тыс. человек и страдают не менее 30 млн человек. При этом общий экономический ущерб мирового сообщества исчисляется более чем в 12 млрд долларов США в год. К тому же прослеживается тенденция ежегодного прироста на 6–7% размеров понесенного ущерба [1].

Участники встречи на высшем уровне в г. Денвер (США, 20–22 июня 1997 г.) восьми ведущих промышленно развитых государств определили как одну из первоочередных задач тесное международное сотрудничество в области экологического мониторинга и краткосрочного прогнозирования катастрофических землетрясений в северной части Тихого океана.

Особое место в решении экологических проблем Азиатско-Тихоокеанского региона занимает научно-технический потенциал России, обладающей в настоящее время несомненным приоритетом как в разработке теоретических проблем физики тектогенеза и физики литосферно-ионосферных связей, так и

<sup>1</sup> Центральный научно-исследовательский институт «Комета».

<sup>2</sup> Объединенный институт физики Земли РАН.

<sup>3</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН.

<sup>4</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, физический факультет.

в области создания наукоемких технологий высоконадежного прогноза места и времени разрушительных землетрясений [2].

Помимо сейсмических процессов в природе существует целый комплекс явлений, порождающих чрезвычайные ситуации и являющихся причиной многих квазирегулярных техногенных аварий и катастроф. Речь идет о геофизических процессах, обусловленных солнечной активностью, и активных воздействиях человека на околоземное космическое пространство.

Эти процессы часто нарушают функционирование сложных инженерно-технических систем и комплексов, например систем управления и навигации, телекоммуникационных сетей связи, средств автоматизации управления различными технологическими процессами, комплексов управления воздушным и морским транспортом [3].

Замечено, что в дни неблагоприятной гелиогеофизической обстановки (периоды равноденствия, магнитные бури) в 1,5–2 раза возрастает влияние человеческого фактора на аварийность эксплуатации сложных технических комплексов и на частоту чрезвычайных происшествий на транспорте: геомагнитные факторы изменяют психофизическое и психоэмоциональное состояние обслуживающего персонала.

Система «ОКО», которая дает возможность получать в реальном масштабе времени радиофизические данные о параметрах системы «ионосфера–магнитосфера» и, следовательно, прогнозировать неблагоприятную гелиогеофизическую обстановку, может внести реальный вклад в снижение числа таких аварий и потерь.

Начиная с 1990 г. в России совместными усилиями ряда организаций (ЦНИИ «Комета», НПО им. Лавочкина, Объединенный институт физики Земли РАН, ИЗМИРАН, МГУ (физический факультет), Институт прикладной геофизики) проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию наземно-космического комплекса «Матрица» — первой очереди глобальной системы краткосрочного прогнозирования места и времени сильнейших землетрясений и ряда экологических бедствий [2, 4, 5].

Проект комплекса «Матрица» согласуется с принятой Правительством России федеральной программой «Развитие федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогнозов землетрясений (ФССН) на 1995–2000 годы», а также формируемой ныне программой «Создание межгосударственной системы сейсмологического мониторинга в сейсмоопасных регионах государств–участников СНГ». Кроме того, комплекс «Матрица» рассматривается как неотъемлемая часть «Международного геофизического полигона», создаваемого в интересах совершенствования методов и средств прогноза землетрясений. Создание полигона на Дальнем Востоке инициируется правительствами России, США и Японии. В связи с этим

проект «Матрица» приобретает статус международного.

Комплекс «Матрица» в процессе своего функционирования должен решать следующие задачи.

1. Прямые (непосредственные) наблюдения ионосферы и получение в реальном масштабе времени радиофизической информации, необходимой для оперативной диагностики и оценки динамики подготовительной и постшоковой стадий землетрясений.

2. Информационное обеспечение ФССН радиофизическими данными для высоконадежных краткосрочных прогнозов места и времени землетрясений силой более 5,5 баллов по 12-балльной шкале MSK-7.

3. Выявление и определение в реальном масштабе времени места и времени проведения мощных наземных и подземных взрывов.

4. Оперативное прогнозирование условий распространения радиоволн в КВ-диапазоне для обеспечения надежной радиосвязи центров управления воздушным транспортом и судами отечественных и иностранных компаний.

Техническую базу комплекса «Матрица» составляет действующая наземно-космическая система глобального наблюдения «ОКО», в которую входят наземные пункты управления и орбитальная сеть высокоэллиптических и геостационарных космических аппаратов (КА). По составу и параметрам орбит эта группировка КА является оптимальной для решения поставленных задач. Использование средств системы «ОКО» при наличии устойчивой научно-промышленной кооперации организаций–исполнителей создает все необходимые предпосылки для реализации проекта «Матрица» в кратчайшие сроки (27 месяцев). Столь короткие сроки обусловлены тем, что к настоящему времени уже имеется мощное научно-методическое и программно-алгоритмическое обеспечение проекта, а основные технические решения прошли апробацию в натурных условиях на бортовых комплексах низкоорбитальных КА «Интеркосмос-19» и «Космос-1809» и станции «МИР».

#### **Новый метод выявления сейсмо-ионосферных предвестников землетрясений**

Метод многочастотного радиопросвечивания ионосферы (МРПИ) с высокоорбитальных КА, разработанный в России и запатентованный за рубежом, позволяет реализовать мониторинг области ионосферы размерами  $\sim 1500 \times 1500$  км и получение радиофизической информации о сейсмо-ионосферных предвестниках практически в реальном масштабе времени [2, 3].

Контролируемым параметром является критическая частота слоя  $F_2$  ионосферы (частоты ниже этой ионосфера практически не пропускает). Регулярный слой  $F_2$  ионосферы охватывает высоты от 200 до 400 км от поверхности Земли и расположен между

областью F1 (140 ÷ 200 км) и верхней атмосферой (400 ÷ 2000 км).

**Технические средства комплекса «Матрица»**

В комплекс входят следующие технические средства.

1. Геостационарный космический аппарат системы «ОКО» (точка стояния 160° в.д.), контролирующей ионосферу в пределах ±65° по широте и долготе относительно точки стояния КА.

В зону непрерывного мониторинга предвестников землетрясений и проявления фактов мощных взрывов входит участок ионосферы над поверхностью Земли, охватывающей дальневосточные районы Российской Федерации (здесь создаются опытная зона ФССН и Международный геофизический полигон), а также восточные провинции Китая, Республику Корею, Японию, Индонезию, Филиппины, Малайзию, Новую Зеландию, Австралию.

Геостационарный КА оснащается бортовой аппаратурой многочастотного радиопросвечивания ионосферы и бортовым ретранслятором комплекса сбора и передачи данных (СПД) миллиметрового диапазона (рис. 1).

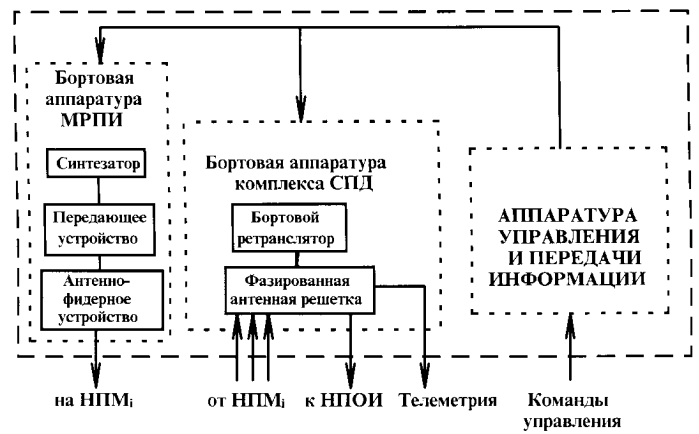


Рис. 1. Геостационарный космический аппарат «ОКО-2»

2. Пространственно распределенная сеть из 20–25 автоматических наземных приемных модулей (НПМ), которые принимают сигналы радиопросвечивания и размещаются с шагом 300–500 км на территории опытной зоны ФССН. Территориально они совмещены с пунктами комплексного сейсмологического контроля ФССН и ионосферными станциями Российской Академии наук и Росгидромета (рис. 2).

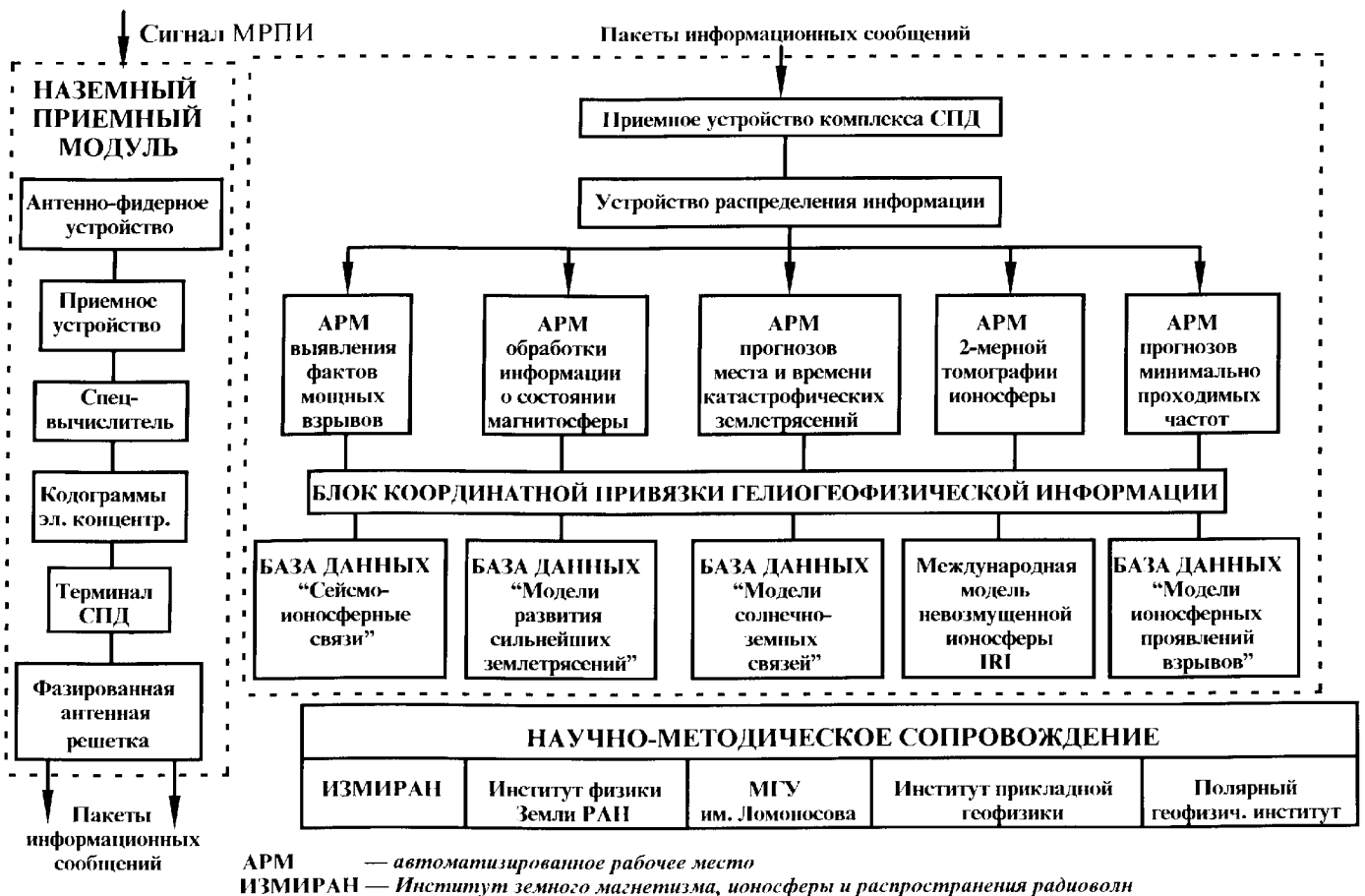


Рис. 2. Наземный пункт обработки информации

3. Сеть наземных передающих и приемных станций (терминалов) комплекса СПД, топологически совмещенных с сетью НППМ.

Технологии комплекса СПД обеспечивают работу комплекса «Матрица» в реальном масштабе времени.

4. Наземные пункты приема и комплексной обработки информации (НПОИ), сопряженные на информационном уровне с региональными и федеральными центрами ФССН.

### Принцип функционирования комплекса «Матрица»

С борта космического аппарата излучаются шумоподобные сигналы переменной частоты декаметрового диапазона. Последовательность этих сигналов, пройдя ионосферу, принимается сетью НППМ, где происходит их первичная обработка. При этом оцениваются:

мгновенные значения критической частоты ( $f_{0F2}$ ) регулярного слоя  $F2$  ионосферы;

величины коэффициентов поглощения ( $l_i$ ) сигналов МРПИ на ряде частот, близких к так называемой частоте отсечки, которая связана функционально с критической частотой  $f_{0F2}$ ;

значения величины групповой задержки ( $t_i$ ) сигналов МРПИ на пути распространения.

Пакеты информационных сообщений о параметрах ионосферы с НППМ с помощью передающих станций (терминалов) комплекса СПД через бортовой ретранслятор передаются на НПОИ.

На НПОИ радиофизические данные ( $f_{0F2}$ ,  $l_i$ ,  $t_i$ ) поступают в вычислительный комплекс обработки, анализа и отображения информации, где они используются для восстановления высотного профиля электронной концентрации в слое  $F2$  ионосферы, соответствующего конкретному сеансу радиопросвечивания.

Основной же задачей комплексной обработки радиофизической информации является выявление пространственно-временных аномалий в ионосфере, обусловленных сейсмогенными или техногенными процессами. Для определения аномалий используются алгоритмы коррекции международной модели невозмущенной ионосферы IRI по совокупной информации, полученной в последовательном ряде сеансов радиопросвечивания.

В процессе своего функционирования комплекс «Матрица» в условиях сложной помеховой обстановки, обусловленной солнечной активностью и хозяйственной деятельностью, с вероятностью  $P \geq 0,8$  в реальном масштабе времени решает следующие задачи.

1. Выявление на интервале от 1,5 до 72 ч и определение координат (с точностью не хуже 200 км) сейсмо-ионосферных предвестников катастрофических землетрясений.

Высоконадежный прогноз времени и места эпицентральных областей обеспечивает Федеральный

центр прогноза землетрясений путем совместной обработки геофизических данных, поступающих в центр от НПОИ и других источников сейсмологической информации ФССН.

2. Выявление фактов проведения мощных наземных и подземных взрывов и определение их координат с точностью не хуже 50 км.

3. Определение текущих условий распространения радиоволн и прогнозирование оптимальных частот радиосвязи в коротковолновом диапазоне с точностью  $\pm 100$  кГц.

### Перспективы комплекса «Матрица»

Система «ОКО» представляет собой информационно-экспертную систему, построенную на принципах открытой системы, оптимизирующей свою инфраструктуру по результатам накопления данных и многофакторного анализа солнечно-земных и литосферно-ионосферных связей.

Такой способ самоорганизации, по-видимому, можно считать единственно возможным принципом для разрешения многих неопределенностей, связанных с физикой сейсмо-ионосферных связей. Дело в том, что пространственная неравномерность и временная нестабильность ионосферных полей во многом обусловлены геологическими особенностями конкретных сейсмоактивных зон.

Особенность информационного тракта комплекса «Матрица» составляет объединение данных непосредственных измерений текущих параметров ионосферы и математических (прогностических) моделей ее динамики. Суммарно эти компоненты составляют единый технологический базис для создания двумерной модели возмущенной ионосферы, которая позволяет получить высокоточные оценки состояния сейсмо-ионосферной обстановки в конкретных регионах практически в реальном времени и на этой базе прогнозировать место и время катастрофических землетрясений.

Обнаружение сейсмо-ионосферных признаков катастрофических землетрясений осуществляется на фоне достаточно интенсивных помех, обусловленных в первую очередь гелиогеофизическими процессами. Это обстоятельство накладывает жесткие ограничения на значение вероятности обнаружения предвестников. Выявление предвестников с вероятностью ниже уровня 0,8, по-видимому, теряет смысл, так как она является базовой в системе параметров, на которых строится прогноз землетрясений в ФССН.

Данное значение вероятности обнаружения предвестников землетрясений может быть обеспечено только при объединении радиофизических данных комплекса «Матрица» и информации от других источников, в частности, информации об активизации Солнца (вспышках) от наземных средств службы Солнца Росгидромета и Центра контроля космического пространства.

При решении задачи выявления сейсмо-ионосферных предвестников возникает и необходимость оце-

нить «число ложных тревог» или частоту «пропуска предвестников» за определенный промежуток времени, например за год. Для расчета этих вероятностных характеристик при наличии помеховой обстановки (солнечная или грозовая активность) были разработаны признаки селекции «ложных тревог», возникающих в информационном тракте, включающем ионосферу, бортовой измерительный тракт и тракты приема и обработки информации в НПМ и НПОИ.

Научно-технический потенциал системы «ОКО» позволяет проводить надежную селекцию сигналов в крупномасштабных полях обзора в самых экстремальных помеховых условиях.

В процессе функционирования комплекса «Матрица» будет создаваться база данных о сейсмо-ионосферных связях в интересах отработки геоинформационных технологий высокоточного определения коор-

динат эпицентров и времени вероятных катастрофических землетрясений, а также координат и времени проведения мощных взрывов.

#### Литература

1. Савин А.И., Болотов С.М., Гусева А.В. // Междунар. конф. «Женщины в экстремальных ситуациях. Защита прав и интересов женщин». М., 1997. Кн. 2. С. 69; 74.
2. Болотов С.М., Бондур В.Г., Гвишивили Г.В. и др. // Тез. докл. на Междунар. конф. «Эволюция инфосферы». М., 1995. С. 3.
3. Болотов С.М., Бондур В.Г., Виноградов В.В., Савин А.И. // Там же. С. 4.
4. Болотов С.М., Бондур В.Г., Савин А.И. // Тез. докл. на Междунар. конгр. «Окружающая среда для нас и будущих поколений». Красноярск, 1993. С. 2.
5. Pirogov Y.A., Savin A.I., Bolotov S.M. et al. // Second Wireless Power Transmission Conf. Kobe, Japan. 1995. P. 54.