ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 535.338.41

ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ИЗ НЕФТЕПРОВОДОВ

Ю.В. Федотов, **О.А. Матросова**, **М.Л. Белов**, **В.А. Городничев**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: fed@bmstu.ru; belov@bmstu.ru

Существующие в настоящее время системы контроля утечек на нефтепроводах обеспечивают регистрацию крупных утечек и имеют предел чувствительности около 1 % производительности трубопровода. Рассмотрена задача дистанционного обнаружения утечек низкой (менее 1 %) интенсивности из нефтепроводов. Одним из вариантов системы дистанционного обнаружения утечек из нефтепроводов является система мониторинга нефтяных загрязнений на земной поверхности по трассе нефтепровода. Приведены экспериментально полученные для длины волны возбуждения 266 нм спектры флуоресценции чистых нефтепродуктов (сырой нефти, легких и тяжелых нефтепродуктов), различных земных поверхностей (почвы, растительности, воды, асфальта) и нефтепродуктов, разлитых на различных земных поверхностях. Показано, что использование лазерного метода, основанного на регистрации флуоресцентного излучения в трех узких спектральных диапазонах, позволяет обнаружить нефтяные загрязнения на земной поверхности с вероятностью правильного обнаружения, близкой к единице, при небольшой вероятности ложных тревог.

Ключевые слова: нефтепровод, лазер, спектры флуоресценции, нефтяные загрязнения, земная поверхность, обнаружение.

LASER METHOD FOR DETECTING LEAKAGE FROM PETROLEUM PIPELINES

Yu.V. Fedotov, **O.A. Matrosova**, **M.L. Belov**, **V.A. Gorodnichev**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: fed@bmstu.ru; belov@bmstu.ru

Now-existing systems for leakage monitoring at petroleum pipelines provide the registration of large leakages and have a sensitivity limit of around 1 % of the pipeline performance. A problem is discussed concerning the remote detection of low intensity (less than 1 %) leakages from pipelines. One of variants of the system for remote pipeline-leakage detection is the system of oil pollution monitoring over the earth's surface along the petroleum pipeline track. The fluorescence spectra of pure petroleum products (crude oil, light and heavy oil products), different ground surfaces (soil, vegetation, water, and asphalt), and oil products spilled over different earth's surfaces are given, which were obtained experimentally for the excitation wavelength of 266 nm. It is shown that the use of the laser method based on registration of fluorescence emission in three narrow spectral regions enables the oil pollutions to be revealed on the earth's surface with a probability of correct detection close to unity at a small probability of false alarms.

Keywords: petroleum pipeline, laser, fluorescence spectra, oil pollution, earth's surface, detection.

В настоящее время актуальной является проблема загрязнения нефтепродуктами водной и земной поверхностей [1–3]. Больше всего нефти разливается при ее транспортировке — перекачке по трубопроводам. Нефть, постоянно просачивающаяся через старые трубопроводы и скважины, загрязняет почву, разрушает среду обитания млекопитающих и птиц. По официальным данным, полмиллиона тонн нефти ежегодно попадают в реки, впадающие в Северный Ледовитый океан, нарушая хрупкий экологический баланс в этих водах [3].

Существующие в настоящее время системы контроля утечек на нефтепроводах (акустические, параметрические системы; системы виброакустического мониторинга; системы, использующие измерение проводимости изоляционного покрытия трубопровода и др.) обеспечивают регистрацию крупных утечек и имеют предел чувствительности, который составляет $\sim$1 % производительности трубопровода. Утечки с интенсивностью менее 1 % такие системы не регистрируют [4].

Одним из вариантов системы обнаружения утечек с интенсивностью менее 1 % является система дистанционного мониторинга нефтяных загрязнений земной поверхности с летательного аппарата при полете над трассой нефтепровода.

На сегодняшний день лазерные методы являются наиболее перспективными методами обнаружения нефтяных загрязнений. К настоящему времени разработаны и созданы различные лазерные приборы и методы для дистанционного обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности [5–9]. Однако для обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности сейчас используют лишь лабораторные методы, основанные на химическом анализе или флуоресцентной диагностике специально подготовленных проб загрязненных почв [2].

Дистанционный контроль нефтяных загрязнений на земной поверхности тоже может быть реализован при использовании лазерного флуоресцентного метода. Однако задачи лазерного флуоресцентного контроля нефтяных загрязнений на земной и водной поверхностях сильно различаются. Во-первых, лазерный флуоресцентный сигнал от нефтяного загрязнения на земной поверхности, как правило, существенно меньше такого же сигнала от нефтяного загрязнения на поверхности воды, так как нефтепродукты впитываются почвой, стекают вниз под уклон и т.д. Во-вторых, задача лазерного флуоресцентного контроля нефтяных загрязнений на земной поверхности гораздо сложнее, чем аналогичная задача контроля нефтяных загрязнений на водной поверхности. Из-за того, что флуоресцентный сигнал от нефтяного загрязнения на земной поверхности не очень большой, он становится сравним с флуоресцентным сигналом от природных образований, естественным образом находящихся на земной поверхности,

— например, растительности и водных объектов. Поэтому, чтобы отличить нефтяное загрязнение от природных образований на земной поверхности, приходится привлекать информацию о форме спектра флуоресценции исследуемого участка поверхности.

Ниже проводится исследование возможностей лазерного дистанционного метода обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности, вызванных утечками из нефтепроводов. Метод основан на регистрации лазерно-индуцированного флуоресцентного излучения земной поверхности, загрязненной нефтепродуктами.

Поскольку спектры флуоресценции нефти и нефтепродуктов отличаются от спектров флуоресценции элементов земного ландшафта, это дает потенциальную возможность обнаруживать нефтяные загрязнения путем регистрации и анализа формы спектра флуоресценции исследуемого участка поверхности.

Однако в настоящее время данных о спектрах флуоресценции чистых (не загрязненных нефтепродуктами) земных поверхностей для длин волн возбуждения флуоресценции, используемых для контроля нефтяных загрязнений, очень мало. Причем аналогичные данные о спектрах флуоресценции земных поверхностей, загрязненных нефтепродуктами, отсутствуют вообще.

Поэтому первый этап работы посвящен экспериментальным исследованиям спектров флуоресценции земных поверхностей и нефтепродуктов. Для этого была создана лабораторная установка [10]. В качестве источника возбуждения излучения флуоресценции использовалась четвертая гармоника YAG:Nd-лазера. Спектры флуоресценции регистрировались при помощи полихроматора с усилителем яркости. Ширину входной щели полихроматора устанавливали, исходя из спектрального разрешения системы регистрации (размер щели полихроматора был выбран 200 мкм, что обеспечивало спектральное разрешение 5 нм).

Основные параметры лабораторной установки

Энергия импульса, мДж	0,2
Длительность импульса, нс	10
Длина волны возбуждения, нм	266
Диапазон регистрируемых длин волн флуоресценции, нм	290–750
Разрешение по спектру, нм	8
Расстояние от лазерного источника до образца при измерениях, м	1,4
Диаметр лазерного пучка возбуждения, мм	14
Диаметр поля зрения приемника в плоскости образца, мм	20

На лабораторной установке были измерены спектры флуоресценции чистых нефтепродуктов (нефть Альметьевская, дизельное топливо, керосин, бензины А-80, А-92, А-95, А-95 Shell, А-98, машинное

отработанное масло, машинное масло Castrol 10w40) и различных типов земных поверхностей — воды (водопроводной, снеговой, со взвесью чернозема, глины, песка), растительности (листья деревьев, мох, салат, трава), почвы (чернозем, глина, торф, песок, песчаная почва, известняк, почва из соснового бора, почва из березовой рощи, почва из дубравы и др.), а также асфальта и нефтепродуктов, разлитых на различных земных поверхностях.

В ходе проведенных лабораторных исследований были получены 870 спектров флуоресценции различных вариантов чистых и загрязненных земных поверхностей, которые в дальнейшем использовались в качестве исходных данных для разработки метода обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности.

Для примера на рис. 1–5 показаны спектры флуоресценции разных типов нефтепродуктов, воды, хлорофилла, асфальта (см. рис. 1); некоторых типов почв (см. рис. 2); чистого бензина А92 и бензина, разлитого на разных поверхностях (см. рис. 3); чистого и разлитого на разных поверхностях машинного масла (см. рис. 4); чистой Альметьевской нефти и этой же нефти, разлитой на разных поверхностях (см. рис. 5). На рисунках приведены спектры флуоресценции, нормированные на сигнал упругого рассеяния на длине волны 266 нм.

Из рис. 1–5 следует, что интенсивность флуоресценции для почв гораздо меньше (на два порядка), чем для нефтепродуктов; интенсивность флуоресценции для растительности, воды и асфальта может быть сравнима с интенсивностью флуоресценции нефтепродуктов, однако формы их спектров флуоресценции заметно различаются.

С точки зрения практической реализации измерительной аппаратуры наиболее простым вариантом является использование регистрации

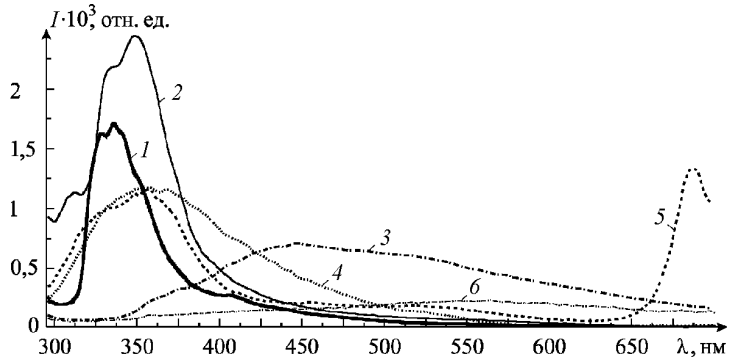


Рис. 1. Спектры флуоресценции нефтепродуктов, воды, хлорофилла и асфальта:
1 — бензин А92 на глине; *2* — машинное масло Castrol 10w40 на песчаной почве; *3* — нефть Альметьевская на торфе; *4* — вода с взвесью чернозема; *5* — мох; *6* — асфальт

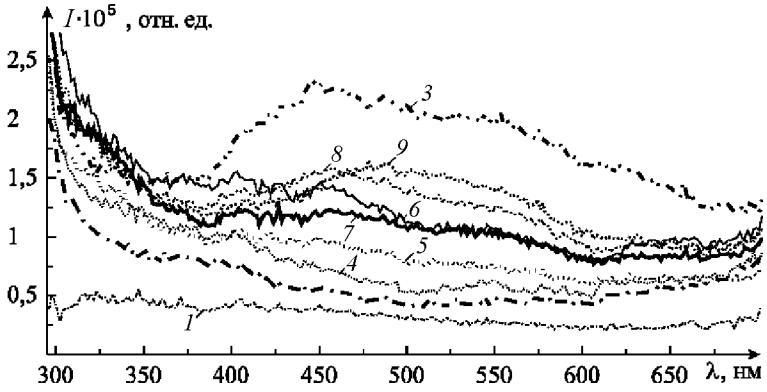


Рис. 2. Спектры флуоресценции почв:
1 — чернозем; *2* — глина; *3* — известняк; *4* — песок; *5* — песчаная почва; *6* — торф; *7* — почва из соснового бора; *8* — почва из березовой рощи; *9* — почва из дубравы

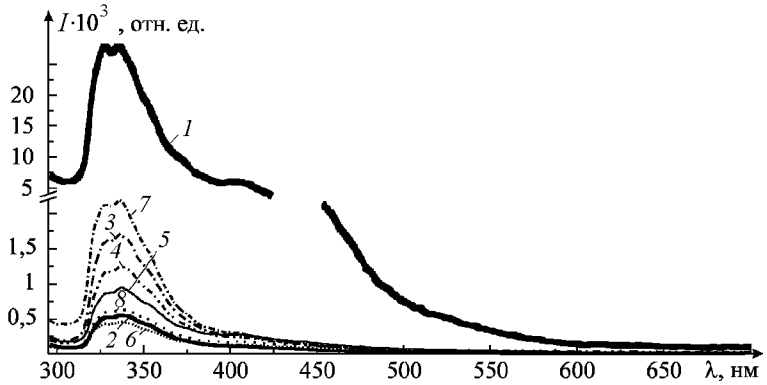


Рис. 3. Спектры флуоресценции чистого бензина и бензина разлитого на разных поверхностях:
1 — чистый бензин А92; *2* — бензин А92, разлитый на черноземе, на глине (*3*), на известняке (*4*), на песке (*5*), на песчаной почве (*6*), на торфе (*7*), на почве из соснового бора (*8*)

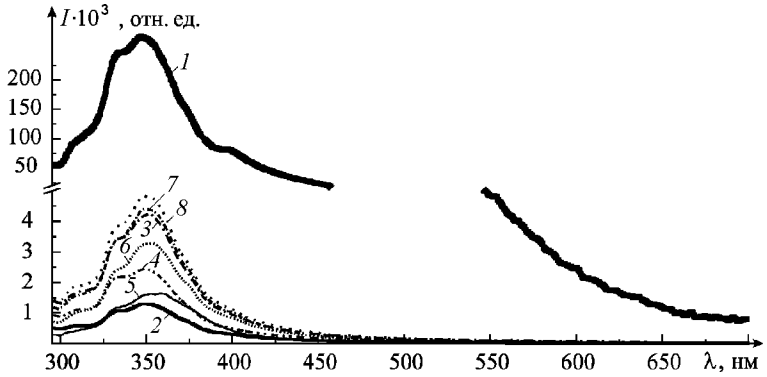


Рис. 4. Спектры флуоресценции чистого и разлитого на разных поверхностях машинного масла:
1 — чистое машинное масло Castrol 10w40; *2* — масло Castrol 10w40, разлитое на черноземе, на глине (*3*), на известняке (*4*), на песке (*5*), на песчаной почве (*6*), на торфе (*7*), на почве из соснового бора(*8*)

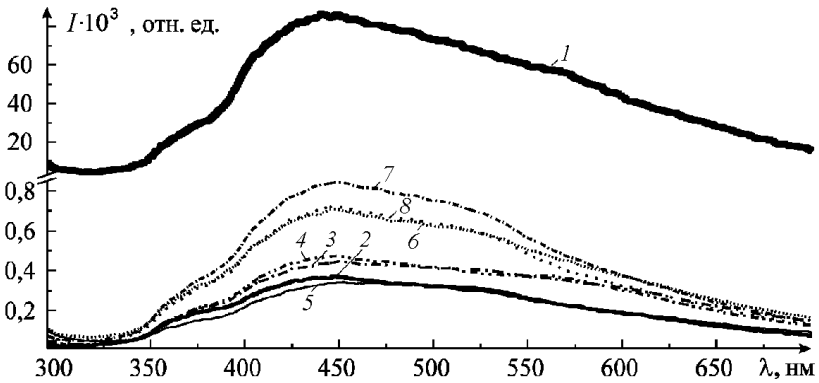


Рис. 5. Спектры флуоресценции чистой нефти и нефти, разлитой на разных поверхностях:
1 — чистая нефть Альметьевская, *2* — нефть Альметьевская, разлитая на черноземе, на глине (*3*), известняке (*4*), на песке (*5*), песчаной почве (*6*), торфе (*7*), на почве из соснового бора (*8*)

флуоресцентного излучения в нескольких узких спектральных диапазонах. Вопрос о выборе из широкого спектра флуоресценции лишь некоторого числа регистрируемых узких спектральных диапазонов решался с использованием экспериментально измеренных спектров флуоресценции и математического моделирования.

Результаты математического моделирования показывают, что для задачи обнаружения нефтепродуктов на фоне растительности, воды и асфальта можно ограничиться тремя узкими спектральными диапазонами (309,5. . . 317,5 нм, 330,5. . . 338,5 нм и 396. . . 404 нм) с центральными длинами волн $\lambda_1 = 313{,}5$ нм, $\lambda_2 = 334{,}5$ нм и $\lambda_3 = 400$ нм. Алгоритм обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности состоит из двух этапов.

Этап 1. Пороговый алгоритм. Сравнивается сумма интенсивностей флуоресценции (нормированных на сигнал упругого рассеяния на длине волны 266 нм) в трех спектральных каналах с пороговым значением:

$$I(\lambda_1) + I(\lambda_2) + I(\lambda_3) \le K1$$

— для “почв”;

$$I(\lambda_1) + I(\lambda_2) + I(\lambda_3) > K1$$

— для “не почв”, где $K1 = 3 \cdot 10^{-4}$.

Для определения оптимального (с точки зрения вероятности правильного обнаружения нефтяных загрязнений) значения порога $K1$ использовалось математическое моделирование.

Этап 2. Анализ формы спектров флуоресценции. Формы спектров флуоресценции определяют по двум классифицирующим признакам $\dfrac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)}$, $\dfrac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)}$ и двум пороговым значениям $K2 = 1{,}8$ (для

отношения $\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)}\Big)$ и $K3 = 1{,}75$ $\Big($для отношения $\frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)}\Big)$:

$$\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \geq K2 \wedge \frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)} \geq K3$$

— для случая “нефтяное загрязнение”;

$$\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} < K2 \vee \frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)} < K3$$

— для случая “земная поверхность”.

Оптимальные (с точки зрения вероятности правильного обнаружения нефтяных загрязнений) значения порогов $K1$, $K2$ и $K3$ были выбраны по результатам математического моделирования.

Алгоритм обнаружения приведен на рис. 6.

Исследуемые вещества и границы классов (“нефтяное загрязнение” и “земная поверхность”) в двумерном пространстве выбранных классифицирующих признаков представлены на рис. 7.

Для определения эффективности описанного алгоритма находили (по всему массиву спектров флуоресценции) оценку вероятности правильного обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности (вероятности обнаружения нефтяных загрязнений, когда они действительно присутствуют) и вероятности ложных тревог (вероятности обнаружения нефтяных загрязнений, когда их в действительности нет).

Результаты математического моделирования приведены в табл. 1 и 2.

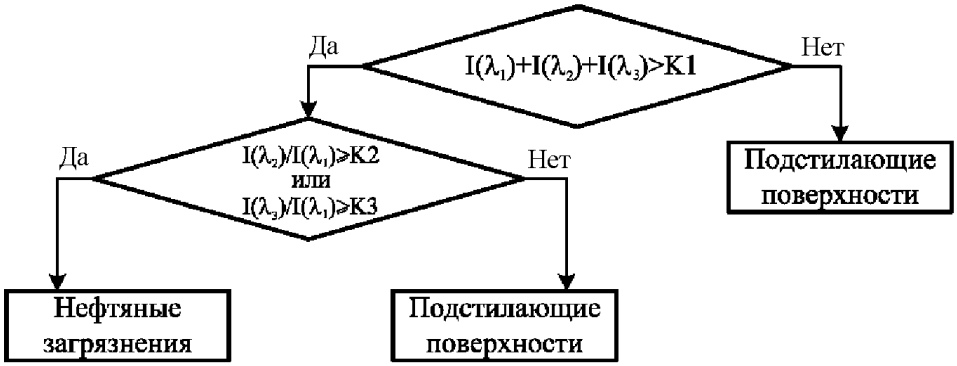


Рис. 6. Алгоритм обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности



Рис. 7. Исследуемые вещества и границы классов в двумерном пространстве классифицирующих признаков (ЛН, ТН — легкая и тяжелая нефть)

Таблица 1

Нефтепродукты	Вероятность правильного обнаружения, %
Легкие (керосин, бензины)	98,87
Тяжелые (дизельное топливо, масло)	96,3
Сырая нефть	99,25
Все нефтепродукты	97,76

Таблица 2

Земная поверхность	Вероятность ложной тревоги, %
Различные почвы	0
Растительность	2,27
Вода	0
Асфальт	2,86
Все поверхности	0,71

Результаты математического моделирования показывают, что вероятность правильного обнаружения (по всем исследованным нефтепродуктам на земной подстилающей поверхности) составляет 97,76 % , а вероятность ложных тревог (по всем исследованным подстилающим поверхностям) — 0,71 %.

Верификация разработанного метода (рис. 8) проводилась по спектрам флуоресценции, полученным другими авторами для длины волны возбуждения 266 нм. Таких данных очень мало, поэтому полученные далее результаты носят скорее оценочный характер.

Отметим, что при верификации не были использованы данные по спектрам флуоресценции морской воды. Содержащиеся в ней органические примеси существенно влияют на ее спектр флуоресценции, так что для обнаружения нефтяных загрязнений на морской поверхности приходится использовать другие спектральные каналы регистрации флуоресценции [8].

В результате были использованы спектры флуоресценции следующих веществ:

— хлорофилла (водоросли хлорелла и хлорококкум [11], кукуруза [12]);

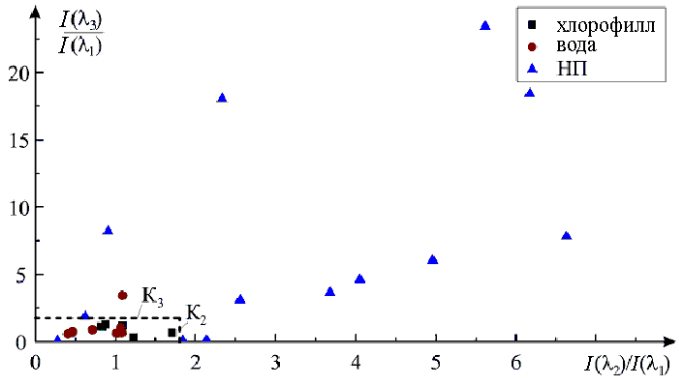


Рис. 8. Результаты верификация разработанного метода (НП – нефтепродукты)

— воды (модельная проба воды [13], бидистиллированная вода [14], дистиллированная вода [15, 16], медицинская вода [14], вода, очищенная на установке Милли-Q [14]);

— нефтепродуктов (Каспийская нефть [15], Ливийская нефть [17], керосин [17], машинное масло [18], бензин [15, 19] дизельное топливо [17, 20]).

Данные вещества в пространстве выбранных классифицирующих признаков приведены на рис. 8.

В результате математического моделирования (для описанного двухэтапного алгоритма обнаружения нефтепродуктов) выявили, что вероятность правильного обнаружения (для всех указанных нефтепродуктов [15–20]) составляет 92,3 %, а вероятность ложных тревог (для всех указанных типов воды и хлорофилла [11–16]) — 7,1 %. Этот результат можно признать вполне удовлетворительным, учитывая очень немногочисленный и очень разнородный объем данных, по которому проводилась верификация.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований и математического моделирования показывают, что лазерный дистанционный метод обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в трех узких спектральных диапазонах, позволяет надежно обнаруживать нефтяные загрязнения с вероятностью правильного обнаружения, близкой к единице, при небольшой вероятности ложных тревог. Это позволяет рассматривать его как один их перспективных вариантов системы обнаружение утечек из нефтепроводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Патин С.А.* Нефть и экология континентального шельфа. М.: ВНИРО, 2001.
2. *Другов Ю.С.*, *Родин А.А.* Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.

3. *Васильева Н.* Утечки нефти в России наносят непоправимый ущерб // Режим доступа: http://www.inosmi.ru/russia/20111218/180661918.html (дата обращения 01.06.2012).
4. *Супрунчик В.В.* Безопасность трубопроводного транспорта углеводородов // Режим доступа: http://www.geoim.ru/content/view/535/278 (дата обращения 01.06.2012).
5. *Межерис Р.* Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987.
6. *Климкин В.М.*, *Соковиков В.Г.*, *Федорищев В.Н.* Новые возможности дистанционного анализа нефтепродуктов на поверхности вод // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. № 2. С. 189–204.
7. *Белов М.Л.*, *Городничев В.А.*, *Козинцев В.И.*, *Федотов Ю.В.*, *Смирнова О.А.*, *Хрусталева А.М.* Обнаружения нефтяных загрязнений на морской поверхности двухчастотным дистанционным лазерным методом // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 2006. № 4. С. 3–12.
8. *Федотов Ю.В.*, *Белов М.Л.*, *Матросова О.А.*, *Городничев В.А.*, *Козинцев В.И.* Метод обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в двух узких спектральных диапазонах // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 2010. № 2. С. 39–47.
9. *Белов М.Л.*, *Белов А.М.*, *Городничев В.А.*, *Козинцев В.И.* Лазерный метод контроля тонких пленок нефтепродуктов на водной поверхности, основанный на измерении первой и второй производных коэффициента отражения // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 7. С. 568–571.
10. *Федотов Ю.В.*, *Матросова О.А.*, *Белов М.Л.*, *Городничев В.А.*, *Козинцев В.И.* Экспериментальные исследования спектров флуоресценции природных образования и нефтяных загрязнений // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 11. Режим доступа: http://technomag.edu.ru/doc/256187.html (дата обращения 01.10.2012).
11. *Variation* of the UV-to-blue fluorescence ratio for organic matter in water under conditions of fluorescence / placeS. Patsayeva [et al.] // Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop LIDAR, Dresden/FRG. June 16–17. 2000. P. 157–164.
12. *Optical* and fluorescence properties of corn leaves from different nitrogen regimes / E. Middleton [et al.] // Proceedings of SPIE. 2003. Vol. 4879. P. 72–83.
13. *Глушков С.М.*, *Фадеев В.В.*, *Филиппова Е.М.*, *Чубаров В.В.* Проблемы лазерной флуориметрии органических примесей в природных водах // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 4. С. 433–449.
14. *Дистанционный* контроль верхнего слоя океана / В.М. Орлов, И.В. Самохвалов, М.Л. Белов и др. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991.
15. *Исследование* возможности применения эксимерного Kr-F-лазера в лидарных экспериментах по детектированию нефтяных пленок на поверхности воды / Д.В. Власов, Д.Ю. Ципенюк, С.К. Вартапетов и др. // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3. № 11. С. 1224–1225.
16. *Sivaprakasam V.*, *Killinger D.K.* Tunable ultraviolet laser-induced fluorescence detection of trace plastics and dissolved organic compounds in water // Applied Optics. 2003. Vol. 42. No. 33. P. 6739–6746.
17. *Patsayeva S.*, *Yuzhakov V.*, *Fadeev V.V.* Fluorescent diagnostics of oil pollutions oil in film and dispersed in water body // EARSeL Advances in Remote Sensing. 1995. Vol. 3. No. 3. P. 170–178.
18. *Laser* fluorosensor for oil spot detection / R. Karpicza [et al.] // Lithuanian Journal of Physics. 2005. Vol. 45. No. 3. P. 213–218.
19. *Дейдан Таер Абд*, *Пацаева С.В.*, *Фадеев В.В.*, *Южаков В.И.* Спектральные особенности флуоресценции НП в пленках и в объеме воды // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 4. С. 455–463.
20. *Löhmannsröben H.-G.*, *Schober L.* Combination of laser-induced fluorescence and diffuse-reflectance spectroscopy for the in situ analysis of diesel-fuel-contaminated soils // Applied Optics. 1999. Vol. 38. No. 9. P. 1404–1410.

REFERENCES

[1] Patin S.A. Neft' i ekologiya kontinental'nogo shel'fa [Oil and ecology of the continental shelf]. Moscow, VNIRO Publ., 2001. 247 p.

[2] Drugov Yu.S., Rodin A.A. Ekologicheskie analizy pri razlivakh nefti i nefteproduktov [Environmental analyzes of oil and oil products spills]. Moscow, BINOM Publ., 2007. 270 p.

[3] Vasil'eva N. Utechki nefti v Rossii nanosyat nepopravimyy ushcherb [Oil spills in Russia cause irreparable damage]. Available at: http://www.inosmi.ru/russia/20111218/180661918.html (accessed 1 June 2012).

[4] Suprunchik V.V. Bezopasnost' truboprovodnogo transporta uglevodorodov [Safety of pipeline transportation of hydrocarbons]. Available at: http://www.geoim.ru/content/view/535/278 (accessed 1 June 2012).

[5] Measures R.M. Laser remote sensing. New York, Wiley, 1984. 510 p. (Russ. ed.: Mezheris R. Lazernoe distantsionnoe zondirovanie. Moscow, Mir Publ., 1987. 550 p.).

[6] Klimkin V.M., Sokovikov V.G., Fedorishchev V.N. New possibilities for remote analysis of oil products on water surface. *Atmos. Oceanic Opt.*, 1993, vol. 6, no. 2, pp. 189–204.

[7] Belov M.L., Gorodnichev V.A., Kozintsev V.I., Fedotov Yu.V., Smirnova O.A., Khrustaleva A.M. Detection of oil spills on the sea surface by the dual-frequency remote laser method. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Ser. Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ. Ser. Instrum. Eng.], 2006, no. 4, pp. 3–12 (in Russ.).

[8] Fedotov Yu.V., Belov M.L., Matrosova O.A., Gorodnichev V.A., Kozintsev V.I. The method of detection of oil spills on the water surface based on registering fluorescent radiation in two narrow spectrum bands. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Ser. Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ. Ser. Instrum. Eng.], 2010, no. 2, pp. 39–47 (in Russ.).

[9] Belov M.L., Belov A.M., Gorodnichev V.A., Kozintsev V.I. Laser method of control for thin oil films on water surface based on measurement of first-order and second-order derivatives of reflection coefficient. *Atmos. Oceanic Opt.*, 2011, vol. 24, no. 7, pp. 568–571.

[10] Fedotov Yu.V., Matrosova O.A., Belov M.L., Gorodnichev V.A., Kozintsev V.I. Experimental research of fluorescent spectrums of natural formations and oil pollution. *Nauka Obraz. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. Zh.* [Sci. Educ. Bauman Moscow State Tech. Univ. Electron. J.], 2011, no. 11 (in Russ.). Available at: http://technomag.edu.ru/doc/256187.html (accessed 1 Oct. 2012).

[11] Patsayeva S., Yuzhakov V., Lamotte M., Fantoni R., Lai A., Palucci A. Variation of the UV-to-blue fluorescence ratio for organic matter in water under conditions of fluorescence. *Proc. EARSeL-SIG-Workshop LIDAR*. Dresden, 2000, pp. 157–164.

[12] Middleton E.M., McMurtrey III J.E., Entcheva Campbell P.K., Corp L.A., Butcher L.M., Chappelle E.W. Optical and fluorescence properties of corn leaves from different nitrogen regimes. *Proc. SPIE*, 2003, vol. 4879, pp. 72–83. doi: 10.1117/12.463087

[13] Glushkov S.M., Fadeev V.V., Filippova E.M., Chubarov V.V. Problems of laser fluorometry of organic admixtures in natural water. *Atmos. Oceanic Opt.*, 1994, vol. 7, no. 4, pp. 231–238.

[14] Orlov V.M., Samokhvalov I.V., Belov M.L., Shamanaev V.S., Klinkin V.M., Belokhvostikov A.V., Penner I.E., Safin R.G., Yudovskiy A.B. Distantsionnyy kontrol' verkhnego sloya okeana [Remote control of the upper ocean]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 149 p.

[15] Vlasov D.V., Tsipenyuk D.Yu., Vartapetov S.K., Bukreev V.S., Obidin A.Z. Investigation of the possibility of using an excimer KR-F laser in lidar experiments on detection of oil films on a water surface. *Atmos. Oceanic Opt.*, 1990, vol. 3, no. 11, pp. 1224–1225.

[16] Sivaprakasam V., Killinger D.K. Tunable ultraviolet laser-induced fluorescence detection of trace plastics and dissolved organic compounds in water. *Appl. Opt.*, 2003, vol. 42, no. 33, pp. 6739–6746. http://dx.doi.org/10.1364/AO.42.006739
[17] Patsayeva S., Yuzhakov V., *Fadeev V.V.* Fluorescent diagnostics of oil pollutions oil in film and dispersed in water body. *EARSeL Adv. Remote Sens*, 1995, vol. 3, no. 3, pp. 170–178.
[18] Karpicza R. Laser fluorosensor for oil spot detection. *Lith. J. Phys.*, 2005, vol. 45, no. 3, pp. 213–218.
[19] Deidan T.A., Patsaeva S.V., Fadeev V.V., Yuzhakov V.I. Specific features of the fluorescence spectra of oil products. *Atmos. Oceanic Opt.*, 1994, vol. 7, no. 4, pp. 242–245.
[20] L"ohmannsr"oben H.-G., Schober L. Combination of laser-induced fluorescence and diffuse-reflectance spectroscopy for the in situ analysis of Diesel-fuel-contaminated soils. *Appl. Opt.*, 1999, vol. 38, no. 9, pp. 1404–1410.

Статья поступила в редакцию 24.12.2012

Юрий Викторович Федотов — канд. техн. наук, научный сотрудник НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 50 научных работ в области лазерной техники.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.
Yu.V. Fedotov — Cand. Sci. (Eng.), researcher of Research Institute of Radio-Electronics and Laser Technology of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 50 publications in the field of laser technology.
Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russian Federation.
Ольга Александровна Матросова — инженер НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор шести научных работ в области лазерной техники.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.
O.A. Matrosova — engineer of Research Institute of Radio-Electronics and Laser Technology of the Bauman Moscow State Technical University. Author of six publication in the field of laser technology.
Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russian Federation.
Михаил Леонидович Белов — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 200 научных работ в области лазерной локации и атмосферной оптики.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.
M.L. Belov — Dr. Sci. (Eng.), leading researcher of Research Institute of Radio-Electronics and Laser Technology of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 200 publications in the field of laser location and optics of atmosphere.
Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russian Federation.
Виктор Александрович Городничев — д-р техн. наук, начальник отдела НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 200 научных работ в области лазерной техники.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.
V.A. Gorodnichev — Dr. Sci. (Eng.), head of department of Research Institute of Radio-Electronics and Laser Technology of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 200 publications in the field of laser technology.
Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul., 5, Moscow, 105005 Russian Federation.