

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-2.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/51TVN217.pdf>

Статья опубликована 18.04.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Белов М.Л., Федотов Ю.В., Городничев В.А., Кравцов Д.А. Анализ возможности контроля нефтяных загрязнений земной поверхности на безопасной для зрения длине волны излучения 0,355 мкм // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/51TVN217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, проект № 13.7377.2017/БЧ

УДК 004.9

Белов Михаил Леонидович

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Россия, Москва¹
Профессор кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы»
Доктор технических наук
E-mail: belov@bmstu.ru

Федотов Юрий Викторович

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Россия, Москва
Доцент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы»
Кандидат технических наук
E-mail: fed@bmstu.ru

Городничев Виктор Александрович

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Россия, Москва
Зав. кафедры «Элементы приборных устройств»
Доктор технических наук
E-mail: gorod@bmstu.ru

Кравцов Денис Александрович

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Россия, Москва
Магистр кафедры «Элементы приборных устройств»
E-mail: ekomonit@bmstu.ru

**Анализ возможности контроля нефтяных загрязнений
земной поверхности на безопасной для зрения длине
волны излучения 0,355 мкм**

Аннотация. Статья посвящена анализу возможности контроля нефтяных загрязнений земной поверхности на безопасной для зрения длине волны излучения 0,355 мкм. Создана база данных спектров лазерно-индуцированной флуоресценции нефти, нефтепродуктов, различных типов морской и речной воды, разных видов растительности при возбуждении флуоресценции на длине волны 0,355 мкм. Дистанционный лазерный метод мониторинга нефтяных

¹ 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

загрязнений основан на регистрации спектров лазерно-индуцированного флуоресцентного излучения земной поверхности. Анализ спектров из созданной базы данных показывает существенное отличие спектров флуоресценции разных типов нефтепродуктов от спектров флуоресценции основных (мешающих обнаружению разливов нефтепродуктов) типов элементов ландшафта (воды, растений и объектов с асфальтовым покрытием). Особенности спектров флуоресценции нефтепродуктов при возбуждении флуоресценции на длине волны 0,355 мкм могут быть физической основой обнаружения участков нефтяных загрязнений, вызванных утечками нефти малой интенсивности из трубопроводов. Это позволяет рассматривать лазерный флуоресцентный метод на безопасной для зрения длине волны излучения 0,355 мкм как один из перспективных вариантов дистанционной системы обнаружения утечек низкой интенсивности из нефтепроводов. Предельная высота полета авиационного носителя для дистанционного мониторинга нефтяного загрязнения на земной поверхности, вызванного утечкой нефтепровода, составляет порядка 120 м.

Ключевые слова: база данных спектров флуоресценции; анализ спектров лазерно-индуцированной флуоресценций земной поверхности; безопасная для зрения длина волны; контроль нефтяных загрязнений

Введение

Среди веществ, загрязняющих окружающую среду, одно из первых мест принадлежит нефти и продуктам ее переработки (см., например, Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в российской федерации за 2015 год, а также [1, 2]). Попадание нефти и её компонентов в почву, воздух или воду вызывает изменение их физических, химических, биологических свойств, нарушает протекание естественных биохимических процессов. В ходе трансформации углеводороды нефти способны образовывать токсичные соединения, обладающие опасными для здоровья человека свойствами.

Российская Федерация - одна из главных нефтедобывающих держав, и она же - лидер по масштабу «нефтепотерь». Россия теряет 3,5-4,5% нефтяного сырья при добыче и транспортировке. Такова статистика НП «Центр экологии ТЭК». А по данным РБК, при уровне добычи в 510 млн тонн в год потери составляют 18-23 млн тонн. Больше количество нефти изливается при её транспортировке по трубопроводам в результате их изношенности или механических повреждений (см., например, Масштабные прорывы: топ-5 крупнейших разливов нефти на нефтепроводах Режим доступа: <http://neftianka.ru/masshtabnye-proryvy-top-5-krupnejshix-razlivov-nefti-na-nefteprovodax/>).

Для устранения последствий утечек нефти при транспортировке по трубопроводам большое значение имеет оперативность их обнаружения.

Существующие в настоящее время системы обнаружения утечек на трубопроводах (см., например, Система обнаружения утечек СОУ-ИСА ООО «Инсист Автоматика». Режим доступа: <http://www.industrialsystems.ru/articles/sistema-obnaruzheniya-utechek-sou-isa-ooo-insist-avtomatika/>) обладают пределом чувствительности ~1-0,2% расхода нефтепровода и утечки меньшей интенсивностью не регистрируют.

Перспективным методом дистанционного контроля нефтепроводов (особенно для ненаселенной или малонаселенной местности) является их мониторинг при использовании авиационного носителя, например, беспилотного летательного аппарата с различного вида сенсорами. Такой мониторинг можно провести за короткий промежуток времени с минимальными финансовыми затратами.

Использование в качестве сенсоров аппаратуры лазерного зондирования позволяет проводить мониторинг независимо от времени суток (лазерная аппаратура не требует естественного освещения) и работать (используя небольшие высоты полета носителя) в достаточно широком интервале атмосферных условий. Лазерные системы дистанционного зондирования нефтяных загрязнений обеспечивают высокую разрешающую способность по координатам и позволяют обнаруживать "пятна" нефти и нефтепродуктов малых размеров (что особенно важно при обнаружении разливов нефтепродуктов малой интенсивности) [3, 4].

Статья посвящена анализу возможности дистанционного контроля утечек нефти малой интенсивности из трубопроводов.

Постановка задачи

Для контроля разливов нефти на водной поверхности на сегодняшний день разработаны различные лазерные флуоресцентные и спектрофотометрические методы и приборы (см., например, [3-9]).

Задача лазерного контроля нефтяных загрязнений на поверхности суши гораздо сложнее, чем задача лазерного контроля нефтяных загрязнений на водной поверхности [10, 11] (из-за большого числа мешающих факторов). Поэтому, для обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности до недавнего времени использовали лишь лабораторные методы, основанные на химическом анализе или флуоресцентной диагностики специально подготовленных проб загрязненных почв (см., например, [2]).

В недавних работах [10, 11] на основе большого объема экспериментальных данных была разработана основа лазерного флуоресцентного метода мониторинга нефтяных загрязнений на земной поверхности с использованием длины волны возбуждения флуоресценции 0,266 мкм, который позволяет проводить дистанционный контроль утечек нефти малой интенсивности из трубопроводов.

Однако, с точки зрения безопасности (прежде всего для глаз) лазерной аппаратуры предпочтительней использовать для возбуждения флуоресценции нефтепродуктов не длину волны 0,266 мкм (четвертая гармоника YAG:Nd лазера), а длину волны 0,355 мкм (третья гармоника YAG:Nd лазера). При длительностях лазерных импульсов, характерных для систем зондирования (единицы и десятки наносекунд) допустимые пределы излучения на длине волны 0,355 мкм существенно больше, чем на длине волны 0,266 мкм (см., например, [12], а также ГОСТ 31581-2012 Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий).

Кроме того (и это важно для систем дистанционного контроля), излучение на длине волны 0,355 мкм существенно меньше ослабляется в земной атмосфере, чем излучение на длине волны 0,266 мкм (см., например, [13]).

Ниже проводится исследование возможностей лазерного флуоресцентного метода мониторинга нефтяных загрязнений на земной поверхности (для контроля утечек нефти малой интенсивности из трубопроводов) с использованием перспективной длины волны возбуждения флуоресценции 0,355 мкм.

Анализ спектров лазерно-индуцированной флуоресценции нефтепродуктов и элементов земного ландшафта на длине волны возбуждения 0,355 мкм

Задача обнаружения лазерным флуоресцентным методом загрязнений нефтепродуктами земной поверхности существенно отличается от задачи обнаружения загрязнений

нефтепродуктами водной поверхности. Сигнал лазерно-индуцированной флуоресценции от нефтяного загрязнения на земной поверхности, как правило, значительно меньше сигнала лазерно-индуцированной флуоресценции от нефтяного загрязнения на водной поверхности (нефтепродукты стекают под уклон, впитываются в грунт, загрязненные участки покрываются пылью и т.д.). При этом, флуоресцентный сигнал от нефтяного загрязнения становится сравним с флуоресцентным сигналом от элементов природного ландшафта (водоемы, растительность) и антропогенных объектов (например, асфальтовая дорога или площадка).

Чтобы отличить участки загрязнения нефтепродуктами от элементов природного ландшафта и антропогенных объектов, необходимо привлекать данные о форме спектров лазерно-индуцированной флуоресценции как нефтепродуктов, так и элементов природного ландшафта и антропогенных объектов.

Для анализа возможностей лазерного флуоресцентного метода контроля нефтяных загрязнений земной поверхности была сформирована база данных спектров лазерно-индуцированной флуоресценции при возбуждении флуоресценции на длине волны 0,355 мкм.

В базе данных содержится в цифровом виде информация о форме спектров флуоресценции в диапазоне 0,35-0,75 мкм; ссылка на источник информации; класс вещества (нефтепродукт или нет); для нефтепродукта указывается его тип (сырая нефть, тяжелые нефтепродукты, легкие нефтепродукты) и марка конкретного нефтепродукта, для элемента ландшафта указывается его тип (вода, растительность, почва, асфальт) и приводится его описание, дата и место измерения.

В базе данных записаны экспериментально измеренные [14-32] спектры лазерно-индуцированной флуоресценции:

- различных типов нефти и нефтепродуктов (как для толстых пленок, так и для пленок с микронной и субмикронной толщиной) - нефть Arabian; нефть Kirkuk, Iraq; нефть Saharan Blend; нефть Arabian extra light; нефть Libyan; нефть Buzachinsk, Russia; нефть Arabian medium; нефть Basra; нефть German; нефть Nihian; нефть Asgard; нефть Azeri; нефть South Louisiana; нефть Jakutiya; нефть Karotnya; нефть Talakansk; нефть Absheron; нефть West Siberian; нефть Ust-Kutsk; дизельное топливо, Estonia; моторное масло; нефть Shell Diala; нефть SAE 30; флотский мазут; автомобильное дизельное топливо; судовое дизельное топливо; heater fuel; gasoil; gasoline; мазут Karotnya;
- различных типов морской, речной воды;
- разных видов растительности (кукурузы, фасоли, свеклы, пшеницы, табака, гороха, шпината, винограда, апельсина, рододендрона, магнолии, вишни, лайма, калины, ивы, падуба, бука).

Для примера на рисунках 1-5 показаны спектры флуоресценции (в относительных единицах) разных типов нефтепродуктов и основных мешающих обнаружению разливов типов элементов ландшафта - воды, растений и асфальта.

На рисунках 1а и 1б приведены спектры флуоресценции различных видов нефтепродуктов. Обозначения на рисунке 1а [17]: 1 - автомобильное дизельное топливо; 2 - судовое дизельное топливо; 3 - нефть. Обозначения на рисунке 1б [14]: 1 - моторное масло; 2 - масло Shell Diala; 3 - масло SAE 30; 4 - флотский мазут; 5 - нефть Arabian medium; 6 - нефть Basra; 7 - нефть German; 8 - нефть Nihian.

На рисунках 2а и 2б показаны спектры флуоресценции разных видов растительности. Обозначения на рисунке 2а [17]: 1 - трава; 2 - тополь (высокие всплески в середине спектров - излучение на 0,532 мкм). На рисунке 2б [31] приведен спектр флуоресценции листьев бука.

На рисунке 3а и 3б приведены спектры флуоресценции разных типов воды. Обозначения на рисунке 3а [14]: 1 - Балтийское море около Паланги; 2 - Балтийское море около Гирулиа; 3 - порт Клайпеды; 4 - Куршский залив; 5 - река Нярис. На рисунке 3б [15] приведены спектры флуоресценции разных (1, 2, 3) участков Черного моря вблизи побережья Румынии.

На рисунке 4 [10] показаны спектры флуоресценции разных образцов асфальтового покрытия. Спектры получены при длине волны возбуждения флуоресценции 0,266 мкм. Однако, для оценки формы спектров асфальта (как мешающего фактора при мониторинге нефтяных загрязнений) можно использовать и их (в отсутствии экспериментальных данных для длины волны возбуждения 0,355 мкм), так как согласно правилу Коши (см., например, Люминесценция и люминесцентные методы анализа. Режим доступа: http://www.chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimiya_i_tekhnologa/04_analiticheskaya_khimiya_chast_III/4022) форма спектров молекулярной флуоресценции (в большинстве случаев) не зависит от длины волны возбуждающего света. Рисунок 4 показывает, что спектр флуоресценции асфальта имеет в среднем (если не принимать во внимание небольших случайных изменений) сглаженный характер.

Рисунки 1-4 (как и анализ всех спектров лазерно-индуцированной флуоресценции из созданной базы данных) показывают существенное отличие спектров флуоресценции разных типов нефтепродуктов от спектров флуоресценции основных (мешающих обнаружению разливов нефтепродуктов) типов элементов ландшафта (воды, растений и объектов с асфальтовым покрытием).

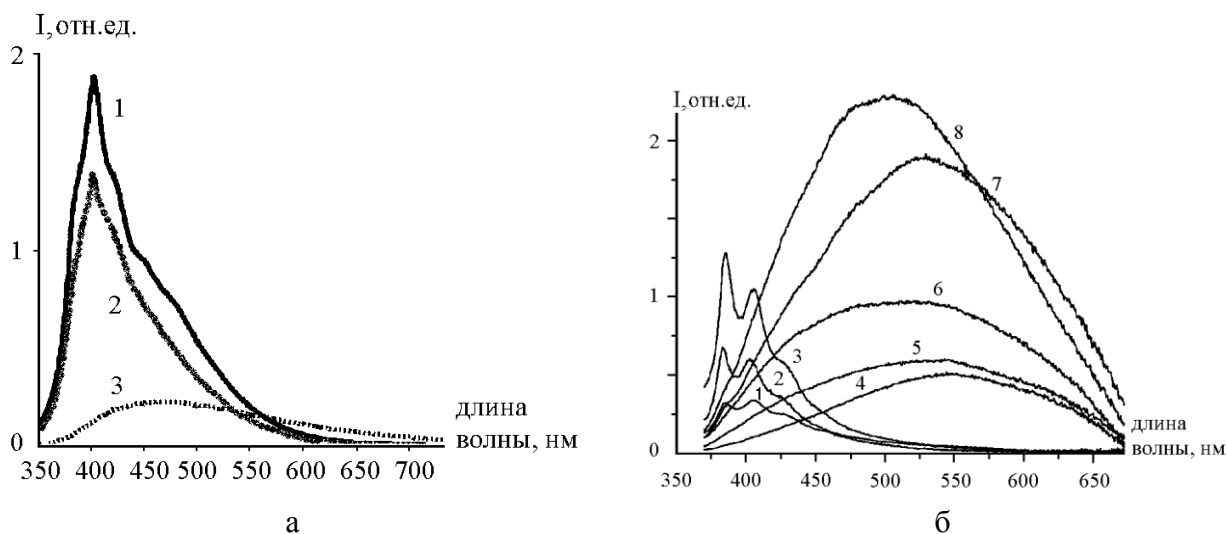


Рисунок 1. Спектры флуоресценции различных видов нефтепродуктов (составлено автором)

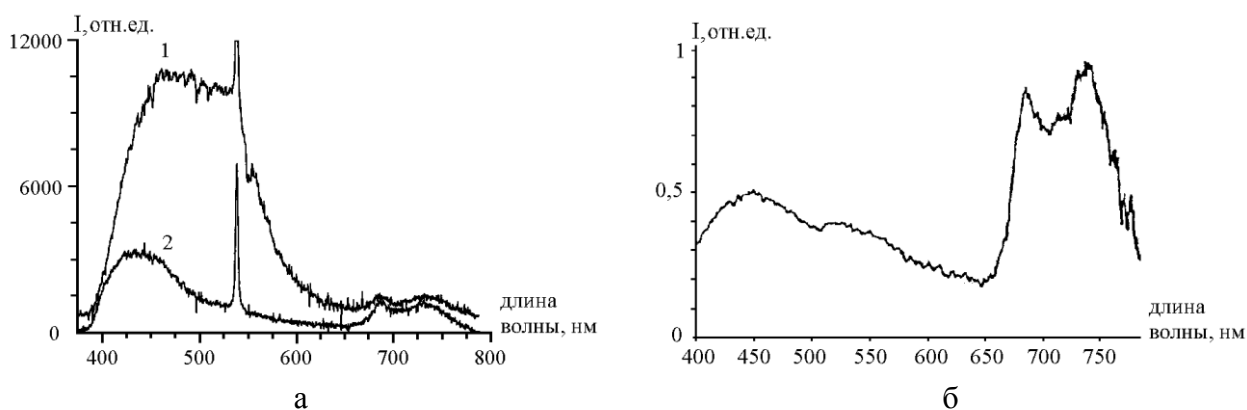


Рисунок 2. Спектры флуоресценции различных видов растительности (составлено автором)

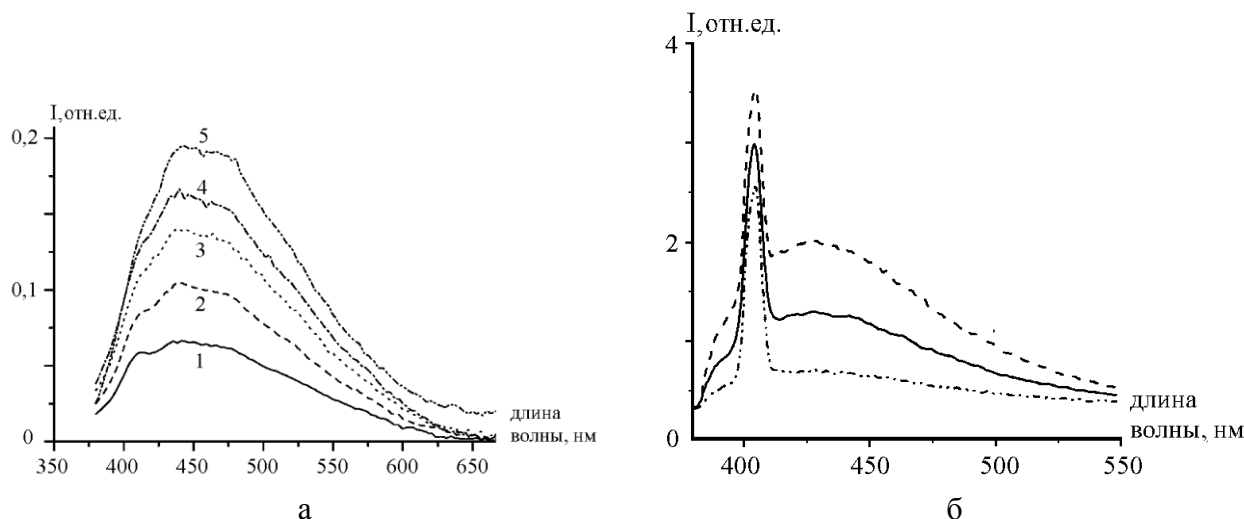


Рисунок 3. Спектры флуоресценции различных типов вод (составлено автором)

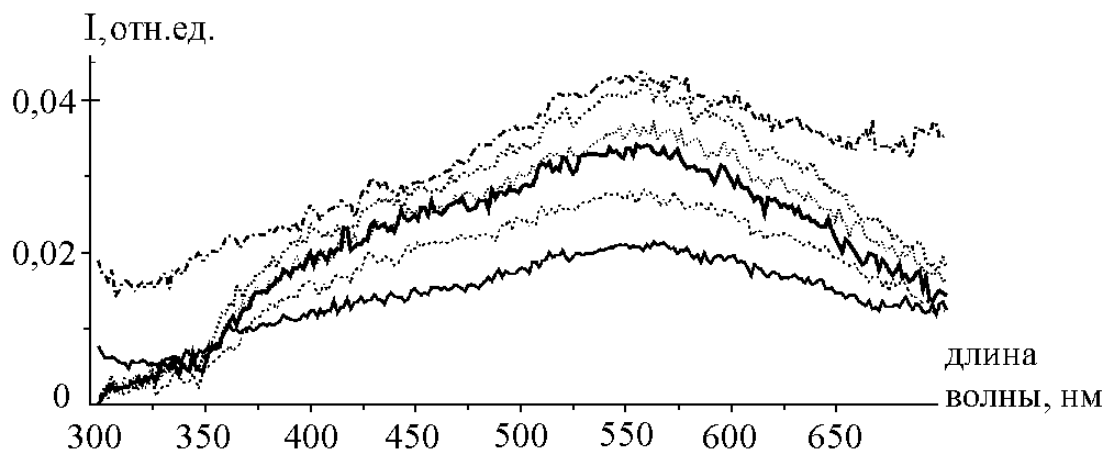


Рисунок 4. Спектры флуоресценции разных образцов асфальта (составлено автором)

Таким образом, особенности спектров флуоресценции нефтепродуктов при возбуждении флуоресценции на длине волны 0,355 мкм могут быть физической основой обнаружения участков нефтяных загрязнений, вызванных утечками нефти малой интенсивности из трубопроводов.

Проведем теперь оценку возможной высоты авиационного носителя для лазерной флуоресцентной системы дистанционного контроля нефтяных загрязнений земной поверхности.

Оценка высоты авиационного носителя для лазерной флуоресцентной системы дистанционного контроля нефтяных загрязнений земной поверхности

Высоту полета авиационного носителя для лазерной флуоресцентной системы дистанционного контроля нефтяных загрязнений земной поверхности можно оценить из условия равенства (для предельной высоты полета авиационного носителя) мощности лазерно-индуцированного флуоресцентного сигнала, регистрируемого приемником, и пороговой мощности фотоприемника.

Мощность P лазерно-индуцированного флуоресцентного сигнала, регистрируемого приемником (от участка, загрязненного нефтью), может быть рассчитана по формуле [3]:

$$P(z) = P_L \frac{\lambda_{ex}}{\lambda_{fl}} \frac{1-A}{4\pi} \phi_1 \frac{S_r}{z^2} T_{ts} T_r T(\lambda_{ex}) T(\lambda_{fl})$$

где: P_L - мощность лазерного излучения на длине волны возбуждения флуоресценции;

λ_{ex} - длина волны лазерного излучения возбуждения флуоресценции;

λ_{fl} - длина волны излучения флуоресценции;

A - альbedo зондируемой поверхности на длине волны возбуждения флуоресценции;

ϕ_1 - квантовый выход флуоресценции;

S_r - площадь приемного объектива;

z - высота полета авиационного носителя;

T_{ts} - пропускание передающей оптической системы;

T_r - пропускание приемной системы;

$T(\lambda_{ex})$ - прозрачность слоя атмосферы на длине волны λ_{ex} возбуждения флуоресценции;

$T(\lambda_{fl})$ - прозрачность слоя атмосферы на длине волны λ_{fl} излучения флуоресценции.

Для вертикальной трассы в схеме моностатического зондирования для прозрачности $T(\lambda)$ слоя атмосферы от земной поверхности ($z = 0$) до высоты Z полета носителя имеем

$$T(\lambda) = \exp\left\{-\int_0^Z [\varepsilon(\lambda, x) + k(\lambda, x)] dx\right\},$$

$\varepsilon(\lambda, x)$ - вертикальный профиль показателя аэрозольного ослабления атмосферы;

$k(\lambda, x)$ - вертикальный профиль показателя поглощения атмосферными газами.

В качестве фотодетектора в системах лазерного мониторинга УФ, видимого и ближнего ИК спектральных диапазонов часто выбирается фотозлектронный умножитель (ФЭУ). Пороговая мощность ФЭУ определяется формулой [4]:

$$P_{thr} = \frac{\mu [2e(I_t + I_b)(1+B)\Delta f]^2}{S_k}$$

где: μ - отношение сигнал/шум;

$e=1.6 \cdot 10^{-19}$ [А·с] - заряд электрона; $(1+B) \cong 2.5$;

I_t - темновой ток фотокатода ФЭУ;

I_b - среднее значение тока, возникающего из-за фонового излучения;

Δf - полоса частот приемного тракта;

S_k - спектральная чувствительность фотокатода ФЭУ.

В случае узкого спектрального фильтра и узкого поля зрения приемной оптической системы выражение для I_b имеет вид [4]:

$$I_b = T_r L_b S_r (\pi \alpha_r^2) S_k \Delta \lambda,$$

где: L_b - яркость фонового излучения;

$2\alpha_r$ - угол поля зрения приемной оптической системы;

$\Delta \lambda$ - полоса пропускания спектрального фильтра.

В УФ, видимом и ближнем ИК спектральных диапазонах источником фонового излучения является солнечное излучение, рассеянное в земной атмосфере. При измерениях с авиационного носителя (при зондировании вертикально вниз) и высокой прозрачности земной атмосферы выражение для L_b имеет вид [4]:

$$L_b = S_\lambda \cos \theta_o A \exp\left[-\frac{\tau_o}{\cos \theta_o} - \tau\right] + 0,25 \lambda_s S_\lambda \chi(\gamma) \frac{\cos \theta_o}{1 + \cos \theta_o} \times \\ \times \exp[-(\tau_o - \tau)] \left\{ \exp[-(\tau_o - \tau) \left(1 + \frac{1}{\cos \theta_o}\right)] - \exp[-\tau_o \left(1 + \frac{1}{\cos \theta_o}\right)] \right\},$$

где: λ_s - вероятность выживания фотона в земной атмосфере;

πS_λ - спектральная солнечная постоянная для длины волны регистрируемого флуоресцентного излучения;

τ_o , τ - оптическая толщина всей земной атмосферы (в вертикальном направлении) и оптическая толщина земной атмосферы между земной поверхностью и авиационным носителем на длине волны регистрируемого флуоресцентного излучения;

θ_o - зенитный угол Солнца;

$\chi(\gamma)$ - индикатриса рассеяния земной аэрозольной атмосферы (для зондирования вертикально вниз $\cos \gamma = -\cos \theta_o$).

Оценку высоты лазерной флуоресцентной системы дистанционного контроля нефтяных загрязнений земной поверхности проведем для длины волны регистрируемого флуоресцентного излучения 0,45 мкм.

Основные параметры лазерного источника и приемника, характеристики атмосферы, использованные в расчете (на длине волны 0,45 мкм): спектральная чувствительность ФЭУ - 80 мА/Вт; оптическая толща земной атмосферы - 0,455; показатель аэрозольного ослабления атмосферы у земной поверхности - $8,12 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$; спектральная солнечная постоянная - 0,22 Вт/см²мкм; вероятность выживания фотона - 1; альbedo поверхности - 0,5; квантовый выход флуоресценции - 10^{-4} ; энергия в импульсе лазера - 4 мДж; длительность импульса - 10 нс; угол поля зрения приемной системы - 1 мрад; коэффициент пропускания передающей оптической системы - 0,8; коэффициент пропускания приемной системы - 0,4; диаметр радиус приемного объектива - 6 см; ширина спектрального фильтра - 3 нм; отношение сигнал/шум - 10. Расчеты проводились для безоблачного неба при $\theta_0 = 45^\circ$.

На рисунке 5 показаны зависимости мощности $P(z)$ (кривая 1) лазерно-индуцированного флуоресцентного сигнала и пороговой мощности P_{thr} (линия 2) от высоты зондирования.

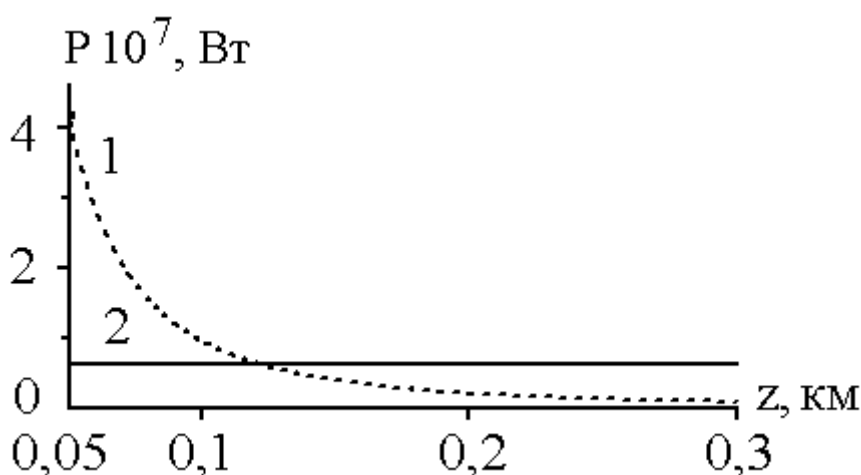


Рисунок 5. Зависимости принимаемой мощности лазерно-индуцированного флуоресцентного сигнала и пороговой мощности от высоты зондирования (составлено автором)

Высота носителя для лазерной флуоресцентной системы дистанционного контроля нефтяных загрязнений земной поверхности оценивалась из условия равенства мощности $P(z)$ и пороговой мощности P_{thr} . Из рисунка видно, что для длины волны 0,45 мкм предельная высота носителя при выбранных для расчета (и доступных в настоящее время) параметрах лазерного источника и приемника составляет порядка 120 м (что является приемлемым с точки зрения безопасности полета).

Заключение

Таким образом, проведен анализ возможности контроля нефтяных загрязнений земной поверхности на безопасной для зрения длине волны излучения 0,355 мкм. Создана база данных

спектров лазерно-индуцированной флуоресценции нефти, нефтепродуктов, различных типов морской и речной воды, разных видов растительности при возбуждении флуоресценции на длине волны 0,355 мкм. Анализ спектров из созданной базы данных показывает существенное отличие спектров флуоресценции разных типов нефтепродуктов от спектров флуоресценции основных (мешающих обнаружению разливов нефтепродуктов) типов элементов ландшафта (воды, растений и объектов с асфальтовым покрытием). Особенности спектров флуоресценции нефтепродуктов при возбуждении флуоресценции на длине волны 0,355 мкм могут быть физической основой обнаружения участков нефтяных загрязнений, вызванных утечками нефти малой интенсивности из трубопроводов. Это позволяет рассматривать лазерный флуоресцентный метод на безопасной для зрения длине волны излучения 0,355 мкм как один из перспективных вариантов дистанционной системы обнаружения утечек низкой интенсивности из нефтепроводов. Предельная высота полета авиационного носителя для дистанционного мониторинга нефтяного загрязнения на земной поверхности, вызванного утечкой нефтепровода, составляет порядка 120 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.
2. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. М.: ВНИРО, 2001. 247 с.
3. Measures R.M. Laser remote sensing. Fundamentals and applications. Krieger Publishing Company. Malabar. Florida. 1992. 510 p.
4. Козинцев В.И., Орлов В.М., Белов М.Л., Городничев В.А., Стрелков Б.В. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды. М.: Изд-во МГТУ, 2002. 528 с.
5. Стрелков Б.В., Белов М.Л., Тухватулина С.А., Городничев В.А. Лазерный метод обнаружения нефтяных загрязнений на взволнованной морской поверхности, использующий угловое сканирование // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №7. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/413496.html> (дата обращения 09.03.2017).
6. Fadeev V.V., Burikov S.A., Volkov P.A., Lapshin V.B., Syroeshkin A.V. Raman Scattering and Fluorescence Spectra of Water from the Sea Surface Microlayer // Oceanology. 2009. Vol. 49, No. 2. P. 205 - 210.
7. Белов М.Л., Всякова Ю.И., Кравцов Д.А., Городничев В.А., Готальская О.В. Сравнительный анализ вероятности обнаружения пленок нефтепродуктов на водной поверхности лазерным рефлектометрическим методом на безопасных для зрения длинах волн // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2017; №1, 77-91. DOI:10.7463/0117.0000911 (дата обращения 09.03.2017).
8. Березин С.В. Разработка дистанционного лазерного измерителя толщины нефтяных пленок на взволнованной морской поверхности. М. 2006. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. 115 с.
9. Белов М.Л., Городничев В.А., Кувшинов А.В., Михайловская М.Б. Дистанционный метод обнаружения нефтяных загрязнений, основанный на зондировании морской поверхности двумя лазерными пучками // Радиооптика:

- научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015, №6. Режим доступа: <http://radiooptics.ru/doc/817268.html> (дата обращения 09.03.2017).
10. Федотов Ю.В., Матросова О.А., Белов М.Л., Городничев В.А. Метод обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в трех узких спектральных диапазонах // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т.26, N3. С. 208-212.
 11. Матросова О.А. Методы контроля нефтяных загрязнений земной поверхности, основанные на явлении лазерно-индуцированной флуоресценции. М. 2013. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. 178 с.
 12. Mayor S.D., Spuler S.M., Morley B.M. Scanning eye-safe depolarization lidar at 1.54 microns and potential usefulness in bioaerosol plume detection // Proc. SPIE. 2005. Vol. 5887, P. 58870N-1 - 58870N-12.
 13. Козинцев В.И., Белов М.Л., Городничев В.А., Стрелков Б.В. Расчет яркости фона и ослабления лазерного излучения в ультрафиолетовой области спектра. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 66 с.
 14. Patsayeva S., Yuzhakov V., Varlamov V., Barbini R., Fantoni R., Frassontino C., Palucci A. Laser spectroscopy of mineral oils on the water surface // EARSeL e Proceeding. 2000. No. 1, P. 106-114.
 15. Karpicz R., Dementjev A., Kuprionis Z., Pakalnis S., Westphal R., Reuter R., Gulbinas V. Laser fluorosensor for oil spot detection // Lithuanian Journal of Physics. 2005. Vol. 45, No 3. P. 213 - 218.
 16. Ciuciu G.J., Secieru D., Pavelescu G., Savastru D., Nicolae D., Talianu C., Nemue A. Investigation of seawater pollution on Black Sea Romanian coast // Proceedings of SPIE. 2006. Vol. 6522, P. 65221D-1 - 65221D-6.
 17. Utkin A.B., Lavrov A., Vilar R. Evaluation of oil spills by laser induced fluorescence spectra // Proceedings of SPIE. 2011. Vol. 7994, P. 799415-1 - 799415-10.
 18. Polombi L., Lognoli D., Raimondi V. Fluorescence LIDAR remote sensing of oils: merging spectral and time-decay measurements // Proceedings of SPIE. 2013. Vol. 8887, P. 88870F-1 - 88870F-8.
 19. Patsayeva S., Yuzhakov V., Lamotte M., Fantoni R., Lai A., Palucci A. Variation of the UV-to-BLUE fluorescence ration for organic matter in water under conditions of fluorescence saturation // EARSeL e Proceeding. 2000. No. 1, P. 157-164.
 20. Yi H., Jixiang Y., Jiase L., Changqing Y. Laser fluorescence for detection of oil pollutants in the environment // Proceedings of SPIE. 2000. Vol. 4223, P. 19 - 22.
 21. Pashayev A., Tagiyev B., Allahverdiyev K., Musayev A., Sadikhov I. LIDAR for remote sensing of contaminations on water and earth surface taking place during oil-gas production // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9810, P. 981018-1 - P. 981018-7.
 22. Jha M.N., Levy J., Gao Y.I. Advanced in remote sensing for oil spill disaster management: state-of-the-art sensors technology for oil spill surveillance // Sensirs. 2008. No. 8, P. 236 - 255.
 23. Hegazi E., Hamdan A., Mastromarino J. Remote Fingerprinting of Crude Oil Using Time-Resolved fluorescence spectra // The Arabian Journal for Science and Engineering. 2005. Vol. 30, No 1B. P. 3-12.

24. Chappelle E. W, Corp L.A., McMurtrey J.E., Daughtry C. Fluorescence: a diagnostic tool for the detection of stress in plants // SPIE Proceedings. 1997. Vol. 2959. P. 14-23.
25. Apostol S. Leaf fluorescence as diagnostic tool for monitoring vegetation / From Cells to Proteins: Imaging Nature across Dimensions. Netherlands: Springer, 2005. P. 423-430.
26. Saito Y. Laser-induced fluorescence spectroscopy technique as a tool for field monitoring of physiological status of living plants // Proc. of SPIE. 2007. Vol. 6604. P. 66041W-1- 66041W-12.
27. Mishra K.B., Gopal R. Study of laser-induced fluorescence signatures from leaves of wheat seedlings growing under cadmium stress // Gen. Appl. Plant Physiology. 2005. Vol. 31 (3-4). P. 181 - 196.
28. Sneis M., Guarini R., Dell'Aglio M. First results obtained with a LIDAR Fluorescence sensor system // Proc. of SPIE. 2000. Vol. 4070. P. 100-107.
29. Lichtenthaler H.K., Wenzel O., Buschmann C., Gitelson A. Plant Stress Detection by Reflectance and Fluorescence // Annals New York Academy Of Sciences. 1998. Vol. 851. P. 271-285.
30. Saito Y., Kanoh M., Hatake K., Kawahara T.D., Nomura A. Investigation of laser-induced fluorescence of several natural leaves for application to lidar vegetation monitoring // Applied Optics. 1998. Vol. 37, No 3. P. 431-437.
31. Ender H., Johansson J., Svanberg S., Wallinder E., Bazzani M., Breschi B., Cecchi G., Pantani L., Radicati B., Raimondi V., Tirelli D., Valmory G., Mazzinghi P. Laser-induced fluorescence monitoring of vegetation in Tuscany // EARSeL Advances in remote sensing. 1992. Vol. 1, No 2. P. 119-130.
32. Yang J., Gong W., Shi S., Du L., Sun J., Song S. The effective of different excitation wavelengths on the identification of plant species based on fluorescence lidar / The International Archives of the Photogrammetry, Remote sensing and Spatial Information Sciences. 2016. Vol. XLI-B1. P.147 - 150.

Belov Mikhail Leonidovich

Bauman state technical university, Russia, Moscow
E-mail: belov@bmstu.ru

Fedotov Yuriy Victorovich

Bauman state technical university, Russia, Moscow
E-mail: fed@bmstu.ru

Gorodnichev Victor Aleksandrovich

Bauman state technical university, Russia, Moscow
E-mail: gorod@bmstu.ru

Kravtsov Denis Aleksandrovich

Bauman state technical university, Russia, Moscow
E-mail: ekomonit@bmstu.ru

Exploratory study of earth surface oil pollution detection at eye-safe wavelength 0,355 μm

Abstract. Exploratory study of earth surface oil pollution detection is carried out for eye-safe wavelength 0,355 μm . Laser-induced fluorescence spectra database is created for different types of crude oil, petrochemicals, sea water and river water, plant of many kinds for excitation of fluorescence at wavelength 0,355 μm . Remote sensing laser method of oil pollution monitoring is founded on data record of earth surface laser-induced fluorescence spectra. Analysis of spectra from database indicate great variation fluorescence spectra of different types of petrochemicals from fluorescence spectra of landscape main elements (water, plant, asphalt coat) which interfere with detection of pipeline oil leaks. Fluorescence spectra character of petrochemicals for excitation of fluorescence at wavelength 0,355 μm may be basic physics of detection of pipeline small oil leaks. Thus laser fluorescence method at eye-safe wavelength 0,355 μm is one of advanced variants of remote sensing system of detection of pipeline small oil leaks. Maximum delivery aircraft overflight height for remote sensing monitoring of earth surface oil pollution because of pipeline oil leaks is about 120 m.

Keywords: fluorescence spectra database; analysis of earth surface laser-induced fluorescence spectra; eye-safe wavelength; detection of oil pollution