

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ИХ СВЯЗИ С СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

¹А.В. Бальзаминов, ¹В.М. Бардаков, ¹Б.О. Вугмейстер, ¹М.А. Егоров,
¹А.В. Петров, ²А.А. Храмцов

COMPLEX INVESTIGATIONS OF GEOPHYSICAL FIELDS AND THEIR RELATIONSHIP WITH SEISMIC ACTIVITY

¹A.V. Balzaminov, ¹V.M. Bardakov, ¹B.O. Vugmeister, ¹M.A. Egorov, ¹A.V. Petrov, ²A.A. Hramtsov

В атмосфере над зарождающимся очагом землетрясения возникают всплески аномального электромагнитного излучения (ЭМИ). В докладе рассмотрены модели генерации ЭМИ, в том числе основы предложенной авторами новой модели. Создана регистрирующая аппаратура, использующая широкую полосу частот. Приводятся экспериментальные результаты. ЭМИ появляется за некоторое время до сейсмического события. Длительность его существования пропорциональна мощности готовящегося землетрясения. Спектральный состав сигнала связан с расстоянием до фокальной зоны землетрясения. Изучается возможность прогноза землетрясения на основе известной реакции ионосферы на повышение сейсмической активности подстилающей поверхности. Создана система регистраторов, обеспечивающих контроль параметров сигнала на наклонных трассах, проходящих через сейсмоактивные зоны. Обсуждаются полученные результаты.

The bursts of abnormal electromagnetic radiation (EMR) appear in the atmosphere above incipient earthquake source. The models of EMR generation, including the foundations of the new model proposed by the authors are considered. The recording equipment using a broad frequency band has been created. Experimental results are presented. EMR appears some time before a seismic event. The EMR duration is proportional to the forthcoming earthquake power. A signal spectral composition is associated with a distance to the earthquake focal zone. Based on the known reaction of the ionosphere to an underlying surface seismic activity increase, we study an earthquake forecast possibility. The system of recorders has been created. It provides monitoring of the signal parameters on the oblique radio paths, passing over seismically active zones. The findings are discussed.

Одной из важнейших задач, стоящих перед современной геофизикой, является оперативный прогноз землетрясений. Однако до настоящего времени эта задача не решена; сегодня можно говорить лишь об изучении предвестников землетрясений. Одними из наиболее перспективных с точки зрения информативности, оперативности и технологии мониторинга являются электромагнитные предвестники. Известно, что электромагнитные предвестники могут проявляться на различных частотах. Особый интерес представляет изучение связи электромагнитных полей в диапазоне единиц – десятков килогерц с сейсмичностью. За последние десятилетия проведен ряд исследований в этом направлении. В ходе этих исследований неоднократно фиксировались предвестники землетрясений [Гуфельд и др., 1988]. Вместе с тем удовлетворительная общепризнанная модель возникновения (генерирования) электромагнитных предвестников землетрясений до настоящего времени отсутствует. Существуют различные гипотезы, объясняющие возникновение электромагнитных предвестников землетрясений в виде появления низкочастотных электромагнитных полей во время подготовки землетрясения. Первая гипотеза предполагает генерирование ЭМИ внутри литосферы в области подготовки землетрясения за счет действия механоэлектрических преобразователей [Моргунов, 1985]. Вторая гипотеза, сторонниками которой являются и авторы, предполагает генерирование ЭМИ в атмосфере над зоной подготовки землетрясения. Обе гипотезы предполагают генерирование естественного электромагнитного поля вблизи области подготовки землетрясения. Рассматриваются также гипотезы о формировании электромагнитных предвестников землетрясения в виде вариации уровня электромагнитного поля стороннего происхождения из-за изменения над областью

подготовки землетрясения условий распространения радиоволн или их резонансного усиления. В этом случае речь идет об электромагнитных сигналах, источник которых (естественный или искусственный) никак не связан с подготовкой землетрясения, но уровень этих сигналов в точке приема зависит от сейсмических процессов в литосфере.

По мнению авторов, возможен следующий механизм генерирования аномального ЭМИ в атмосфере над будущим очагом землетрясения. В работе [Пулинец и др., 1998] изложена концепция сейсмоионосферного взаимодействия, основанная на так называемой модели постоянного электрического поля. Согласно этой модели, в присутствии источника ионизации, каковым является радон, и мелкодисперсных аэрозолей возникает облако нескомпенсированного электрического заряда на некоторой высоте над поверхностью Земли, приводящее к усилению естественного электрического поля над этим облаком. Такого электрического поля достаточно, чтобы на различных остриях (деревьев, стеблей трав и т. п.) возникал коронный разряд, имеющий импульсный характер и сопровождающийся возбуждением ЭМИ. Повышенный электромагнитный шум, генерирующийся в приземной области над будущим очагом землетрясения, может служить электромагнитным предвестником землетрясения. Ранее авторами опубликованы некоторые расчетные оценки параметров возникающего при описанных условиях электрического поля, проведенные оценки указывают на возможность реализации описанного механизма [Бардаков и др., 2007].

Для экспериментальных исследований авторами разработаны три аппаратно-программных комплекса (АПК), предназначенных для получения новых сведений об электромагнитных полях, связанных с сейсмической активностью.

АПК для регистрации электромагнитных полей позволяет вести измерение и запись в цифровой форме:

1) амплитудного спектра сигнала в диапазоне 0,5–51.15 кГц с шагом 50 Гц;

2) амплитуды узкополосного сигнала ($\Delta f=50$ Гц) на любой частоте в диапазоне 10–30 кГц. В состав АПК входят два радиоприемных устройства, аналого-цифровой преобразователь и компьютер. Комплекс размещен на сейсмостанции «Талая» Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН (БФ ГС СО РАН); измерения ведутся с июля 2001 г. [Вугмейстер и др., 2001]. Наблюдения с использованием широкополосного канала АПК позволили получить ряд экспериментальных данных, подтверждающих справедливость выводов, следующих из предложенной модели. Некоторые представленные в графическом виде экспериментальные данные приведены в работе [Бардаков и др., 2007], далее представлены выводы, сделанные на основе анализа экспериментальных данных за 2001–2013 гг.

Так как исследуемый сигнал по существу является шумовым, то простейшее (без дополнительной обработки) представление данных в виде среднечастотных амплитудных спектров, временных разрезов на выбранной частоте и частотно-временных карт (в 3D или плоском цветовом исполнении) имеет сравнительно невысокую информативность. Значительный интерес представляет оценка суммарной мощности принятого аномального сигнала в пределах нескольких частей или полной полосы пропускания приемника регистратора. При этом из рассмотрения целесообразно исключить частоты в диапазоне 0–6 кГц из-за наличия в этой полосе мощного излучения промышленной частоты (50 Гц) и его гармоник. Из анализа экспериментальных данных видно, что изменение мощности сигнала имеет характерные закономерности:

1) сигнал начинает увеличиваться от среднего (невозмущенного) уровня за некоторое время до сейсмического события, это время для различных землетрясений может составлять от 3 до 15 сут;

2) длительность существования аномального сигнала пропорциональна мощности готовящегося землетрясения;

3) момент сейсмического события привязан к времени возвращения аномального сигнала к нормальному уровню;

4) землетрясение, эпицентр которого находится на соизмеримом с радиусом зоны подготовки расстоянии до точки регистрации, характеризуется аномальным сигналом преимущественно в низкочастотной области рассматриваемого диапазона;

5) землетрясение, эпицентр которого расположен вблизи точки регистрации, характеризуется аномальным сигналом в широкой полосе частот, более отчетливо наблюдаемым в высокочастотной области.

Таким образом, устойчиво регистрируемый (для всех происходящих на суше землетрясений с энергетическим классом $K>9$, фокальная зона которых удалена от точки регистрации на расстояние менее 150 км) аномальный сигнал может быть использован как прогностический. Длительность аномалии кор-

релирует с мощностью готовящегося землетрясения. Спектральный состав сигнала связан с расстоянием до фокальной зоны. Поэтому при наличии сети регистраторов с ячейкой размером 100–200 км и централизованной обработкой данных возможна локализация фокальной зоны и оценка энергетического класса и времени события для землетрясений значимой мощности (для социально опасных землетрясений). Альтернативные системы поиска и изучения электромагнитных предвестников землетрясений могут быть реализованы с использованием искусственных спутников Земли, однако реализация спутниковых систем сложнее, а стоимость – на порядки выше стоимости предлагаемой наземной локальной системы.

Второй разработанный авторами АПК предназначен для диагностики волновых процессов в верхней ионосфере; технически АПК позволяет измерять доплеровский сдвиг частоты отраженных от F-области ионосферы коротковолновых (КВ) радиосигналов на однокачковых наклонных трассах (сейчас используется сигнал вещательной радиостанции на радиотрассе Улан-Удэ–Иркутск) [Бальзаминов и др., 2012].

Ионосферные эффекты местной сейсмической активности при использовании доплеровского метода наблюдаются не всегда, хотя сама задача является перспективной с точки зрения прогноза землетрясений. Часто не удается выделить сигнальные признаки землетрясения в доплеровских вариациях. По мере удаления от источника возмущения вероятные признаки перестают отличаться от фоновых. Совместный анализ данных с результатами традиционного сейсмического мониторинга позволяет в некоторой степени обеспечить идентификацию событий в рассматриваемых рядах наблюдений. Комплекс обеспечивает возможность проведения диагностики регулярных геофизических и аномальных природных явлений.

Третий разработанный авторами АПК предназначен для изучения особенностей распространения коротких радиоволн над зонами подготовки землетрясений [Бальзаминов и др., 2012]. В Байкальском регионе БФ ГС СО РАН развернута сеть сейсмических станций, на которых имеются радиопередающие средства (радиостанции). Имеющаяся инфраструктура обусловила возможность создания сети радиотрасс для мониторинга параметров ионосферы. Система мониторинга включает в себя сеть КВ-радиомаяков, радиоприемный центр и центр обработки данных. На первом этапе проводимых работ летом 2011 г. были организованы три КВ-радиомаяка на базе сейсмостанций «Чита», «Суво» и «Закаменск» (по техническим причинам последний радиомаяк был затем выключен). Радиомаяк представляет собой автоматически включаемую в режиме передачи по расписанию с помощью специального микроконтроллерного блока управления радиостанцию TRC-80. В качестве излучаемого сигнала выбран трехкратно передаваемый в режиме телеграфа (кодом Морзе) со скоростью 100 знаков в минуту позывной радиостанции (для идентификации сигнала) и передаваемый непрерыв-

но в течение двух минут радиосигнал на несущей частоте (4.3 МГц). Радиоприемный центр размещен в пункте «Талая», а центр обработки информации – в Иркутске. В настоящее время регистрируется только амплитуда принимаемого сигнала. Планируется доработка АПК, которая позволит регистрировать не только амплитуду, но и абсолютное время распространения сигнала, что позволит существенно повысить информативность данных. В ходе доработки будет также расширена сеть радиомаяков.

Из-за ограниченности объема в тексте основное внимание было уделено описанию АПК; описание результатов измерений приводится в докладе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бальзаминов А.В., Вугмейстер Б.О., Егоров М.А. и др. Аппаратно-программный комплекс для диагностики волновых процессов в верхней ионосфере // Современные проблемы радиоэлектроники и связи: Материалы X и XI Всероссийских научно-технических конференций студентов, аспирантов и молодых ученых. Иркутск: ИрГТУ, 2012. С. 101–108.

Бальзаминов А.В., Вугмейстер Б.О., Егоров М.А. и др. Аппаратно-программный комплекс для изучения особенностей распространения коротких радиоволн над зонами подготовки землетрясений // Там же. С. 95–101.

Бардаков В.М., Вугмейстер Б.О., Гуров А.С. и др. Возбуждение ОНЧ-сигналов при подготовке землетрясения // Электронный журнал «Исследовано в России». 2007. № 116. С. 1213–1223. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/116.pdf>.

Вугмейстер Б.О., Дудник Н.В., Петров А.В., Храмов А.А. Измерение уровня естественных электромагнитных полей в диапазоне сверхнизких частот // Вестник ИрГТУ. 2001. № 11. С. 118–123.

Гуфельд И.Л., Никифорова Н.Н., Токтосолиев А.М. и др. Поиск электромагнитных предвестников землетрясений / Отв. ред. М.Б. Гохберг. М.: Институт физики земли АН СССР, 1988. 242 с.

Моргунов В.А. Об электромагнитном излучении при сейсмической активности // Физика Земли. 1985. № 3. С. 77–85.

Пулинец С.А., Хегай В.В., Боярчук К.А., Ломоносов А.М. Атмосферное электрическое поле как источник изменчивости ионосферы // УФН. 1998. Т. 168. С. 582–589.

¹Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск, Россия

²Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН, Иркутск, Россия