



6. *Абрамов А.Ю., Рябухо В.П., Шиповская А.Б.* Исследование процессов растворимости и диффузии полимера методом лазерной интерферометрии // Журн. техн. физики. 2007. Т.77, вып.12. С.45–50.
7. *Абрамов А.Ю., Диков О.В., Рябухо В.П., Шиповская А.Б.* Исследование процессов взаимодиффузии в тонких прозрачных средах методами лазерной интерферометрии // Компьютерная оптика. 2008. Т.32, №3. С.253–264.
8. *Ганжерли Н.М., Маурер И.А., Гранский П.В.* Исследование массопереноса белков методом голографической интерферометрии реального времени // Журн. техн. физики. 2004. Т.74, вып.1. С.68–71.
9. *Рахманкулов Р.Р., Кимсамов К.К., Чаньшев Ч.Ч.* Физические и химические свойства глицерина. М.: Химия, 2003. 100 с.
10. *Nishijima Y., Oster G.* Diffusion in glycerol-water mixture // Bull. Chem.Soc. Jpn. 1960. Vol.33. P.1649–1651.
11. *Garner F.H., Marchant P.J.M.* Diffusivities of associated compounds in Water // Trans. Instn. Chem. Eng. 1961. Vol.39. P.397–408.
12. *Маринин В.А.* Коэффициент диффузии некоторых веществ в смеси глицерин–вода // Журн. физ. химии. 1955. Т.29. С.1564–1568.
13. *Ternström G., Sjöstrand A., Aly G., Jernqvist Å.* Mutual Diffusion Coefficients of Water + Ethylene Glycol and Water + Glycerol Mixtures // J. Chem. Eng. Data. 1996. Vol.41. P.876–879.
14. *Франсон М.* Оптика спеклов / Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 171с.
15. *Борн Э., Вольф Э.* Основы оптики. М.: Наука, 1973. 760 с.
16. *Скоков И.В.* Многолучевые интерферометры в измерительной технике. М.: Машиностроение, 1989. 256 с.
17. *Вест Ч.* Голографическая интерферометрия / Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 504 с.
18. *Бекетова А.К., Белозеров А.Ф., Березин А.Н. и др.* Голографическая интерферометрия фазовых объектов. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. 232 с.

УДК 238.3

## МОДУЛИРУЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТОКСИЧНОСТЬ СЕРОВОДОРОДА

С.И. Баулин, В.Н. Карцев, А.В. Шантроха

Саратовский государственный университет  
E-mail: Somov@info.sgu.ru.

Проведены экспериментальные исследования по изучению влияния высокочастотного электромагнитного излучения малой интенсивности на токсические свойства сероводорода. Токсичность сероводорода при облучении снижается в 5–6 раз. Снижение токсических свойств связано, очевидно, с образованием димеров молекул газа.

**Ключевые слова:** сероводород, токсичность, электромагнитное излучение, ингаляция.

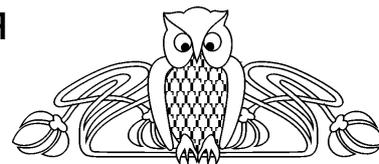
**Modulating Effect of High-Frequency Electromagnetic Radiation on Hydrogen Sulfide Toxicity**

S.I. Baulin, V.N. Kartsev, A.V. Shantrokha

On the basis of experimental investigation it is determined that high-frequency electromagnetic radiation of low intensity has a significant effect on the development of hydrogen sulfide toxicity during the inhalation process. Toxicity parameters reduce by 5–6 times if hydrogen sulfide is exposed to rays. The reduction of gas toxicity is obviously connected with appearance of quasi-stable intermolecular bonds that is the reason of dimer formations.

**Key words:** hydrogen sulfide, toxicity, electromagnetic radiation, inhalation.

Развитие химической и нефтеперерабатывающей промышленности неминуемо приводит к увеличению вероятности попадания целого ряда высокотоксичных соедине-



ний в окружающую среду, к появлению множества районов с повышенной вероятностью неконтролируемого выброса веществ - загрязнителей. Указанная опасность еще более повышается в современных условиях при угрозе проведения различного рода террористических актов.

Особого пристального внимания заслуживают массивные выбросы сероводорода, который относится к высокотоксичным нервным ядам. Значительное количество яда может поступить в окружающую среду из устья скважин (давление до 500 атм.) и трубопроводов, осуществляющих транспорт газа на газоперерабатывающий завод (давление до 200 атм.) Высокое содержание сероводорода в пластовом газе (до 30%) даже при незначительной аварии может вызвать в первые секунды образование облака размером до 100–200 кв.м с концентрацией сероводорода 15–20 г/куб.м, при этом в атмосферу может поступить до 200 т сероводорода [1].



Сероводород вызывает быстрое развитие необратимых нарушений в организме за счет прямого связывания с железосодержащими цитохромами, обеспечивающими перенос электронов в системе тканевого дыхания [2]. Гибель при смертельных концентрациях указанного ксенобиотика, составляющих 1.0 мг/л и выше, наступает в течение нескольких минут, что в значительной степени затрудняет проведение лечебно-эвакуационных мероприятий и оказание срочной медицинской помощи, особенно при массовых случаях поражения. Последствиями перенесенного несмертельного острого отравления сероводородом являются нарушения вегетативных реакций организма, снижение интеллекта, вплоть до слабоумия и психоза, параличи, хронический менингит, желудочно-кишечные заболевания, заболевания легочной системы, дистрофия миокарда и т.д. Другими словами, отравление приводит к стойкой инвалидизации и потери трудоспособности даже при отсутствии летального исхода.

Не менее опасными являются и хронические поражения при многократном поступлении в организм яда. Опасность такого рода поражений возрастает вследствие развития привыкания к запаху сероводорода.

Таким образом, исследования, направленные на разработку систем мониторинга состояния внешней среды и снижения токсического воздействия на организм серосодержащих сильнодействующих ядовитых веществ, являются актуальными, имеют важное экологическое и токсикологическое значение.

Экспериментальными исследованиями по изучению линий вращательного спектра сероводорода в диапазоне частот 100–300 ГГц при нормальных условиях были определены значения полуширины и интегральной интенсивности линий резонансного поглощения сероводорода, а также эффективные радиусы столкновений молекул сероводорода между собой и с газами, входящими в состав атмосферы [1]. На рис. 1 представлена зависимость коэффициента поглощения смеси сероводород–воздух в пределах резонансных частот 158–178 ГГц.

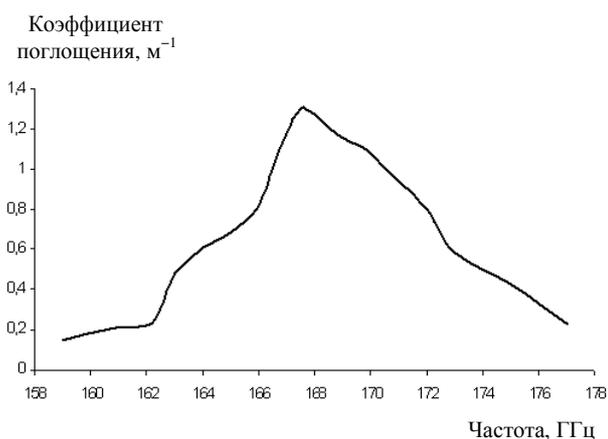


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения газовой смеси сероводород–воздух от частоты ЭМП облучения

Из представленных результатов следует, что контур линии ассиметричен. С возрастанием концентрации прослеживается тенденция сдвига резонансной частоты в сторону меньших частот. Причиной красного сдвига, по-видимому, является то, что средняя энергия взаимодействия молекул на больших расстояниях меньше нуля и в этих условиях происходит образование квазиустойчивых соединений молекул сероводорода (например, димеров). Возможность образования квазиустойчивых соединений объясняется тем, что при столкновении двух одинаковых молекул, одна из которых находится в возбужденном состоянии, возможна резонансная передача энергии возбуждения, причем эффективные сечения таких столкновений достаточно велики, особенно с возрастанием энергии возбуждения, что имеет место в субмиллиметровом диапазоне длин волн.

Таким образом, на основании проведенных экспериментально-теоретических исследований установлено, что для сероводорода, вне зависимости от процентного его содержания в составе воздушной среды, существует вполне определенная максимальная частота поглощения в миллиметровом диапазоне электромагнитного излучения. В то же время при резонансном поглощении газами электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона возможно образование димеров и полимеров молекул газа. Установленные закономерности позволили разработать и обосновать методы экологического мониторинга состояния воздушной среды.



Всё вышеуказанное послужило основанием для проведения комплексных экспериментальных исследований по оценке токсических свойств сероводорода при облучении газа электромагнитными полями различной длины ММ-диапазона. При этом частоты электромагнитного диапазона были выбраны в пределах частот максимума резонансного поглощения.

Исследования проводились в лабораторных условиях при температуре окружающей среды 18–20°C, относительной влажности 40–80%, при статической ингаляционной заправке. В опытах использовались половозрелые беспородные белые крысы массой тела 180–220 г в равном соотношении половой принадлежности. Сероводород получали из генератора, в котором без доступа кислорода из окружающей среды протекало взаимодействие парафина с кристаллической серой. Полученный газ, предварительно подвергшийся воздействию электромагнитного поля различной частоты в течение 1.5 ч, в необходимом объеме подавался в герметичную камеру объемом 24.0 л с содержащимися в ней подопытными животными. В качестве источника миллиметрового излучения использовался генератор Г4-142. Уровень мощности регулировался встроенным аттенюатором, измерялся термисторной головкой М5-50 и измерительным мостом М4-3. Максимальная мощность генератора (положение 100 внутреннего аттенюатора) в рабочей полосе частот составляла 12 мВт при плотности потока энергии 120 мкВт/кв.см.

Параметры токсичности оценивались расчетным методом с учетом времени наступления индивидуального летального исхода.

Результаты исследований представлены в таблице.

**Ингаляционная токсичность сероводорода, подвергшегося воздействию ЭМП для белых крыс**

Частота ЭМП, ГГц	St 50, мг·мин·л <sup>-1</sup>
Контроль	16.0 (13.3... 19.2)
130.0	17.3 (14.4... 20.8)
144.0	30.4 (25.3...36.5)
151.9	60.8 (50.7...73.0)
161.1	58.0 (48.3...69.6)
167.1	72.6 (60.5...87.1)
174.0	56.0 (46.7...67.2)
178.0	30.0 (25.0...36.0)

Как следует из данных, представленных в таблице, параметры токсичности сероводорода в значительной степени зависят от воздействия ЭМП, в частности, от его частотных характеристик. При этом токсичность газа снижается при предварительном его облучении в диапазоне от 130 ГГц и достигает своего минимального значения при частоте 167.1 ГГц. Снижение токсичности достигает 4.5 раза по отношению к контролю. Дальнейшее увеличение частоты облучения приводит к усилению токсических свойств.

Следует также отметить, что частотные характеристики максимума резонансного поглощения молекул сероводорода и частотные характеристики минимального проявления токсических свойств газа практически совпадают. Это наглядно следует из графика, представленного на рис. 2.

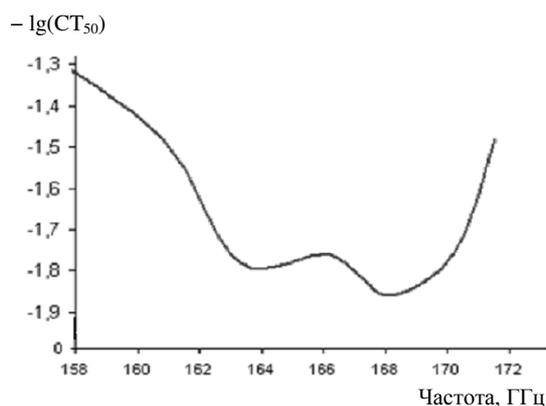


Рис. 2. Частотные характеристики минимального проявления токсических свойств сероводорода

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что высокочастотное электромагнитное облучение миллиметрового диапазона оказывает существенное влияние на проявление токсических свойств сероводорода для млекопитающих и приводит к снижению токсичности.

#### Список литературы

1. Николаев В.В. Взаимодействие СВЧ излучения с газами на резонансных частотах молекул и возможность радиолокационного мониторинга химического состава нижних слоев атмосферы: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Саратов, 2000. 119 с.
2. Вредные вещества в промышленности: В 3 т. / Под ред. Н.В. Лазарева. Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1977. Т.3. С.49–67.