

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ИНФРАКРАСНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ  $10^3$ - $10^5$  В/М И  
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИИ.  
EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE GENERATION OF INFRARED RADIATION  
IN THE ATMOSPHERE UNDER THE ELECTRIC FIELD  $10^3$ - $10^5$  V/M AND ADDITIONAL  
IONIZATION**

Умарходжаев Р.М.<sup>1</sup>, Липеровский В.А.<sup>2</sup>, Михайлин В.В.<sup>1</sup>,  
Богданов В.В.<sup>3</sup>, Кайсин А.В.<sup>3</sup>, Лексина Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИИЯФ МГУ, г. Москва, Воробьевы горы, д. 1

<sup>2</sup>ИФЗ РАН, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10

<sup>3</sup>ИКИР ДВО РАН, Камчатский край, Елизовский район, с. Паратунка

*The mosaic-likely distributed non-stationary regions of increased ionization and strong electric fields and infrared radiation arise before earthquakes in the atmosphere up to 10-15 km. The possibility of remote diagnostic of these electric fields and infrared radiation monitoring in the bands of optical transparency (7-17)  $\mu\text{m}$  was discussed. One can wait the arising of infrared spectral bands of  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_3$  above the region of earthquake preparation.*

*In present work the laboratory modeling of atmosphere processes cause infrared radiation was carried on under the electric fields  $2 \cdot 10^2$  -  $10^6$  V/m. For this purpose the device was created for registration of spectra of radiation and absorption for the bands (0.3–17)  $\mu\text{m}$ , at a pressure of (0.1–1) atmosphere and with the availability of controlled input of various gases, water vapor and aerosols in the working camera. The optical spectrometer BRUKER IFS 66 V/8 was used in the experiment.*

**Введение.** Перед землетрясениями благодаря выбросам радона [1], излучающего  $\alpha$ -частицы, в атмосфере над областью подготовки землетрясения на высотах до 10-15 км возникают мозаично разбросанные нестационарные области повышенной ионизации, сильного электрического поля и ИК излучения – френкелевские аэроэлектрические структуры [2, 3]. Дистанционный мониторинг электрического поля возможен при проведении спектрального анализа областей ИК излучения в диапазоне прозрачности с длиной волны 7–17 мкм. В указанном диапазоне длин волн можно ожидать появления спектральных полос ИК излучения для  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_3$  из области ионизации [4]. Однако для лучшего понимания физических процессов во френкелевских аэроэлектрических структурах и для проверки предложенных гипотетических физических механизмов интересно и полезно лабораторное моделирование, которое должно проводиться в низкочастотных электрических полях от  $2 \cdot 10^2$  до  $10^6$  В/м.

1. В НИИЯФ МГУ проводится лабораторное моделирование атмосферных источников ИК излучения в электрических полях от  $2 \cdot 10^2$  до  $10^6$  В/м для получения соответствующих ИК спектров. Создана установка для регистрации спектров излучения и поглощения в диапазоне длин волн (0.3–17) мкм, при давлениях (0.1–1) атм, и при возможности контролируемого ввода различных газов, аэрозолей, жидкостей и водяного пара в рабочую камеру. Внешняя ионизация в этом экспериментальном исследовании осуществляется за счет альфа-частиц.

В ходе лабораторного эксперимента необходимо исследовать спектры ИК излучения в широком диапазоне длин волн и изучить продукты плазмохимических реакций, в первую очередь, соединений азота и кислорода. Анализировались видоизменения спектров поглощения и излучения колебательных уровней молекул при введении в разрядную камеру кислородо-, водородо- и углесодержащих веществ в разных пропорциях в квази-постоянном электрическом поле. В результате проводимых работ будут определены спектральные диапазоны ИК излучений при малых модификациях состава атмосферы. Проведен выбор оптической схемы наблюдения на лабораторной установке, имитирующей натурные условия, регистрирующей всплески ИК излучения в электрическом поле в условиях дополнительной ионизации и при наличии аэрозолей. В рабочей камере и в ячейке поглощения, заполненных атмосферным воздухом и одним из веществ ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), производилось инициирование несамостоятельного разряда. В качестве оптического спектрометра применялся BRUKER IFS 66 V/8, позволяющий изучать спектры излучения и поглощения в диапазоне длин волн от 0.2 до 500 мкм. В первоначальной установке плоский конденсатор создавал электрическое поле до  $10^5$  В м<sup>-1</sup>, источник альфа-частиц ионизировал воздух между пластинами конденсатора. Излучение из рабочего объема при давлении 0.1-1 атм поступало в прибор BRUKER IFS 66 V/8. Предусматривалась регистрация тока. В зависимости от напряжения можно было фиксировать всплески несамостоятельного разряда, которые визуально фиксировались.

В ходе эксперимента при малых давлениях в азотно-кислородной смеси при переходе от

самостоятельного на несамостоятельный разряд были зафиксированы спектры излучения от продуктов плазмохимических реакций, в настоящее время еще не идентифицированных. Предварительный химический анализ показал, что речь идет о короткоживущих соединениях азота с кислородом. Однако стандартный прибор BRUKER IFS 66 V/8 вспышки оптического излучения не фиксировал ни в видимой, ни в ИК области. Это было связано с математическим обеспечением этого стандартного оптического высокочувствительного спектрометра, поскольку изучаемые процессы носят микровспышечный характер.

2. Это обстоятельство заставило перейти в интересующей нас задаче к созданию нового варианта установки с использованием спектрометров с ПЗС-матрицами или к использованию болометров или спектроприемников типа M30, модифицировав их для данного эксперимента. Чтобы смоделировать в лаборатории процессы в атмосфере, дающие добавочные концентрации  $N_2O$  и  $NO_2$  и других короткоживущих, подвергающихся ионизации, а также изучить влияние водяного пара различной концентрации на эти процессы, полезно модифицировать модельный эксперимент следующим образом. Разумно применять в лабораторном эксперименте искусственно увеличенную до 10-15% концентрацию примесей  $N_2O$  и  $NO_2$  и других короткоживущих. Эксперимент нужно проводить при давлении 0.1-1 атм. В лабораторных условиях возможно создать лишь достаточно малый рабочий объем порядка  $10\text{ см}^3$ , в то время как в природных облаках с дополнительной концентрацией сейсмогенного радона объем составляет  $10^{12}\text{ см}^3$ , поэтому разумно изучать при моделировании воздух с искусственной примесью  $N_2O$  и  $NO_2$  и др. Интересна возможность изучить в лабораторных условиях оптическую активность веществ, в частности, вращение плоскости поляризации. Новый вариант установки предусматривает увеличение рабочего объема камеры до  $20 \times 20 \times 1.5\text{ см}^3$  с увеличением числа точечных альфа-источников до 4-5 с возможностью их удаления из рабочего объема в условиях пониженного давления. Предусмотрена возможность менять расстояние между альфа-источниками и рабочим объемом. Следующее требование к установке - достаточно регулируемая коллимация. Должна быть создана улучшенная система коллимации излучения из рабочего объема во входную щель спектрометра. Как и в первых вариантах эксперимента в состав новой установки будет входить система откачки и система ввода в рабочую камеру различных газов и паров воды, а также необходимые радиотехнические устройства для создания самостоятельного и несамостоятельного разряда для постоянного и переменного тока и вывод к системе сбора и обработке данных. Предполагается использовать в качестве датчиков ИК излучения охлаждаемые до температуры жидкого азота пирометры и болометры. Далее предполагается провести оптимальный выбор фотоприемников с нужными спектральными характеристиками, подбор фотостимулируемых люминофоров для регистрации вспышек слабой интенсивности [5, 6]. С помощью предложенного метода возможен дистанционный мониторинг областей ИК излучения в областях прозрачности с длиной волны 7-17 мкм.

3. Проверка изложенных гипотез будет осуществлена как при наземных наблюдениях, в частности, на Камчатке, так и при наблюдениях с космических аппаратов. По-видимому, нужно проводить наблюдения френкелевских аэроэлектрических систем, расположенных на высотах 10-15 км, где длина свободного пробега молекул выше на порядок, чем у поверхности земли и будет достаточно эффективно работать предложенный механизм нагрева частиц из хвоста функции распределения легких ионов в электрическом поле. При сканировании возможно определение координат и оценка размеров френкелевских областей по максимальной яркости изображения. По количеству таких областей, по-видимому, можно будет судить о магнитуде предстоящего землетрясения.

Для выявления предвестников землетрясений при регулярных наблюдениях инфракрасного излучения ночной атмосферы в сейсмоактивной зоне можно предложить сканировать атмосферу до высот 10-15 км, наблюдая спектры и интенсивность потока излучения при помощи двух разнесенных установок, работающих в режиме накопления сигнала, поскольку ожидается его невысокая интенсивность. Наблюдения специфических линейных облачных структур на высотах 6-10 км наводит на мысль, что целесообразно при поиске предвестников землетрясений считать более вероятными облачные структуры типа занавесей с толщиной много меньше чем горизонтальные размеры, простирающиеся до высот 10-15 км, что обусловлено локальными воздушными потоками вверх. Такие структуры могут быть следствием выделения радона перед землетрясениями вдоль разломных структур с дальнейшим сносом горизонтальными ветрами. Приведем таблицу спектральных линий поглощения атмосферных газов в ИК-диапазоне 4-17 мкм [Зуев, Зуев, 1992], которые могут возбуждаться в аэроэлектрических структурах.

Газовая компонента воздуха	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
Длина волны, мкм,	7.7	7.8 17	13.5-16.5	9.6	13.3	5.5-7.5

N<sub>2</sub>-азот, O<sub>2</sub>-кислород, H-атомарный водород, Rn –радон, He-гелий не обнаруживают линий поглощения в ИК-спектре в диапазоне 7-17 мкм.

Спектры ИК излучения из областей сильного электрического поля в аэроэлектрической структуре должны быть искажены и уширены по сравнению со спектрами поглощения.

При наблюдениях с космического аппарата френкелевских областей на высотах от 5 до 15 км по-видимому наибольший эффект можно ожидать в более широкой области прозрачности 4-18 мкм. На высотах приземного слоя для наблюдений в безоблачном небе, по-видимому, интересен только участок спектра от 7 до 17 мкм. При облачности атмосфера прозрачна только для 7-8 мкм.

Измерения равновесного инфракрасного излучения с космических аппаратов в ИК диапазоне частот проводилось в ряде исследований [7, 8, 9, 10]. На космических снимках регистрировались зоны аномального уходящего ИК излучения. Было показано среднее повышение температуры сейсмоактивных областей на несколько градусов. По наблюдениям время существования таких аномалий от двух до десяти суток и оно обычно совпадает со временем активизации разломов, над которыми регистрируется уходящее инфракрасное излучение.

При диагностике короткоживущих составляющих атмосферы, появляющихся в связи с процессами подготовки землетрясения, можно предложить также использовать лазерное зондирование, применяя частоты, соответствующие спектральным линиям выбранных газов, а именно частоты продуктов плазмохимических реакций, возникающих при реакциях атмосферного азота и кислорода, причем не только устойчивых, N<sub>2</sub>O и NO<sub>2</sub>, но и неустойчивых короткоживущих. Выявление вариации редких компонент атмосферы, концентрация которых увеличивается перед землетрясениями, по их спектрам, может дать полезную информацию о процессе подготовки землетрясения.

**Выводы.** На основе полученных данных планируется сконструировать упрощенный специализированный ИК спектрометр, который будет применен для мониторинга ИК излучения в сейсмоактивных зонах на Камчатке и в Таджикистане.

Предполагается также разработать и поставить аппаратуру для анализа спектров областей инфракрасного свечения при круговом сканировании атмосферы в сейсмоактивной зоне на Камчатке и провести первые наблюдения.

#### Литература

1. *Войтов Г.И., Добровольский И.П.* Химические и изотопно-углеродные нестабильности потоков природных газов в сейсмически активных регионах // *Физика Земли.* 1994. № 3. С.20–31.
2. *Липеровский В.А., Михайлин В.В., Давыдов В.Ф., Богданов В.В., Шевцов Б.М., Умарходжаев Р.М.* Об инфракрасном излучении в атмосфере перед землетрясениями // *Геофиз. исслед.* 2007. Вып. 8. С.51–68.
3. *Liperovsky V.A., Meister C.-V., Liperovskaya E.V., Bogdanov V.V.* On the generation of electric field and infrared radiation in aerosol clouds due to radon emanation in the atmosphere before earthquakes // *Natural Hazard and Earth System Sci.* 2008. V. 8, N 5. P.1199–1205.
4. *Зуев В.Е., Зуев В.В.* Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 230 с.
5. *Васильев А.В., Михайлин В.В.* Введение в спектроскопию твердого тела. М.: Изд-во МГУ, 1987. 287 с.
6. *Тернов И.М., Михайлин В.В.* Синхротронное излучение. М.: Энергоатомиздат, 1990. 304 с.
7. *Горный В.И., Сальман А.Г., Тронин А.А., Шилин Б.В.* Уходящее инфракрасное излучение Земли – индикатор сейсмической активности // *Докл. АН СССР.* 1988. Т. 301, № 1. С.67–69.
8. *Ouzounov D., Freund F.* Mid-infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data // *Adv. Space Res.* 2004. V. 33. P.268-273.
9. *Ouzounov D., Bryant N., Logan T., Pulinets S., Taylor P.* Satellite thermal IR phenomena associated with some of the major earthquakes in 1999–2003 // *Phys. Chem. Earth.* 2006. V. 31. P.154-163.
10. *Tronin A.A., Hayakawa M., Molchanov O.A.* Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China // *J. Geodinam.* 2002. V. 33. P.519–534.