

Е.Т. Протасевич

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО СВЕЧЕНИЮ ВОЗДУХА

Предложен метод регистрации радиоактивного загрязнения среды путем измерения излучения в СВЧ-диапазоне длин волн.

В последнее время в средствах массовой информации появились сообщения о наблюдениях свечения воздуха в районах радиоактивного загрязнения местности. Анализ этих материалов показывает, что имеется связь между наблюдаемым свечением и метеоусловиями.

Цель настоящего сообщения – обратить внимание на особенности ионизации воздушной среды при ее радиационном облучении, указать на возможное существование излучения не только в видимом, но и в СВЧ-диапазонах, а также на возможные каналы взаимосвязи свечения воздуха и метеоусловий.

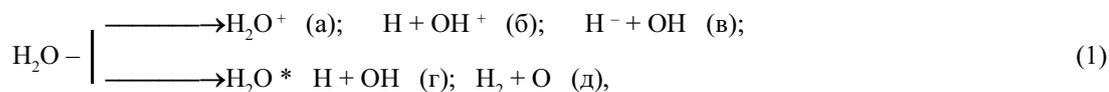
Известно [1 – 4], что в приземной атмосфере, подвергнутой ионизирующему воздействию, например, электрическому пробую, существуют условия, обеспечивающие ее длительное послесвечение. Эти условия связаны в первую очередь с содержанием воды в атмосфере как в паровой, так и в аэрозольной или жидкокапельной фазах. Независимо от вида ионизирующего воздействия установлены три стадии трансформации воды в атмосфере, обеспечивающие устойчивое длительное послесвечение воздуха:

- 1) испарение воды, если последняя в жидкокапельной фазе;
- 2) разложение молекул воды в паровой фазе;
- 3) протекание целого комплекса физико-химических реакций [5], в результате которых образуется холодная неравновесная плазма с длительным послесвечением.

Хотя в условиях радиоактивного облучения атмосферы роль первой стадии невелика из-за малого энерговклада, можно предполагать, что как причины свечения воздуха, так и связь этого свечения с метеоусловиями обусловлены протеканием второй и третьей стадий.

Относительно первой стадии агрегатно-физико-химических превращений H_2O следует сделать следующее замечание. В атмосфере, хотя и краткосрочно, но часто существуют условия пресыщения водяных паров. В процессе ионизации это должно приводить к смене направления превращений H_2O в первой стадии в противоположную сторону. В связи с этим можно ожидать некоторые изменения в свечении атмосферы в такое время (летом в ночные часы).

Отметим, что в результате процессов возбуждения и ионизации [6]:



а также за счет быстрых ионно-молекулярных реакций



в сочетании с процессом диссоциативной нейтрализации иона оксония



идет образование свободных атомов водорода по каналам реакций (1б), (1г) и (3а), а также гидроксила ОН (реакции (1б), (1в), (1г); (2а), (3б)). Это компоненты, активные в СВЧ-диапазоне. Такой факт представляет интерес в двух отношениях.

Во-первых, даже при слабом уровне радиационного фона возможна генерация радиоизлучения, которое легко можно зарегистрировать на значительном расстоянии от источника радиоактивного загрязнения окружающей среды. Во-вторых, за счет дополнительной <подсветки> СВЧ-излучением воздушной среды, подвергающейся воздействию ионизирующего излучения, можно усилить эффективность действия радиационного фона и тем самым обнаружить его.

Кроме частоты 1420 МГц для H осуществить вышеупомянутые задачи можно также на частотах 1612, 1665, 1667 и 1721 МГц [7]. Эти частоты соответствуют сверхтонким переходам в молекуле радикала ОН, который присутствует подобно водороду практически во всех реакциях разложения воды, например, (1б), (1в), (1г), (2а) и (3б).

Необходимо отметить, что в отличие от молекул H_2O другие компоненты воздуха для своего разложения требуют, как правило, более высокий энергетический вклад, чем водяной пар.

Произведем оценку возможности регистрации указанного СВЧ-излучения в случае практической реализации предлагаемого метода. Интенсивность излучения (линии) определяется вероятностью радиационного перехода A_{nk} и может быть рассчитана по формуле [8]

$$S = \hbar \omega_{nk} A_{nk}, \quad (4)$$

где $\hbar \omega = E_n - E_k$ – энергия кванта.

Согласно [9] энергия сверхтонкого расщепления стабильных уровней атомов водорода (основной терм $^1H(^2S_{1/2})$, электронный терм $^2S_{1/2}$, квантовые числа полного момента $F, F'(1, 0)$) для $\Delta v (F, F') = 1420, 4057517$ МГц составляет $\Delta E (F, F') = 47, 3797 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1} \approx 10^{-24} \text{ Дж}$, вероятность перехода A_{nk} равна $3 \cdot 10^{-15} \text{ с}^{-1}$ [10]. Тогда интенсивность излучения $S' = 10^{-24} \cdot 3 \cdot 10^{-15} = 3 \cdot 10^{-39} \text{ Вт}$.

В случае, если относительная влажность воздуха $\varphi = 100\%$, то молекулы воды составляют $\sim 3\%$ от общего объема смеси (воздух + H_2O), что в пересчете на концентрацию частиц соответствует 10^{18} молекулам H_2O в см^3 . Если допустить, что разложилось всего $\sim 10\%$ от этого числа молекул воды, то это составит $\sim 2 \cdot 10^{17}$ атомов водорода. Отсюда следует, что 1 см^3 будет излучать $\sim 6 \cdot 10^{-22} \text{ Вт}$. Опыт работы АЭС показывает, что размер облака над объектом атомной энергетики составляет $\sim 0,5 \text{ км}^3$ ($d = 1000, h = 600 \text{ м}$), тогда нетрудно рассчитать, что мощность его излучения равна $\sim 3 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}$. Постараемся ответить на вопрос, является ли достаточным такой уровень излучения для его регистрации современными средствами наблюдений или нет.

Чувствительность современных приемников дециметровых и сантиметровых волн $P_{\text{пр.мин}} = 10^{-13} \div 10^{-14} \text{ Вт}$ [11]. Сравнение такой чувствительности, достигнутой еще в 1967 г., с уровнем излучения облака позволяет утверждать, что излучение атомарного водорода может быть зарегистрировано современными средствами радиолокации. Однако при этом необходимо иметь в виду два важных обстоятельства. Во-первых, напряженность электрического поля электромагнитной волны убывает пропорционально квадрату расстояния от источника излучения, то есть измерения необходимо производить вблизи объекта атомной энергетики. Во-вторых, стационарный характер фонового излучения и минимальный уровень помех (даже с учетом атмосферы), соответствующие интервалу частот $10^3 \div 10^4 \text{ МГц}$ [12], повышают надежность приема сигнала на частоте 1420 МГц.

Аналогичным образом обстоят дела и с возможностью регистрации излучений гидроксила ОН.

Из радиофизики также известно, что при распространении СВЧ-излучения в среде с переменной диэлектрической проницаемостью ϵ происходит отражение радиоволн. (Это обстоятельство используется в радиолокации). Пары воды обладают большой диэлектрической проницаемостью, и при их разложении ϵ среды будет изменяться, что может служить дополнительным критерием при радиолокационной съемке загрязнения окружающей среды. Использование же лазерного излучения в этом случае вряд ли приведет к такому же результату.

Таким образом, <свечение> воздуха над объектами ядерной энергетики является не перво-причиной аварий на этих объектах, а следствием таких аварий на них и может служить надежным индикатором повышения радиационного фона.

1. Куриленков Ю.К., Протасевич Е.Т. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. N 14. С. 7 – 12.
2. Копытин Ю.Д., Протасевич Е.Т., Чистякова Л.К., Шишковский В.И. Воздействие мощного лазерного и ВЧ-излучений на воздушную среду. Новосибирск: Наука, 1992. 190 с.
3. Протасевич Е.Т. // ТВТ. 1989. Т. 27. N 6. С. 1206 – 1218.
4. Протасевич Е.Т. // Изв. вузов. Физика. 1992. N 3. С. 87 – 104.
5. Григорьев В.П., Протасевич Е.Т., Бейсембаев Ж.К., Поташев А.Г. Исследование физико-химических процессов при ионизации влажного воздуха // Сиб. физ.-тех. ж. 1992. N 3. С. 57 – 62.
6. Дзантиев Б.Г., Ермаков А.Н., Попов В.Н. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Атомно-водородная энергетика. 1979. N 1 (15). С. 86 – 96.
7. Голдсмит Д., Оуэн Т. Поиски жизни во Вселенной. М.: Мир, 1983. 488 с.
8. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1992. 536 с.
9. Рациг А.А., Смирнов Б.М. Справочник по атомной и молекулярной физике. М.: Атомиздат, 1980. 240 с.
10. Шкловский И.С. Космическое излучение. М.: Гостехиздат, 1956. 341 с.
11. Справочник по основам радиолокационной техники. Военное издательство, 1967. 768 с.
12. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1987. 320 с.

Научно - исследовательский
институт ядерной физики
при Томском политехническом
университете

Поступила в редакцию
21 июня 1993 г.

E. T. Protasevich. Technique for the Detection of Radioactive Pollutions of the Environment by Air Glow Analysis.

This paper presents a technique for recording radioactive pollutions by measuring radiation in the superhigh frequency region.