

## ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ОТКЛИКОВ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

Матвийчук Я. Н.<sup>1</sup>, Сорока С. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет «Львовская политехника», Львов

<sup>2</sup>Львовский центр Института космических исследований НАНУ-НКАУ, Львов

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение транспорта энергии литосферных процессов в ионосфере представляет важную задачу в общей проблеме сейсмопрогноза. Одним из возможных путей транспорта энергии литосферных процессов в ионосферу могут быть акустические волны. Было проведено большое количество взрывов на поверхности Земли для моделирования акустического канала литосфера-ионосфера. Наиболее известный из них эксперимент МАССА [1]. Получены убедительные факты, подтверждающие влияние наземных взрывов на ионосферную плазму. Однако в последнее время многие исследователи ставят под сомнение возможность прохождения акустической волны на ионосферные высоты. Причем под сомнение ставится не сам факт влияния акустических волн в тропосфере на ионосферную плазму, а прямое прохождение акустической волны в ионосфере. Эти сомнения базируются на большом затухании акустических волн в атмосфере при их вертикальном распространении вследствие экспоненциального падения давления с высотой.

В работах Гальперина и Хаякавы [2, 3] был предложен оригинальный механизм влияния наземного акустического возмущения на ионосферу и проведен ретроанализ эксперимента МАССА. Сущность идеи модели Гальперина–Хаякавы показана на рис. 1. Предполагалось, что акустическая волна доходит до высот 50–60 км, а потом происходит электрический пробой промежутка «ионосфера – фронт акустической волны». Фронт волны рассматривается как своеобразный проводник, который имеет потенциал нижележащих слоев атмосферы. Инициатором электрического разряда мог быть ионизированный след микрометеорита. Вследствие электрического разряда появляются электромагнитные отклики, которые можно регистрировать как в ионосфере, так и на поверхности Земли.

Однако в рамках модели Гальперина–Хаякавы нельзя объяснить все наблюдаемые отклики на акустические возмущения. Целью работы был поиск новых возможных механизмов, объясняющих появление электромагнитных откликов при наземном акустическом возмущении.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

В период 1998–2002 г. в Львовском центре ИКИ НАНУ-НКАУ было проведено свыше 200 экспериментов по наблюдению электромагнитных откликов на акустические возмущения в атмосфере. В небольшом количестве ночных экспериментов по ре-

гистрации высокочастотных электромагнитных откликов одновременно наблюдалось увеличение свечения неба. Два таких случая показано на рис. 2. Представлено изменение количества импульсов, превышающих заданный уровень сигнала интерферометра на частоте 151 МГц (непрерывная кривая) и изменение свечения неба (точки). Уровень свечения регистрировался фотографическим способом. Время акустического возмущения отмечено вертикальными пунктирными линиями. Одновременно со значительным увеличением электромагнитного излучения в диапазоне 151 МГц увеличивалось свечение неба. В среднем увеличение составляло 5–7 %. В одном эксперименте увеличение составляло 40 %. Увеличение свечения начиналось через 2–2.5 мин после начала акустического возмущения. Эти эксперименты укладываются в модель Гальперина–Хаякавы. Увеличение свечения могло соответствовать электрическим разрядам в промежуток «фронт волны – ионосфера». Однако в эту модель не укладываются электромагнитные сигналы, которые появляются через 10–15 с после начала акустического возмущения. Акустическая волна в этом случае находится еще в тропосфере, а электромагнитные сигналы уже наблюдаются. Типичный характер такого «быстрого» сигнала показан на рис. 3,а, где показано изменение количества импульсов, превышающих заданный уровень сигнала, измеренного на частоте 30 МГц. Пунктирными линиями отмечено время акустического воздействия.

Очень часто наблюдались сигналы на 5-й и 40-й мин после начала акустического возмущения. Сигналы на 5-й минуте скорее всего соответствуют прямому прохождению акустической волны в нижние слои ионосферы. Этот тип сигнала показан на рис. 3,б.

Еще один тип сигналов, которые часто наблюдались показаны на рис. 4,а, б. Здесь представлена энергия сигнала магнитометра в диапазоне 1–40 Гц до и после акустического возмущения. В этом случае характер сигналов изменяется на длительное время. Причем, в одних случаях энергия сигнала возрастает (рис. 4,б), в других — падает (рис. 4,а). Все эти сигналы не укладываются в модель Гальперина–Хаякавы.

### **ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ОТКЛИКОВ НА АКУСТИЧЕСКОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ В АТМОСФЕРЕ**

Полученные экспериментальные данные показывают необходимость поиска новых механизмов воздействия акустических возмущений на процессы в атмосфере. Некоторые теоретические и экспериментальные исследования [4, 5, 6], дают возможность обосновать механизм усиления акустических колебаний в атмосфере. Наличие усиления звука в атмосфере позволяет объяснить наличие сигналов, соответствующих времени прихода 5–6 мин после акустического возмущения, т.е. прямому приходу волны в нижние слои ионосферы.

Атмосферу нельзя рассматривать как пассивную среду, состоящую из смеси газов. В атмосфере идут химические реакции, фазовые переходы воды, ионизация под действием солнечного излучения. Локальные изменения параметров атмосферной сре-

ды под действием акустической волны могут приводить к дополнительному выделению тепловой энергии и, соответственно, к усилению и генерированию акустических волн. В определенных ситуациях происходит перекачка энергии из среды в акустическую волну. Этот процесс можно рассматривать как своеобразный акустический «лазер». На рис. 5 показаны возможные механизмы усиления акустических волн в атмосфере при вертикальном распространении.

На высотах более 30 км под воздействием УФ–излучения образуются условия для неравновесного разогрева молекул. Колебательная и вращательная температуры молекул могут превышать температуру поступательных движений. При прохождении акустической волны через неравновесно разогретый газ в фазе сжатия волны энергия колебательных и вращательных степеней свободы молекул может перекачиваться в поступательные движения. Последние приводят к росту температуры и дополнительному увеличению давления и усилению акустических колебаний. В лабораторных условиях такие эффекты наблюдались экспериментально [4, 5].

Сходный механизм усиления акустической волны может наблюдаться при прохождении волны через «химически» активную среду. В фазе сжатия волны могут усиливаться реакции с выделением тепла. Такие условия могут образовываться в атмосфере на высотах 20–30 км за счет реакций образования и разрушения озона. Качественный анализ показывает, что в фазе сжатия могут усиливаться реакции разрушения озона, которые идут с выделением энергии.

На тропосферных высотах усиление акустической волны может происходить за счет конденсационных процессов [6]. Эффект усиления основан на том, что при конденсации пара происходит выделение тепла. Часть выделяющейся энергии идет на усиление и генерацию акустических волн. В работе [6] был предложен следующий механизм генерации и усиления акустических волн. В области, где возросла плотность воздуха, увеличивается концентрация капель и усиливается конденсация. В этой области наряду с адиабатическим нагревом происходит дополнительный нагрев, обусловленный конденсацией пара.

Отличительной особенностью последнего механизма является возможность наблюдать его экспериментально в натуральных условиях. Были проведены эксперименты по наблюдению инфразвуковых колебаний до и после акустического воздействия. На рис. 6 верхние кривые отображают изменения инфразвука в диапазоне 0.003–15 Гц до и после мощного акустического воздействия на протяжении 200с. На рис. 6,б видно, что после акустического воздействия изменяется характер инфразвуковых колебаний. Возрастает амплитуда и изменяется спектр колебаний. Эти изменения наблюдаются на протяжении нескольких часов. Одновременно наблюдаются соответствующие изменения геомагнитных вариаций (нижние кривые на рис. 6).

В экспериментах наблюдалось не только увеличение амплитуды акустических колебаний, но и уменьшение (рис. 6,а), что в некоторой степени было неожиданным. Этот эффект можно объяснить следующим образом. До акустического воздействия в атмо-

сфере установился устойчивый режим работы «конденсационного» акустического генератора (это видно из рис. 6,а). После включения мощного акустического генератора «конденсационный» атмосферный генератор был разрушен (рис. 6,а). Амплитуда инфразвуковых колебаний резко упала. Эти эксперименты дают ответ на причины длительного изменения характера геомагнитных вариаций и высокочастотных сигналов после кратковременного акустического воздействия на атмосферу.

Сигналы, которые появляются через 15–20 с после акустического возмущения можно объяснить акустическим возбуждением геоионосферного контура, образованного поверхностью Земли и ионосферой. Оценка параметров такого контура проведена в работе [7]. На рис. 7 показана возможная модель и сценарий преобразования акустических возмущений в атмосфере в электромагнитные сигналы.

### ВЫВОДЫ

Наземные акустические возмущения запускают в атмосфере усилительные механизмы, которые вызывают крупномасштабные процессы в атмосфере и появление электромагнитных откликов в разных диапазонах частот.

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что кратковременное акустическое возмущение порядка 100–200с вызывает изменения естественных инфразвуковых колебаний, которые длятся по несколько часов. Энергия естественных инфразвуковых колебаний в атмосфере могла возрастать или уменьшаться после искусственного воздействия. Причиной таких эффектов могли быть нарушения процессов конденсации в тропосфере. Синхронно с изменением акустических сигналов наблюдались изменения и в электромагнитных сигналах.

1. Известия АН СССР. Физика Земли, №11, 1985.-112 с (Тематический выпуск, посвященный экспериментам по проекту МАССА).
2. Galperin Yu., Hayakawa M. On a possibility of parametric amplifier in the stratosphere-mesosphere suggested by active MASSA experiments with the AUREOL-3 satellite. Earth Planets Space, 50, p.827–832,1998.
3. Galperin Yu., Hayakawa M. On Magnetospheric Effects of Experimental Ground Explosions Observed From AUREOL-3. V. Geomag. Geoelectric, 48, 1241–1263,1996.
4. Александров Н. Л. и др. Новый механизм усиления звука в плазме//ЖЭТФ. Т.95, 1989. С.1614.
5. Галечан Г. А., Даванян Э. Г., Мкртчян А. Р. Усиление звука в плазме//Акустический журнал, т.36, в.2, 1990, С.20.
6. Немцов Б. Е. Когерентный механизм усиления звука при конденсации пара//ДАН СССР, 1990, т.314, №2, с.355–358.
7. Гохберг М. Б., Булошников А. М., Гуфельд И. Л., Липеровский В. А. Резонансные явления при сейсмоионосферном взаимодействии//Изв. АН СССР. Физика земли., 1985. №6., с.3–7.

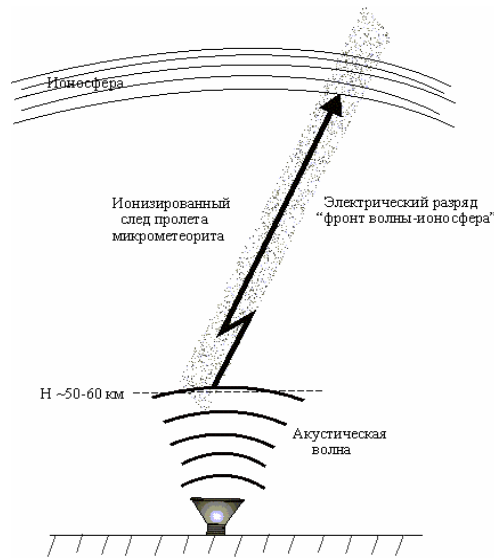


Рис. 1. Модель механизма акустического воздействия на ионосферу Гальперина–Хаякавы

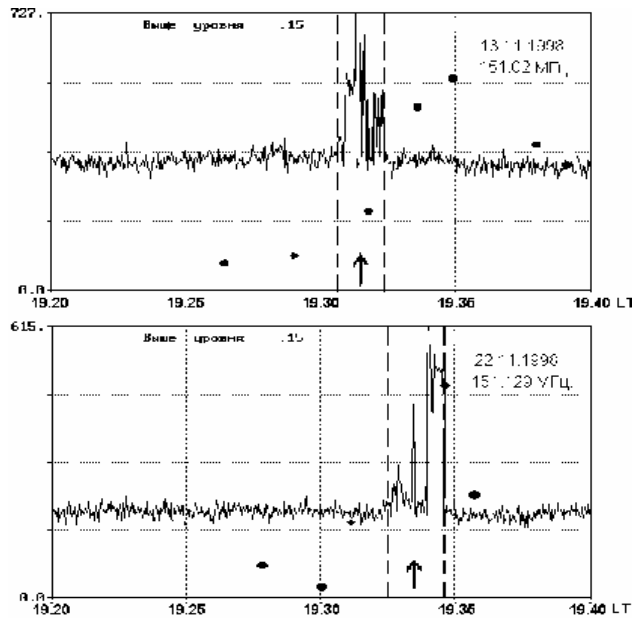


Рис. 2. Сигналы интерферометра на частоте 151 МГц и качественный ход свечения неба (точки). Вертикальными пунктирными линиями отмечено начало и конец акустического возмущения

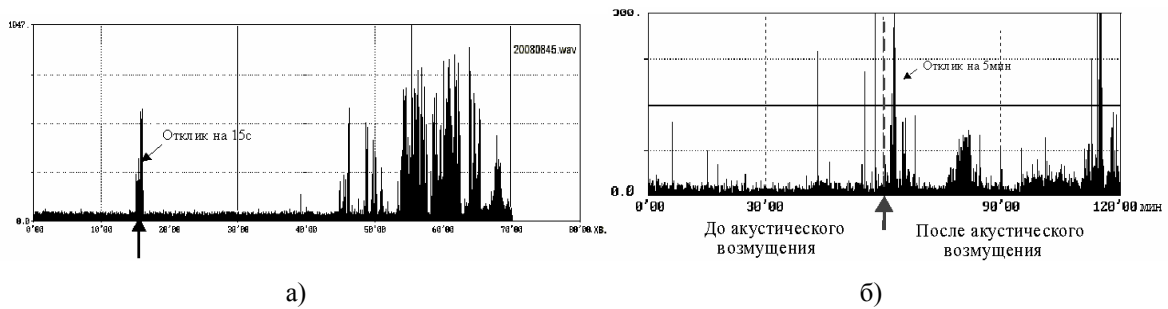


Рис. 3. Электромагнитные отклики на частоте 30 МГц.

Изменение количества импульсов, превышающих заданный уровень

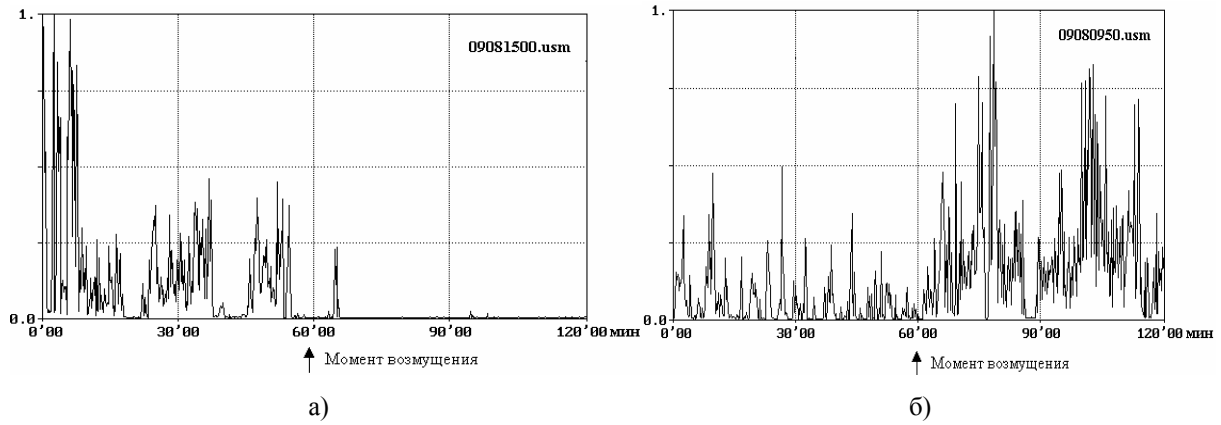


Рис .4. Изменение распределения энергии магнитных вариаций после акустического возбуждения, отстоящего на 60 мин от начала записи

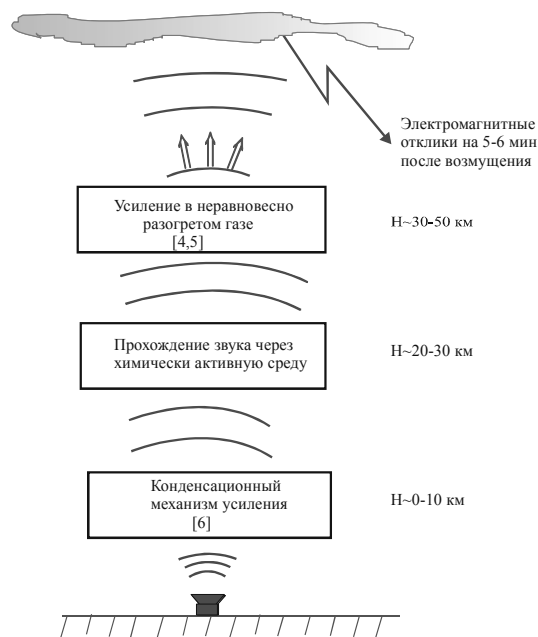


Рис. 5. Возможные механизмы усиления акустических волн при вертикальном распространении в атмосфере

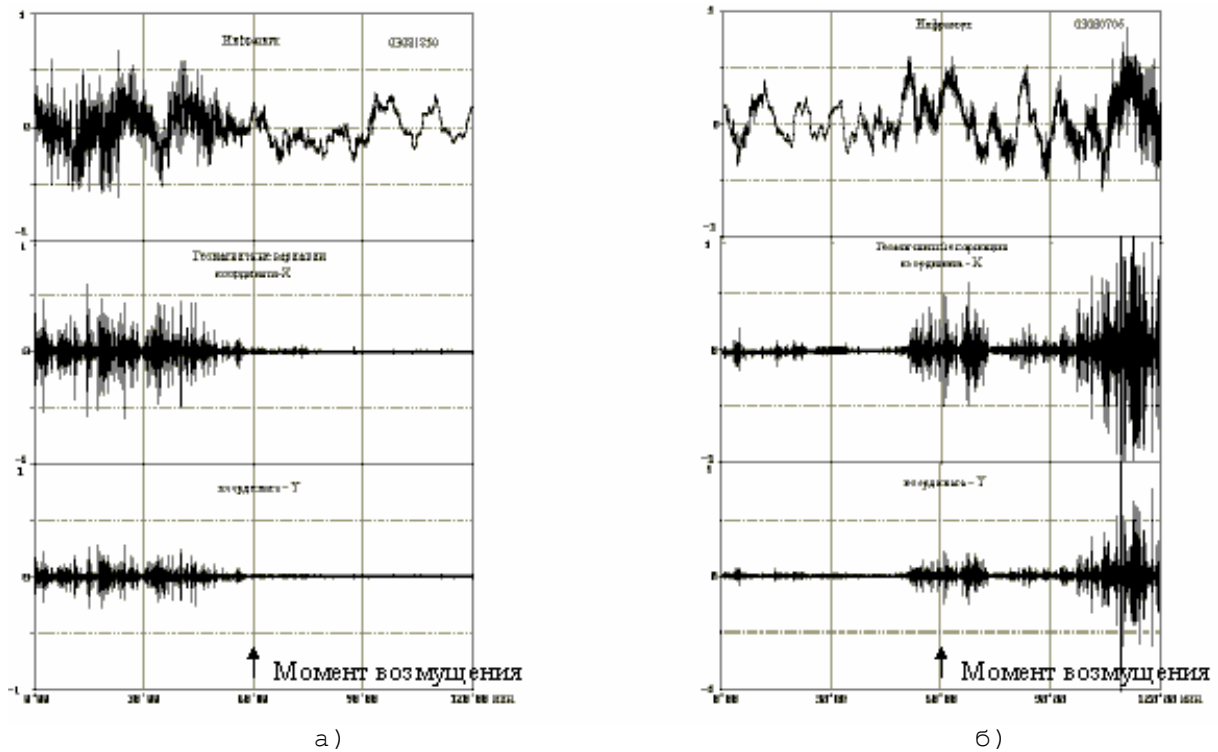


Рис. 6. Инфразвук и геомагнитные вариации до и после акустического возмущения. Акустическое возмущение на 60 мин от начала записи

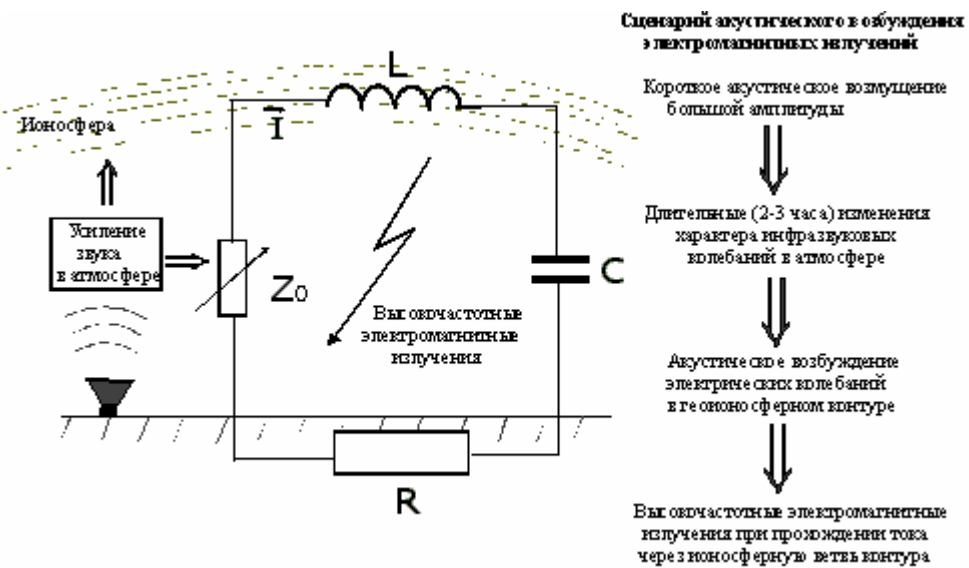


Рис. 7. Возможная модель акусто-электромагнитных преобразований в системе литосфера-атмосфера-ионосфера