

УДК 535.338.41

## Дистанционный лазерный метод контроля нефтяных загрязнений на земной поверхности

Федотов Ю. В.<sup>1</sup>, Чернавская О. А.<sup>1</sup>,

Белов М. Л.<sup>1,\*</sup>, Городничев В. А.<sup>1</sup>,

Штейнгарт А. Д.<sup>1</sup>

\*[belov@bmstu.ru](mailto:belov@bmstu.ru)

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

---

Рассматривается лазерный метод обнаружения и классификации нефтяных загрязнений на земной поверхности. Приводятся экспериментальные спектры флуоресценции нефтепродуктов и различных земных поверхностей. Показано, что метод, использующий длину волны возбуждения 266 нм, регистрацию флуоресцентного излучения в трех спектральных диапазонах с центральными длинами волн 313,5; 334,5; 400,0 нм и рассеянного излучения на длине волны 266 нм, позволяет обнаруживать нефтяные загрязнения с вероятностью правильного обнаружения 0,98. Использование еще одного спектрального диапазона с центральной длиной волны 358,5 нм позволяет проводить классификацию по трем типам - легкие и тяжелые нефтепродукты, сырая нефть с вероятностью правильной классификации больше 0,99.

**Ключевые слова:** лазер, спектры флуоресценции, нефтяные загрязнения, земная поверхность, обнаружение, классификация

---

### Введение

Одной из актуальных проблем на сегодняшний день является проблема загрязнения нефтепродуктами водной и земной поверхностей [1-3].

Загрязнения нефтью и нефтепродуктами оперативно обнаруживаются дистанционными методами, позволяющими обследовать большие территории за сравнительно малый промежуток времени. Перспективным дистанционным методом контроля нефтяных загрязнений является лазерный флуоресцентный метод. Этот метод позволяет обнаруживать нефтяные загрязнения и проводить их классификацию (по крайней мере, по трем типам нефтепродуктов - легкие нефтепродукты, тяжелые нефтепродукты, сырая нефть) [4].

Для водной поверхности к настоящему времени разработаны и созданы различные лазерные (в основном флуоресцентные и спектрофотометрические) методы и приборы,

предназначенные для дистанционного обнаружения и классификации нефтяных загрязнений.

Не менее актуальной является задача обнаружения и классификации нефтяных загрязнений на земной поверхности [5]. Больше всего нефти и нефтепродуктов на земной поверхности разливается при ее перекачке по трубопроводам. По протяженности магистральных трубопроводов Россия занимает второе место в мире после США [6].

Кроме экономического ущерба от аварий большое значение имеют экологические последствия загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами, которые зависят от параметров загрязнения, свойств почвы и характеристик внешней среды.

Так же как и экономический ущерб, экологический ущерб от аварии тем меньше, чем на более ранних стадиях обнаружена утечка. Оперативные методы обнаружения нефтяных загрязнений позволяют принять меры по быстрому устранению загрязнения и предотвратить негативные последствия. Классификация загрязнений позволяет получить более подробную их характеристику и выявить источник загрязнения.

Существующие в настоящее время системы контроля утечек на трубопроводах (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 около 1 % производительности трубопровода. Утечки с интенсивностью менее 1 % такие системы не регистрируют [7].

Одним из вариантов системы обнаружения утечек нефтепродуктов с интенсивностью менее 1 % может быть система лазерная флуоресцентная система дистанционного мониторинга нефтяных загрязнений земной поверхности с летательного аппарата при полете над трассой трубопровода.

Однако, задача дистанционного обнаружения и классификации нефтяных загрязнений на земной поверхности на сегодняшний день не решена.

Для контроля нефтяных загрязнений на земной поверхности в настоящее время используют лишь лабораторные методы, основанные на химическом анализе или флуоресцентной диагностики специально подготовленных проб загрязненных почв [2].

Задача лазерного флуоресцентного контроля нефтяных загрязнений на земной поверхности гораздо сложнее, чем задача лазерного флуоресцентного контроля нефтяных загрязнений на водной поверхности.

Во-первых, лазерный флуоресцентный сигнал от нефтяного загрязнения на земной поверхности, как правило, существенно меньше лазерного флуоресцентного сигнала от нефтяного загрязнения на поверхности воды, так как нефтепродукты впитываются почвой, стекают вниз под уклон и т.д. Во-вторых, флуоресцентный сигнал от нефтяного загрязнения на земной поверхности сравним с флуоресцентным сигналом от природных образований, находящихся на земной поверхности – растительности и водных объектов.

В работе проводится исследование возможностей дистанционного лазерного флуоресцентного метода контроля нефтяных загрязнений на земной поверхности. Метод

позволяет проводить обнаружение загрязнений нефтепродуктами земной поверхности и их классификацию по четырем группам: земная поверхность (незагрязненная нефтепродуктами); разлив на земной поверхности легких очищенных нефтепродуктов; разлив сырой нефти; разлив тяжелых нефтепродуктов.

## 1. Лабораторная установка для регистрации спектров лазерно-индуцированной флуоресценции

На сегодняшний день данных о спектрах флуоресценции чистых (не загрязненных нефтепродуктами) земных поверхностей для длин волн возбуждения флуоресценции, используемых для контроля нефтяных загрязнений, очень мало.

Поэтому первый этап работы был посвящен экспериментальным исследованиям спектров флуоресценции земных поверхностей и нефтепродуктов, их обработке, систематизации и анализу.

Для исследования особенностей спектров флуоресценции природных образования и нефтяных загрязнений была создана лабораторная установка. Длина волны возбуждения флуоресценции была выбрана 266 нм - одна из наиболее перспективных длин волн для мониторинга нефтяных загрязнений.

Лабораторная установка позволяет измерять спектры флуоресценции в диапазоне от 295 до 740 нм, а также интенсивность рассеянного земной поверхностью лазерного излучения на длине волны возбуждения 266 нм. Структурная схема лабораторной установки приведена на рисунке 1.

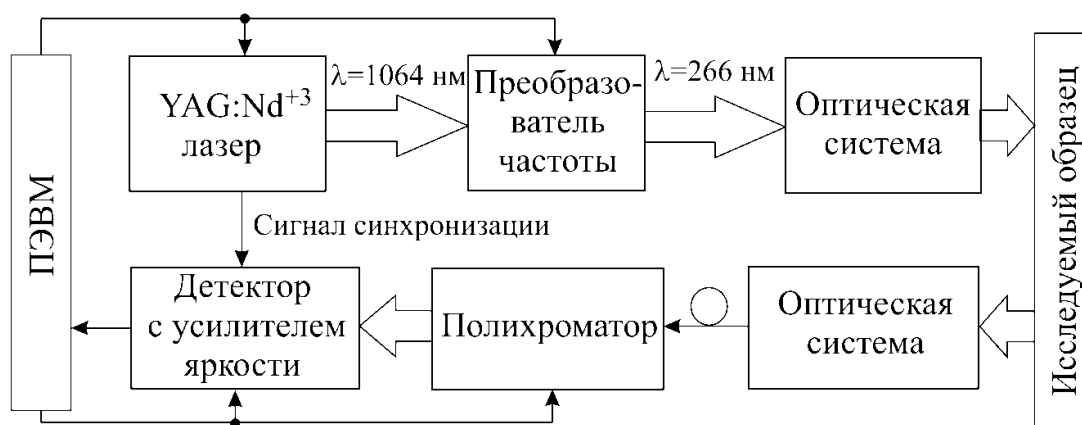


Рис. 1. Структурная схема лабораторной установки.

В качестве источника возбуждения излучения флуоресценции используется четвертая гармоника YAG:Nd лазера NL204 (Ekspla), которая позволяет получить импульсное излучение длительностью 6 нс с энергией импульса 0,7 мДж и расходимостью 3 мрад.

Излучение флуоресценции собирается приемной оптической системой и далее доставляется по оптическому волокну на вход полихроматора, который позволяет в автоматическом режиме менять ширину входной и выходной щели и устанавливать нужный светофильтр. Полихроматор имеет четыре дифракционных решетки и два выходных порта для детекторов излучения.

Разложенный полихроматором спектр флуоресценции регистрируется матричным детектором с усилителем яркости на основе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) «Матрица-430к-нс». Система «Матрица-430к-нс» предназначена для цифровой регистрации низкоуровневого черно-белого изображения в лабораторных условиях.

Изображение спектра флуоресценции с выхода полихроматора проецируется на фотокатод усилителя яркости. Усиленное изображение переносится оптической системой на входную фоточувствительную поверхность ПЗС детектора, который преобразует изображение в цифровой вид и по интерфейсу USB передает в компьютер.

Лабораторная установка является полностью автоматизированной. Для управления установкой было разработано специальное программное обеспечение в среде визуального программирования LabView.

На лабораторной установке были измерены спектры флуоресценции чистых нефтепродуктов (нефть Альметьевская, дизельное топливо, керосин, бензин А-80, бензин А-92, бензин А-95, бензин А-95 Shell, бензин А-98, масло машинное отработанное, масло машинное Castrol 10w40); различных типов земных поверхностей - воды (водопроводной, снеговой, со взвесью чернозема, глины, песка), растительности (листья деревьев, мох, салат, трава), почвы (чернозём, глина, торф, песок, песчаная почва, известняк, почва из соснового бора, почва из березовой рощи, почва из дубравы и др.), асфальта и нефтепродуктов, разлитых на различных земных поверхностях.

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

## **2. Результаты экспериментов и их обсуждение**

На рисунках 2-6 представлены примеры измеренных спектров флуоресценции.

На рисунках 2-6 приведены спектры флуоресценции, нормированные на интенсивность рассеянного излучения на длине волны 266 нм. Здесь показаны спектры флуоресценции разных типов нефтепродуктов, воды, хлорофилла, асфальта (рисунок 2); чистого и разлитого на разных поверхностях керосина (рисунок 3); чистого и разлитого на

разных поверхностях дизельного топлива (рисунок 4); воды с различной взвесью (рисунок 5); разных почв (рисунок 6).

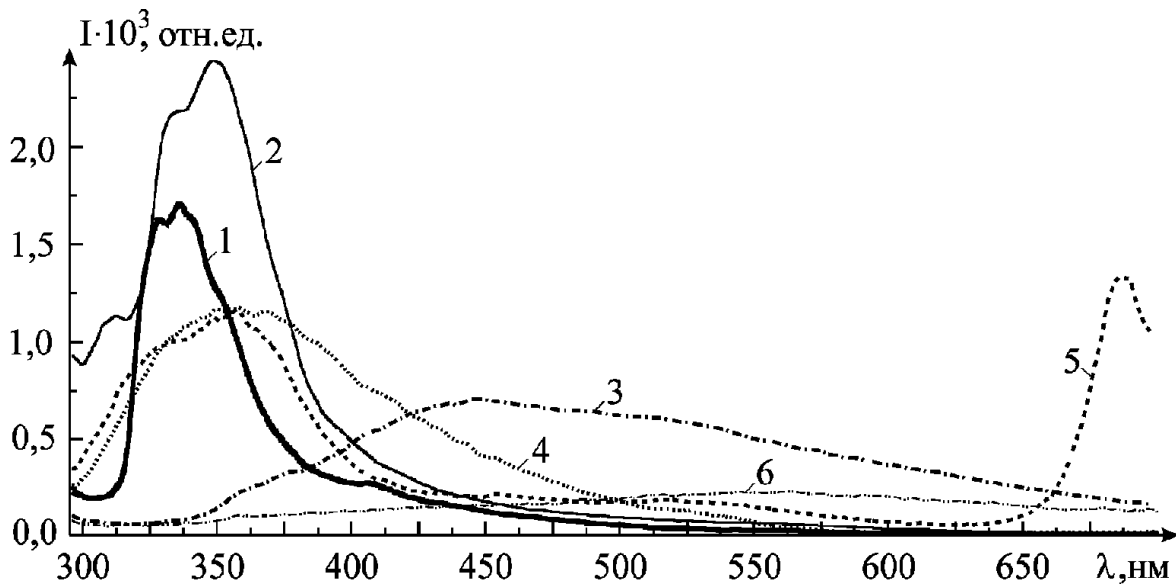


Рис. 2. Спектры лазерно-индуцированной флуоресценции разных типов нефтепродуктов, воды, хлорофилла, асфальта.

На рисунке 2: 1 - бензин А92 на глине, 2 – масло машинное Castrol 10w40 на песчаной почве, 3 – нефть Альметьевская на торфе, 4 – вода с взвесью чернозема, 5 – мох, 6 – асфальт.

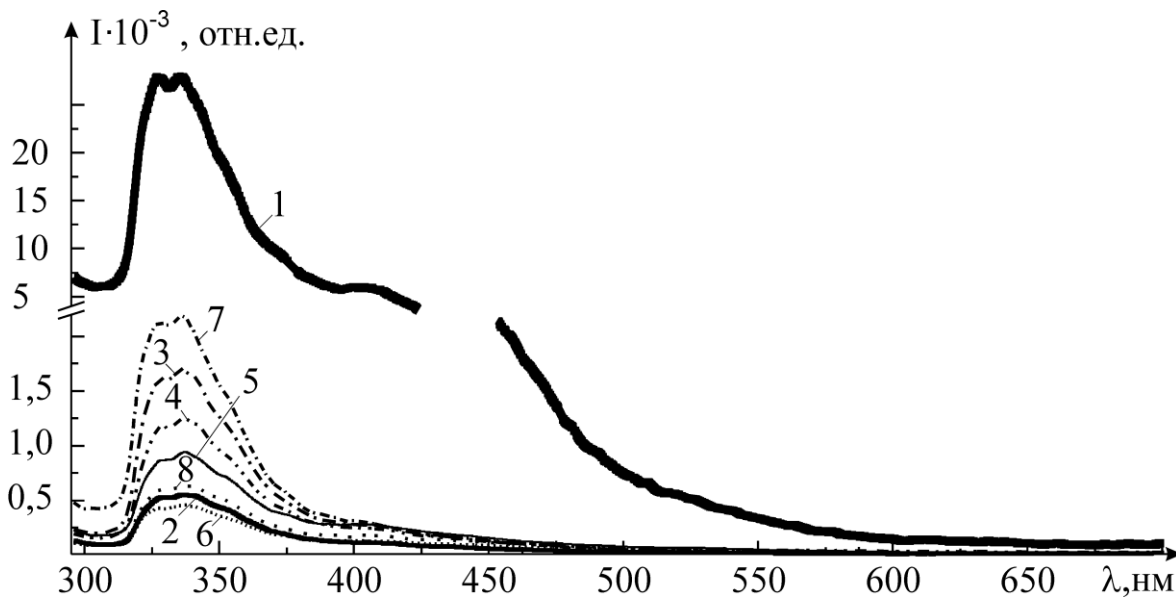


Рис. 3. Спектры лазерно-индуцированной флуоресценции чистого и разлитого на разных поверхностях бензина.

На рисунках 3,4: 1- чистый нефтепродукт (для рисунка 3 – бензин, для рисунка 4 – машинное масло Castrol 10w40), 2 – загрязненный нефтепродуктом чернозём, 3 – глина, 4 – известняк, 5 – песок, 6 - песчаная почва, 7 – торф, 8 - почва из соснового бора.

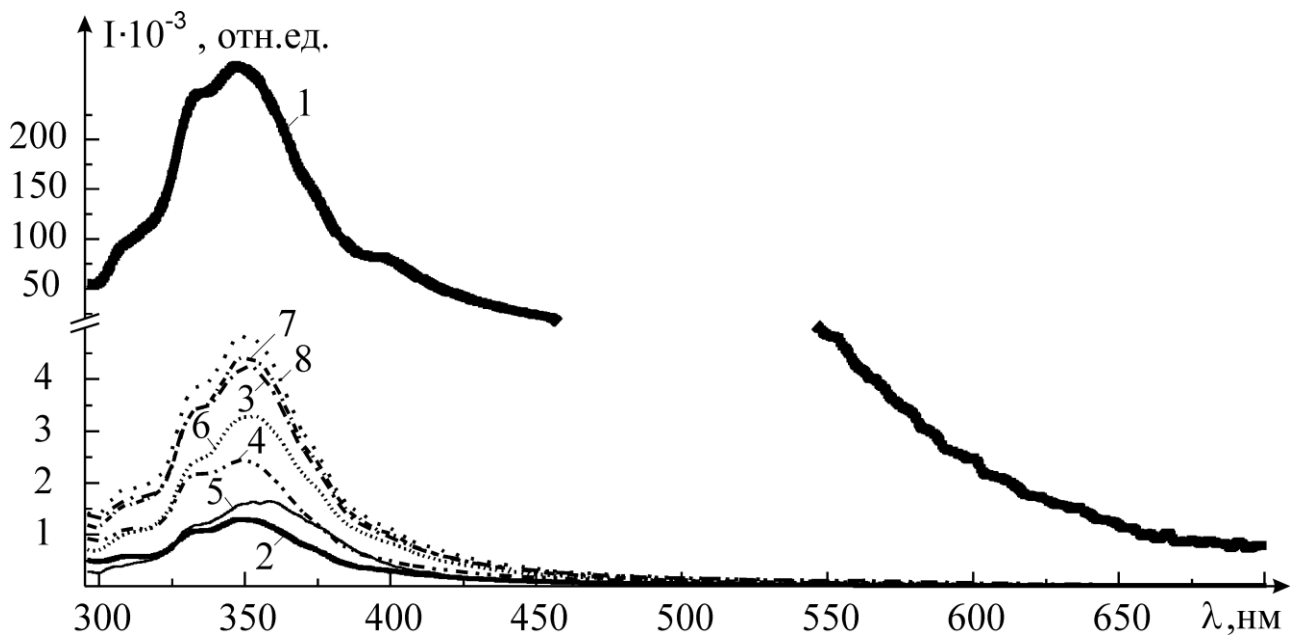


Рис. 4. Спектры лазерно-индуцированной флуоресценции чистого и разлитого на разных поверхностях машинного масла Castrol 10w40.

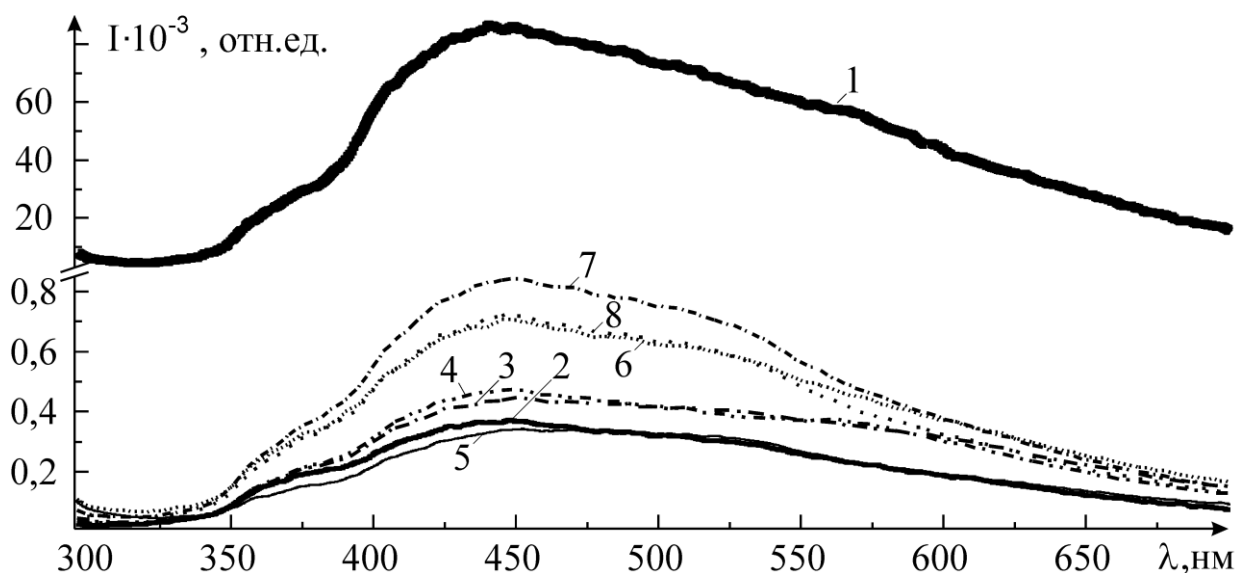


Рис. 5. Спектры лазерно-индуцированной флуоресценции чистой нефти и нефти разлитой на разных поверхностях.

На рисунке 5: чистая нефть Альметьевская, 2 - нефть Альметьевская, разлитая на черноземе, 3 – на глине, 4 – на известняке, 5 – на песке, 6 – на песчаной почве, 7 – на торфе, 8 – на почве из соснового бора.

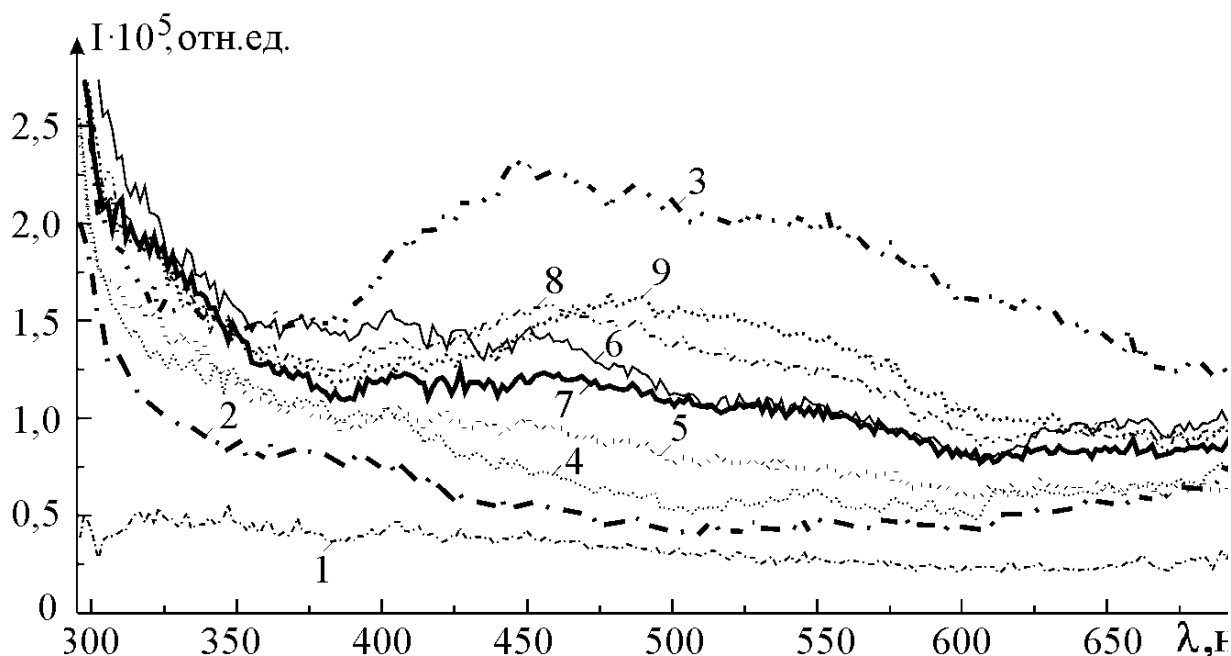


Рис. 6. Спектры лазерно-индуцированной флуоресценции разных почв.

На рисунке 6: 1 - чернозём, 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.

По результатам экспериментальных исследований был сформирован банк данных спектров лазерно-индуцированной флуоресценции незагрязненных и загрязненных нефтепродуктами земных поверхностей, который содержит информацию о более 850 исследованных образцах.

Результаты экспериментальных исследований спектров флуоресценции показывают:

- уровень интенсивности флуоресценции почв (незагрязненных нефтепродуктами) примерно на два порядка меньше уровня интенсивности флуоресценции нефтяных загрязнений;

- уровень интенсивности флуоресценции незагрязненных образцов растительности, воды и асфальта сравним с уровнем флуоресценции нефтяных загрязнений, однако спектры флуоресценции существенно отличаются;

- у одного и того же нефтепродукта на различных почвах изменяется интенсивность флуоресценции, но форма спектра во многом сохраняется;

- спектры флуоресценции легких нефтепродуктов, тяжелых нефтепродуктов и сырой нефти отличаются между собой и от спектров флуоресценции незагрязненных элементов земного ландшафта.

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

### **3. Алгоритмы обнаружения и классификации нефтяных загрязнений на земной поверхности**

С точки зрения практической реализации измерительной аппаратуры для мониторинга нефтяных загрязнений наиболее простым вариантом является использование не всего измеряемого спектра флуоресценции, а регистрация флуоресцентного излучения только в нескольких (специально выбранных) узких спектральных диапазонах.

Вопрос об обнаружении и классификации нефтяных загрязнений на земной поверхности по результатам регистрации интенсивности лазерно-индуцированной флуоресценции в специально выбранных узких спектральных диапазонах может быть решен с помощью эвристических алгоритмов обработки [8] или использовании для обработки данных измерений нейронной сети.

Задачу контроля нефтяных загрязнений на земной поверхности целесообразно решать в несколько этапов. На первом этапе решается задача обнаружения нефтяных загрязнений, а на втором этапе - задача классификации нефтяных загрязнений.

Математическое моделирование показало, что наиболее простым и одновременно эффективным для задачи обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности является использование персептрона с одним скрытым слоем.

Архитектура нейронной сети с одним скрытым слоем показана на рис. 7.

В нейронной сети входные, скрытые и выходные нейроны связаны между собой. Входные нейроны, выполняют в нейронной сети функцию входа, т. е. воспринимают сигналы только от внешней для данной системы среды.

Вопрос о выборе из широкого спектра флуоресценции лишь некоторого числа регистрируемых узких спектральных диапазонов решался, используя экспериментально измеренные спектры флуоресценции и математическое моделирование. При построении нейронной сети в качестве входных данных были использованы (как наилучший вариант по результатам математического моделирования) интенсивности флуоресценции в трех узких спектральных диапазонах (309,5-317,5 нм, 330,5-338,5 нм, 396,0-404,0 нм с центральными длинами волн  $\lambda_1 = 313,5$  нм,  $\lambda_2 = 334,5$  нм и  $\lambda_3 = 400,0$  нм) и интенсивность отраженного лазерного сигнала на длине волны 266 нм. Поэтому в построенной нейронной сети входной слой имеет четыре входных нейрона.



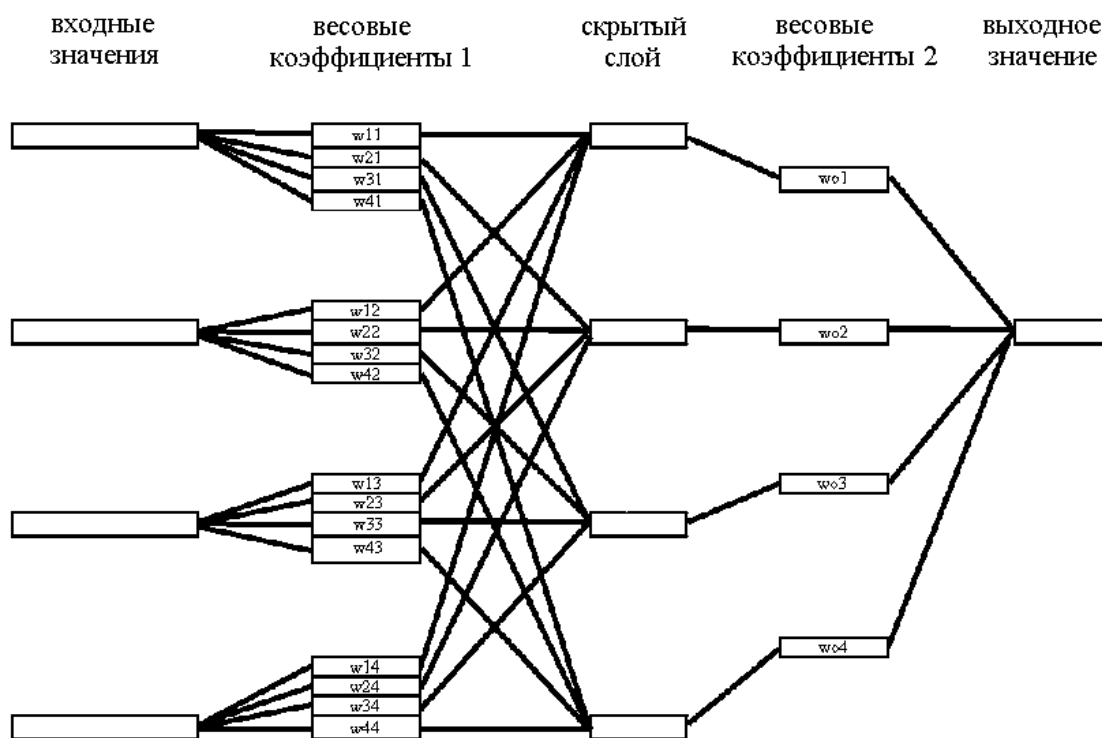


Рис.7 Вид реализованной нейронной сети

Скрытые (промежуточные) нейроны, выполняют внутренние функции. Весовые коэффициенты  $w_{11}, w_{21}, w_{31}, w_{41}; w_{12}, w_{22}, w_{32}, w_{42}; w_{13}, w_{23}, w_{33}, w_{43}; w_{14}, w_{24}, w_{34}, w_{44}; w_{o1}, w_{o2}, w_{o3}, w_{o4}$  – весовые коэффициенты, которые находятся в процессе обучения нейронной сети. Выходной нейрон выдает результат работы нейронной сети. Выходной нейрон может принимать значения в диапазоне от 0 до 1. Если выходной нейрон принимает значение больше 0.5, то считается, что на вход нейронной сети был подан спектр флуоресценции поверхности с нефтяными загрязнениями, меньше 0.5 – спектр флуоресценции чистой (без нефтяных загрязнений) земная поверхность.

Таким образом, на выходе персептрона формируется результат анализа типа зондируемой земной поверхности - поверхность с нефтяными загрязнениями или чистая земная поверхность без нефтяных загрязнений.

В качестве обучающей выборки для персептрона были взяты 850 спектров флуоресценции, из которых 282 принадлежали к чистой земной поверхности (без загрязнений нефтью и нефтепродуктами), а остальные – к земной поверхности, загрязненной нефтью или нефтепродуктами.

Результаты математического моделирования показывают, что для задачи обнаружения нефтепродуктов на земной поверхности при минимизации значения вероятности ложных тревог разработанная нейронная сеть реализует следующие вероятности правильного обнаружения  $P_{i\dot{d}.i}$  и вероятности ложных тревог  $P_{\dot{e}.d.}$ :

Вероятность правильного обнаружения – 97,76%. Вероятность ложных тревог - 0.35%.

Для эффективного решения задачи как обнаружения, так и классификации нефтяных загрязнений (классификации нефтяных загрязнений на сырую нефть, тяжелые и легкие нефтепродукты) была использована структура из трех нейронных сетей:

- первая нейронная сеть решает задачу обнаружения нефтяных загрязнений;
- вторая нейронная сеть решает задачу классификации «сырая нефть – нефтепродукты (легкие или тяжелые)»;
- третья нейронная сеть решает задачу классификации «тяжелые нефтепродукты» – «легкие нефтепродукты».

Первая и вторая нейронные сети оперируют с четырьмя входами. На вход их подаются интенсивности флуоресцентного излучения (регистрируемые в спектральных диапазонах 309,5-317,5 нм, 330,5-338,5 нм, 396,0-404,0 нм, соответственно, с центральными длинами волн  $\lambda_1 = 313,5$  нм,  $\lambda_2 = 334,5$  нм и  $\lambda_3 = 400,0$  нм ) и интенсивность отраженного лазерного излучения в узком спектральном диапазоне около длины волны возбуждения флуоресценции  $\lambda_4 = 266,0$  нм.

Третья нейронная сеть оперирует уже с 5 входами – добавлен вход с интенсивностью флуоресценции в спектральном канале 354,5-362,5 нм с центральной длиной волны  $\lambda_5 = 358,5$  нм.

Для оценки эффективности работы разработанного нейросетевого алгоритма классификации находилась (по массиву экспериментально измеренных спектров флуоресценции) вероятность классификации нефтяных загрязнений на земной поверхности. Результаты работы нейросетевого алгоритма классификации приведены в Таблице 1.

**Таблица 1.** Вероятности правильной классификации нефтяных загрязнений при использовании нейросетевого алгоритма

<b>Исследуемые вещества</b>	<b>Вероятности правильной классификации для нефтяных загрязнений, %</b>
Легкие нефтепродукты (керосин, бензины)	99,32
Тяжелые нефтепродукты (дизельное топливо, масло)	99,32
Сырая нефть	99,77
Земные поверхности	99,65

Результаты, приведенные в Таблице 1 показывают, что нейросетевой алгоритм обеспечивает эффективное обнаружение и классификацию нефтяных загрязнений на земной поверхности.

Отметим, что особенностью длины волны возбуждающего излучения 266 нм является необходимость учета поглощения озоном в земной атмосфере (озон сильно поглощает в УФ диапазоне излучение с длиной волны короче 0,32 мкм [9, 10]). Однако, в приземном слое атмосферы поглощение озоном на длине волны 266 нм невелико и практически не влияет на энергетический расчет лазерного флуориметра.

Таким образом, лазерный дистанционный метод обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности, основанный на использовании длины волны возбуждения 266 нм, регистрации флуоресцентного излучения в четырех узких спектральных диапазонах и рассеянного излучения на длине волны 266 нм, позволяет надежно обнаруживать и классифицировать нефтяные загрязнения на земной поверхности.

## Заключение

Результаты экспериментальных исследований и математического моделирования показывают, что лазерный дистанционный метод обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности, основанный на использовании длины волны возбуждения 266 нм, регистрации флуоресцентного излучения в трех узких спектральных диапазонах с центральными длинами волн 313,5; 334,5; 400,0 нм и рассеянного излучения на длине волны 266 нм, позволяет надежно обнаруживать нефтяные загрязнения с вероятностью правильного обнаружения 98 %. Добавление еще одного узкого спектрального диапазона с центральной длиной волны 358,5 нм позволяет проводить классификацию нефтепродуктов по трем типам - легкие нефтепродукты, тяжелые нефтепродукты, сырая нефть с вероятностью правильной классификации больше 0,99. Это позволяет рассматривать описанный лазерный метод как один из перспективных вариантов дистанционной системы обнаружения и классификации нефтяных загрязнений на земной поверхности.

## Список литературы

1. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.
2. Дудкина А.А. Нефть и экология // Publishing house Education and Science s.r.o.: Архив научных публикаций: сайт. Режим доступа: [http://www.rusnauka.com/17\\_PNR\\_2008/Ecologia/34369.doc.htm](http://www.rusnauka.com/17_PNR_2008/Ecologia/34369.doc.htm) (дата обращения 16.05.2015).
3. Васильева Н. Утечки нефти в России наносят непоправимый ущерб // inoСМИ.Ru: сайт. Режим доступа: <http://www.inosmi.ru/russia/20111218/180661918.html> (дата обращения 16.05.2015). [Vasil'eva N. Russia oil spills wreak devastation. The Associated Press Enterprise, USA, 18 December 2011.]
4. Measures R.M. Laser remote sensing. Fundamentals and Applications N.Y.: John Wiley&Sons, 1984. 550 p.
5. Козинцев В.И., Федотов Ю.В., Матросова О.А., Белов М.Л., Городничев В.А. Экспериментальные исследования спектров флуоресценции природных образований 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 05.05.2015).

6. Ромейко В.С. Изношенные трубопроводы – главная беда ЖКХ России // СтройПРОФИль. 2002. № 5. Режим доступа: <http://stroyprofile.com/archive/447> (дата обращения 16.05.2015).
7. Супрунчик В.В. Безопасность трубопроводного транспорта углеводородов // Минеральные Ресурсы России. Экономика и Управление. 2007. № 6. Режим доступа: <http://www.geoim.ru/content/view/535/278> (дата обращения 16.05.2015).
8. 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, № 3. С. 208-212.
9. Миронов А.В. Гл. 4.4. Поглощение света атмосферным озоном // Прецизионная фотометрия. Astronet: website. Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1169494/node29.html> (дата обращения 16.05.2015).
10. 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.

## Remote Sensing Laser Method for Detection and Classification of Oil Product Spills on the Terrestrial Surface

Yu.V. Fedotov<sup>1</sup>, O.A. Chernavskaya<sup>1</sup>,

M.L. Belov<sup>1,\*</sup>, V.A. Gorodnichev<sup>1</sup>,

A.D. Shteingart<sup>1</sup>

\*[belov@bmstu.ru](mailto:belov@bmstu.ru)

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

---

**Keywords:** laser, fluorescence spectra, oil pollution, earth's surface, detection, classification

---

Most of all oil and oil products spill on a terrestrial surface when running through the pipelines. Presently existing systems of monitoring spillages in the pipelines record large spillages and have a sensitivity limit, which makes about 1% of the pipeline capacity. However, such systems do not record spillages with intensity of less than 1%.

One of the options of a leakage detection system of oil products with intensity less than 1% can be a remote monitoring system of oil pollution of a terrestrial surface from the aircraft flying over the route of the pipeline.

The paper studies the possibilities of using a remote laser fluorescent method to detect and classify oil pollution on a terrestrial surface. This method allows to detect oil products pollution of a terrestrial surface and classify them into four groups: terrestrial surface (free of oil product contaminations); spill of the light cleared oil products on a terrestrial surface; spill of crude oil; spill of heavy oil products.

To study the fluorescence spectra features of natural formations and oil pollution a laboratory installation was created for the 266 nm wavelength of fluorescence excitation. The laboratory installation allows measurement of fluorescence spectra in range from 295 to 740 nm.

Over 850 fluorescence spectra of various oil products of the pure and polluted terrestrial surfaces received during laboratory researches were further used as the basic data to develop a detection and classification method of oil pollution on a terrestrial surface.

Results of pilot studies and mathematical modelling show that the laser remote method of oil pollution detection on a terrestrial surface, which uses the excitement wavelength of 266 nm, records the fluorescent radiation in three narrow spectral ranges with central wavelengths of 313,5; 334,5; 400,0 nm and scattered radiation at the wavelength of 266 nm allows reliable detection of oil pollution with a probability of the correct detection more than 98%. Addition of one more narrow spectral ranges with the central wavelengths of 358.5 nm allows to provide

classification of oil products into three types: light oil products, heavy oil products, crude oil with probability of the correct classification more than 0,99. This allows us to consider the described laser method as one of their perspective options of remote system for detection and classification of oil pollution on a terrestrial surface.

## References

1. Drugov Yu.S., Rodin A.A. *Ekologicheskie analizy pri razlivakh nefti i nefteproduktov* [Environmental analysis of oil spills and oil]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2007. 270 p. (in Russian).
2. Dudkina A.A. *Neft' i ekologiya* [Oil and ecology]. Publishing house Education and Science s.r.o.: Archive of scientific publications: website. Available at: [http://www.rusnauka.com/17\\_PNR\\_2008/Ecologia/34369.doc.htm](http://www.rusnauka.com/17_PNR_2008/Ecologia/34369.doc.htm) , accessed 16.05.2015. (in Russian).
3. Vasil'eva N. *Russia oil spills wreak devastation*. The Associated Press Enterprise, USA, 18 December 2011. (Russ. ed.: Vasil'eva N. *Utechki nefti v Rossii nanosyat nepopravimyy ushcherb*. inoСМИ.Ru: website. Available at: <http://www.inosmi.ru/russia/20111218/180661918.html> , accessed 16.05.2015.).
4. Measures R.M. *Laser remote sensing. Fundamentals and Applications*. N.Y., John Wiley&Sons, 1984. 550 p.
5. Kozintsev V.I., Fedotov Yu.V., Matrosova O.A., Belov M.L., Gorodnichev V.A. Experimental research of fluorescent spectrums of natural formations and oil pollution. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2011, no. 11. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/256187.html> , accessed 05.05.2015. (in Russian).
6. Romeiko V.S. Worn-out pipelines are the main problem of Russian housing and communal services. *StroiPROfil'*, 2002, no. 5. Available at: <http://stroyprofile.com/archive/447> , accessed 16.05.2015. (in Russian).
7. Suprunchik V.V. Bezopasnost' truboprovodnogo transporta uglevodorodov [Safety of pipeline transportation of hydrocarbons]. *Mineral'nye Resursy Rossii. Ekonomika i Upravlenie*, 2007, no. 6. Available at: <http://www.geoim.ru/content/view/535/278> , accessed 16.05.2015. (in Russian).
8. Fedotov Yu.V, Matrosova O.A., Belov M.L., Gorodnichev V.A. Method of detection of oil pollution on the earth's surface based on fluorescence radiation recording within three narrow spectral bands. *Optika atmosfery i okeana = Atmospheric and oceanic optics*, 2013, vol. 26, no. 3, pp. 208-212. (in Russian).
9. Mironov A.V. Ch. 4.4. Light absorption by atmospheric ozone. In: *Pretsizionnaya fotometriya* [Precision photometry]. Astronet: website. Available at: <http://www.astronet.ru/db/msg/1169494/node29.html> , accessed 16.05.2015. (in Russian).

10. Kozintsev V.I., Belov M.L., Gorodnichev V.A., Strelkov B.V. *Raschet yarkosti fona i oslableniya lazernogo izlucheniya v ul'trafioletovoy oblasti spectra* [Calculation of background luminance and laser attenuation in Itraviolet region of spectrum]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 66 p. (in Russian).