

ПОИСК ВНЕЗЕМНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ И ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ВЫЖИВАНИЯ ЗЕМНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В КОСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПО СИГНАЛАМ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ МИКРООРГАНИЗМОВ

Г.К. Гарипов¹, М.И. Панасюк^{1,2,*}, И.В. Конюхов³, С.И. Погосян³, А.Б. Рубин³, Д.Е. Андреев⁴. * - e-mail: panasyuk@sinp.msu.ru

1. НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2. Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 3. Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 4. НИИ физико-химической биологии им. Н.Белозерского, МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия



Детектор дистанционного зондирования микроорганизмов на борту спутника. Зондирующее синее излучение 460нм, флуоресцентное красное свечение 680нм. Вес научной аппаратуры спутника менее 1 кг, средняя мощность потребления менее 3Вт.

В данной работе рассматривается метод дистанционного зондирования поверхности космического объекта вспышками света для поиска микроорганизмов. Признаком существования биоактивности является обнаружение специфической флуоресценции микроорганизмов, когда объект исследования освещается светом, возбуждающим излучение флуоресценции.

Показано, что такие исследования могут проводиться непосредственно из космоса на площадях поверхности соизмеримых с размерами космического тела как на траекториях полета космического аппарата вблизи космического объекта, так и с орбиты спутника космического тела, или на его поверхности после посадки спускаемого аппарата, а также исследовать микроорганизмы внутри космического аппарата. При этом колонии микроорганизмов могут быть обнаружены на расстоянии сотен километров от поверхности космического тела, [Слайд 2](#) а на расстоянии десятков метров единичные микроорганизмы [Слайд 3](#) При этом флуоресценция микроорганизмов в дальнем красном диапазоне может наблюдаться при возбуждении флуоресценции и в синем и в ближнем красном диапазонах оптического излучения, что позволяет значительно повысить распознаваемость микроорганизмов на фоне флуоресценции минералов.

Одним из источников возникновения микроорганизмов может быть панспермия, которая предполагает появление микроорганизмов на Земле из космоса. В данной работе предлагается искать микроорганизмы на космических телах в околоземном космическом пространстве, которые могли бы появиться в космосе с Земли. В этом случае источником панспермии является Земля. В связи с этим возникает вопрос о выживании наземных микроорганизмов в космических условиях. Для решения этой задачи предлагается дистанционно изучать микроорганизмы с помощью автоматических биологических лабораторий, установленных на микроспутниках. В этом случае для изучения динамики выживаемости микроорганизмов, помещенных в микрокапсулы с изменяющейся средой обитания в реальном времени, предлагается также использовать свойства флуоресценции возникающей при воздействии на микроорганизмы световых вспышек. В случае активных фотосинтезирующих организмов, запасующих энергию квантов света в продуктах фотосинтеза, интенсивность сигнала флуоресценции, зависит от их состояния и меняется во времени по сложному закону (т.н. индукционная кривая флуоресценции) в отличие от мертвых клеток или свободных пигментов и минералов.

Обнаружение колоний микроорганизмов

Рассмотрим детектора с линзой Френеля $\check{S} = 100 \text{ см}^2$, расстояние до объекта $H = 100 \text{ км} = 1 \times 10^7 \text{ см}$, В этом случае геометрический фактор детектора будет равен: $\omega = \check{S}/4\pi H^2 = 100/4 \times 3.14 \times (1 \times 10^7)^2 = 1 \times 10^{-13}$, мощность излучения лазерного диода синего излучения примем $P = 100 \text{ Вт}$, который при энергии фотона около $3 \text{ эВ} = 5 \times 10^{-19} \text{ Дж}$, излучает $n = 100/5 \times 10^{-19} = 2 \times 10^{20}$ фотонов в секунду. Если квантовый выход флюоресценции микроорганизмов составляет около $\nu = 10^{-2}$, то число флюоресцентных фотонов, попавшими в детектор при непрерывном покрытии поверхности микроорганизмами $\xi = 1$, составит: $N = \xi \times n \times \nu \times \omega = 1 \times 2 \cdot 10^{20} \times 10^{-2} \times 10^{-13} = 2 \cdot 10^5$ фотонов. Квантовая эффективность фотокатода ФЭУ примем $\eta = 0.2$ в синей области оптического спектра, в красной области оптического спектра не хуже 0.05 . В синей области оптического спектра от одного импульса света будет регистрироваться $2 \cdot 10^5 \times 0.2 = 0.4 \cdot 10^5$, а в красной $0.2 \cdot 10^4$ фотоэлектронов. Фон ночного неба на космических объектах вызванный светом звезд можно оценить как $\psi = 0.8 \cdot 10^7$ фотонов/см²×ср×сек. При угле обзора 5 градусов, телесный угол обзора составит $\Omega = 64/100^2 = 6.4 \cdot 10^{-3}$ ср. При этом в поле зрения детектора за одну секунду, попадет $N = \check{S} \times \psi \times \tau \times \Omega = 100 \times 0.8 \cdot 10^7 \times 1 \times 6.4 \cdot 10^{-3} \approx 5 \cdot 10^6$ фотонов фона. Если квантовая эффективность фотокатода $0,2$, то получается $0.2 \times 6.4 \cdot 10^6 = 1 \times 10^6$ фотоэлектронов. Флюктуации, которых будут $(1 \times 10^6)^{1/2} \approx 1 \cdot 10^3$ фотоэлектронов. Отношение сигнал / шум составит $\check{S}/\check{N} = 0.4 \cdot 10^5 / 1 \cdot 10^3 \approx 40\sigma$ в синей области оптического спектра. В красной области спектра это соотношение будет хуже примерно в 2 раза из-за снижения эффективности фотокатода. Естественно, если расстояние до объекта будет в 10 раз меньше, это соотношение увеличится на два порядка. Отметим, что предполагается обнаружение флюоресценции на космических объектах при зондирующих вспышках света в синем и красном диапазонах, что повышает достоверность обнаружения микроорганизмов на фоне флюоресценции минералов.

Обнаружение одиночных микроорганизмов

При расходимости зондирующего луча 0,06 градуса и расстоянии до объекта $H=100$ м с помощью аналогичного расчета можно найти, что при зондировании поверхности космического тела одной вспышкой света можно обнаружить флюоресцентное свечение от одной клетки попавшей в поле зрения детектора .

Действительно, при расстоянии от детектора до поверхности $H = 100$ метров (10^4 см), оптической мощности лазерного диода 100 Вт, расходимости луча 0.06 градуса будет освещаться $S = 0.01\text{м}^2$ поверхности космического тела. Плотность потока излучения на поверхности составит $10^4\text{Вт}/\text{м}^2$ или $10^4/5 \cdot 10^{-19} = 2 \cdot 10^{22}$ фотонов/ м^2 . Известно, что диаметр клетки водоросли примерно равен 10^{-5}м , площадь такой клетки 10^{-10} м^2 . Число фотонов попавших в клетку составит $2 \cdot 10^{22}$ фотонов/ $\text{м}^2 \cdot 10^{-10}\text{м}^2 = 2 \cdot 10^{12}$ фотонов, при конверсионной эффективности клетки 10^{-2} поток флюоресцентного света от клетки составит $10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{12} = 2 \cdot 10^{10}$ фотонов. Геометрический фактор детектора с площадью линзы $\check{S} = 100$ см^2 на расстоянии 100 метров составит $\check{S} / 4\pi H^2 = 100/12 \cdot 10^8 \approx 8 \cdot 10^{-8}$. В этом случае от одной клетки в детектор попадет $2 \cdot 10^{10} \times 8 \cdot 10^{-8} = 1.6 \cdot 10^3$ фотонов, или при конверсионной эффективности фотокатода 0.2 полезный сигнал составит около $3.2 \cdot 10^2$ фотоэлектронов. Телесный угол обзора детектора составит $S / H^2 = 0.01/100^2 = 10^{-6}$ стер. При уровне фона $0.8 \cdot 10^7$ фотонов·сек· см^2 стер в детектор попадет $0.8 \cdot 10^7 \times 10^{-6} = 8$ фотонов или при конверсионной эффективности фотокатода 0.2 образуется около одного фотоэлектрона. Что существенно меньше, чем собственные флюктуации тока фотокатода ФЭУ, которые в современных ФЭУ составляют около 10 фотоэлектронов за секунду. Таким образом, в рассматриваемом случае, отношение сигнал шум может составить $3.2 \cdot 10^2 / 10 \approx 32\sigma$. При этом, соотношение сигнал шум будет увеличиваться пропорционально числу микроорганизмов находящихся в поле зрения детектора, а также при приближении детектора к объекту.