



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013125102/28, 30.05.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.05.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.05.2013

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2014 Бюл. № 34

(45) Опубликовано: 27.01.2015 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 1122943 A1, 07.11.1984. SU 1140011 A1, 15.02.1985. SU 1755129 A1, 15.08.1992. US 20030072004 A1, 17.04.2003

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Белова
М.Л. (каф. РЛ-5)

(72) Автор(ы):

Белов Михаил Леонидович (RU),
Городничев Виктор Александрович (RU),
Матросова Ольга Александровна (RU),
Федотов Юрий Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ
им. Н.Э. Баумана) (RU)

(54) СПОСОБ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

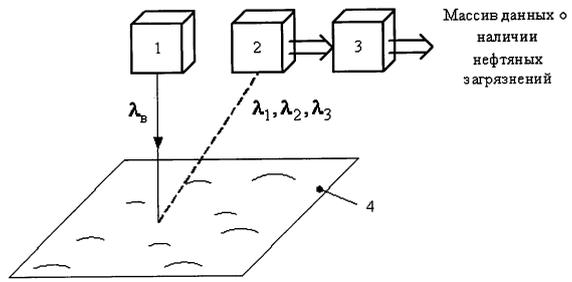
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для оперативного обнаружения утечек нефтепроводов, разливов нефти и нефтепродуктов на земной поверхности. Задачей изобретения является создание способа определения загрязнений нефтепродуктами земной поверхности. Дистанционный способ обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности включает облучение земной поверхности в ультрафиолетовом диапазоне на длине волны возбуждения и прием флуоресцентного излучения. В отличие от известных методов для зондирования земной поверхности регистрируют нормированную

интенсивность флуоресцентного излучения $I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$ трех узких спектральных диапазонов с центрами на длинах волн λ_1 , λ_2 , λ_3 , выбранных по данным экспериментальных измерений из условия максимальной вероятности правильного обнаружения нефтяных загрязнений. О наличии нефтяного загрязнения судят по выполнению пороговых соотношений:

$$I(\lambda_1) + I(\lambda_2) + I(\lambda_3) > K1 \text{ и } \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \geq K2 \text{ и } \frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)} \geq K3, \quad (1)$$

Технический результат - создание способа определения загрязнений нефтепродуктами земной поверхности. 3 ил., 2 табл.



Фиг.1

R U 2 5 3 9 7 8 4 C 2

R U 2 5 3 9 7 8 4 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013125102/28, 30.05.2013

(24) Effective date for property rights:
30.05.2013

Priority:

(22) Date of filing: 30.05.2013

(43) Application published: 10.12.2014 Bull. № 34

(45) Date of publication: 27.01.2015 Bull. № 3

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja ul., 5, str. 1,
MGТУ im. N.Eh. Baumana, TsZIS, dlja Belova M.L.
(kaf. RL-5)

(72) Inventor(s):

Belov Mikhail Leonidovich (RU),
Gorodnichev Viktor Aleksandrovich (RU),
Matrosova Ol'ga Aleksandrovna (RU),
Fedotov Jurij Viktorovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.Eh. Baumana" (MGТУ im. N.Eh. Baumana)
(RU)

(54) **METHOD OF REMOTE DETECTION OF OIL POLLUTIONS ON EACH SURFACE**

(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

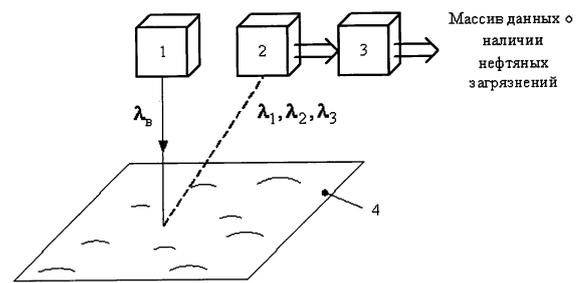
SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment and may be used for efficient detection of leaks of oil pipelines, oil spillages and oil products on the earth surface. The objective of the invention is to create the method to determine pollutions of the earth surface with oil products. The remote method to detect oil pollutions on the earth surface includes radiation of the earth surface in ultraviolet range on the length of the excitation wave and reception of fluorescent radiation. In contrast to available methods for probing of the earth surface they record normalised intensity of fluorescent radiation $I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$ of three narrow spectral ranges with centres on wave lengths λ_1 , λ_2 , λ_3 , selected by data of experimental measurements based on the condition of maximum probability of correct

detection of oil pollutions. Availability of oil pollution is decided based on compliance with threshold ratios:

$$I(\lambda_1) + I(\lambda_2) + I(\lambda_3) > K1 \text{ and } \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \geq K2 \text{ and } \frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)} \geq K3 \quad (1).$$

EFFECT: development of the method to determine pollutions of the earth surface with oil products.

3 dwg, 2 tbl



Фиг.1

Область техники

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для оперативного обнаружения утечек нефтепроводов, разливов нефти и нефтепродуктов на земной поверхности.

5 Уровень техники

Одними из наиболее перспективных классов датчиков для дистанционного оперативного обнаружения разливов нефти и нефтепродуктов являются лазерные флуорометры, работа которых основана на регистрации флуоресцентного излучения от исследуемой поверхности [1].

10 Известны способы обнаружения нефтяных загрязнений на поверхности воды [1-4], заключающиеся в том, что исследуемую водную поверхность облучают на длине волны возбуждения в ультрафиолетовом диапазоне, регистрируют флуоресцентное излучение от исследуемой водной поверхности и о наличии нефтяных загрязнений судят, либо
15 проводя калибровку измеренных сигналов в некоторых спектральных диапазонах по сигналу флуоресценции окружающей чистой воды и потом используя величину калиброванных сигналов для нахождения аномалий в принятом сигнале флуоресценции [1-3], либо по результату корреляции измеренных спектров флуоресцентного излучения со спектрами излучения эталонных образцов [4].

Недостатком этих способов обнаружения нефтяных загрязнений является сложность
20 методики измерения, связанная с необходимостью калибровки измеряемых сигналов по сигналу флуоресценции окружающей воды, или сложность регистрирующей аппаратуры, вызванная необходимостью регистрации спектра флуоресценции в широком спектральном диапазоне для использования корреляционной обработки измеренных спектров флуоресцентного излучения.

25 Наиболее близким к предлагаемому способу является способ обнаружения нефтяных загрязнений на поверхности воды [5], заключающийся в том, что поверхность воды облучают в ультрафиолетовом диапазоне на длине волны λ_B , регистрируют интенсивность флуоресцентного излучения $I(\lambda_1)$ и $I(\lambda_2)$ от исследуемой водной
30 поверхности в двух узких спектральных диапазонах с центрами на длинах волн λ_1, λ_2 ,

выбранных из условия максимального различия величины $\frac{I_H(\lambda_2)}{I_H(\lambda_1)}$ для всех типов

35 нефтепродуктов от величины $\frac{I_B(\lambda_2)}{I_B(\lambda_1)}$ для исследуемой акватории, а о наличии нефтяных загрязнений судят по выполнению соотношений:

$$40 \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \geq \left[\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \right]_{\text{пор}} \quad \text{или} \quad \left[\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \right]_{\text{пор1}} \geq \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \geq \left[\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \right]_{\text{пор2}}$$

где:

$\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)}_{\text{пор}}$, $\left[\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \right]_{\text{пор1}}$ и $\left[\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \right]_{\text{пор2}}$ - пороговые значения, выбранные в результате

45 предварительных исследований спектров флуоресценции нефтепродуктов (отношения $\frac{I_H(\lambda_2)}{I_H(\lambda_1)}$) и спектра флуоресценции воды (отношения $\frac{I_B(\lambda_2)}{I_B(\lambda_1)}$) для исследуемой акватории.

Однако способ [5] применим только для нефтяных загрязнений на водной

поверхности и не позволяет проводить обнаружение нефтяных загрязнений на земной поверхности. Причиной этого является гораздо большая сложность задачи мониторинга нефтяных загрязнений для земной поверхности (по сравнению с задачей мониторинга нефтяных загрязнений для водной поверхности).

5 Основная причина резкого усложнения задачи обнаружения нефтяных загрязнений для земной поверхности связана с многообразием природных образований и элементов
земного ландшафта (различные типы почвы; различные типы растительности; лужи;
мелководные водоемы; асфальтовые покрытия, спектр флуоресценции которых близок
10 к спектрам флуоресценции нефтепродуктов) [6]. Причем это многообразие проявляется
двоичным образом - как многообразие типов земной поверхности, на которых необходимо
обнаруживать разливы различных нефтепродуктов (сырой нефти, легких и тяжелых
нефтепродуктов), так и многообразие фонов, флуоресценцию которых необходимо
отличить от флуоресценции нефтяных загрязнений.

Раскрытие изобретения

15 Задачей изобретения является создание способа определения загрязнений нефтепродуктами земной поверхности.

Поставленная задача решается тем, что согласно дистанционному способу
обнаружения нефтяных загрязнений, включающему облучение поверхности в
ультрафиолетовом диапазоне на длине волны возбуждения λ_B и прием флуоресцентного
20 излучения, для зондирования земной поверхности регистрируют нормированную
интенсивность флуоресцентного излучения $I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$ в трех узких спектральных
диапазонах с центрами на длинах волн λ_1 , λ_2 , λ_3 , выбранных по данным
экспериментальных измерений из условия максимальной вероятности правильного
25 обнаружения нефтяных загрязнений, а о наличии нефтяных загрязнений судят по
выполнению трех пороговых соотношений:

$$I(\lambda_1) + I(\lambda_2) + I(\lambda_3) > K1 \text{ и } \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \geq K2 \text{ и } \frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)} \geq K3, \quad (1)$$

30 При этом для длины волны возбуждения 266 нм центры спектральных диапазонов
регистрации равны: $\lambda_1=331,5$ нм, $\lambda_2=351,5$ нм и $\lambda_3=417,5$ нм, а пороговые значения $K1$;
 $K2$; $K3$ при нормировке интенсивности флуоресценции на интенсивность сигнала
упругого рассеяния на длине волны возбуждения 266 нм равны: $K1=3 \cdot 10^{-4}$; $K2=1,8$; $K3=$
1,75.

35 Способ основан на анализе данных экспериментальных измерений спектров
флуоресценции нефтепродуктов и земных поверхностей (всего 870 спектров
флуоресценции) и позволяет проводить обнаружение нефтяных загрязнений на земной
поверхности (отличать флуоресценцию природных образований и элементов земного
ландшафта от флуоресценции нефтяных загрязнений на земной поверхности).

40 Перечень фигур

На фиг.1 схематично изображено устройство, реализующее предлагаемый способ.
На фиг.2 и 3 показаны примеры спектров флуоресценции чистых и загрязненных
нефтепродуктами земных поверхностей.

Осуществление изобретения

45 Устройство содержит источник ультрафиолетового излучения 1, облучающий земную
поверхность на длине волны возбуждения λ_B ; фотоприемник 2, регистрирующий
флуоресцентное излучение от земной поверхности в трех узких спектральных диапазонах
(с центрами на длинах волн λ_1 , λ_2 , λ_3); блок обработки 3, который по данным измерений

нормированных интенсивностей флуоресценции $I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$ проводит проверку выполнения соотношений (1).

Устройство работает следующим образом.

5 Источник ультрафиолетового излучения 1 (лазер с длиной волны возбуждения 266 нм) облучает исследуемую земную поверхность 4 на длине волны возбуждения λ_B (например, источник излучения 1 может находиться на авиационном носителе). Облучение земной поверхности осуществляют вертикально вниз (для увеличения полосы обзора возможно сканирование поперек направления полета носителя). Фотоприемник 2 регистрирует от исследуемой земной поверхности интенсивность флуоресцентного
10 излучения в трех узких спектральных диапазонах с центрами на длинах волн λ_1 , λ_2 , λ_3 . Сигналы с фотоприемника 2 поступают в блок обработки 3, в который заранее введены пороговые соотношения (1) и значения порогов K_1 , K_2 , K_3 . В блоке обработки интенсивности сигналов флуоресценции нормируются на интенсивность сигнала упругого рассеяния на длине волны возбуждения 266 нм, и затем по данным измерений
15 нормированных интенсивностей флуоресценции $I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$ проводится проверка выполнения соотношений (1) и определяется наличие или отсутствие нефтяных загрязнений. При облете исследуемого района результатом работы блока 3 является массив данных о наличии нефтяных загрязнений (карта нефтяных загрязнений).

20 Исходными данными для разработки способа обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности являются измеренные спектры флуоресценции чистых нефтепродуктов - сырая нефть, тяжелые нефтепродукты (дизельное топливо, масло машинное), легкие нефтепродукты (керосин, бензин); спектры флуоресценции различных типов земных поверхностей - воды (водопроводной, снеговой, со взвесью чернозема,
25 глины, песка), растительности (листья деревьев, мох, трава и др.), почвы (чернозем, 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 (всего 870 спектров флуоресценции различных образцов чистых и загрязненных земных поверхностей при длине волны возбуждения
30 флуоресценции 266 нм) [6].

На Фиг.2 и 3 показаны примеры спектров флуоресценции чистых и загрязненных нефтепродуктами земных поверхностей.

На Фиг.2 приведены спектры флуоресценции нефтепродуктов, воды, растительности и асфальта. Здесь: 5 - бензин А92, разлитый на глинистой почве; 6 - масло машинное
35 Castrol 10w40, разлитое на песчаной почве; 7 - нефть Альметьевская, разлитая на торфе; 8 - вода с взвесью чернозема; 9 - мох, 10 - асфальт. Спектры нормированы на сигнал упругого рассеяния на длине волны 266 нм. Такая нормировка позволяет убрать зависимость интенсивности флуоресценции до объекта зондирования и от большинства параметров передающего и приемного каналов измерителя.

40 На Фиг.3 приведены спектры флуоресценции почв. Здесь: 11 - чернозем; 12 - глина, 13 - известняк, 14 - песок, 15 - песчаная почва, 16 - торф, 17 - почва из соснового бора, 18 - почва из березовой рощи, 19 - почва из дубравы. Спектры нормированы на сигнал упругого рассеяния на длине волны 266 нм.

Из Фиг.2 и 3 хорошо видно:

45 - 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 разлитых на земной поверхности

нефтепродуктов, однако спектры флуоресценции нефтепродуктов заметно отличаются от спектров флуоресценции растительности, воды и асфальта.

Анализ спектров флуоресценции показывает, что процедура проверки наличия нефтяных загрязнений на земной поверхности должна состоять из двух этапов:

5 1. Первый этап. Если интенсивность флуоресцентного сигнала меньше некоторой пороговой величины, то исследуемый элемент земной поверхности относят к почвам (т.е. к случаю «земная поверхность»). Если интенсивность флуоресцентного сигнала выше пороговой, то переходят ко второму этапу - анализу спектров флуоресценции.

10 2. Второй этап. На этом этапе, используя различия в спектрах флуоресценции нефтепродуктов, воды, растительности (и асфальта для населенной местности), относят исследуемый элемент поверхности к случаю «нефтяное загрязнение» или к случаю «земная поверхность».

15 Исследование эффективности способа обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности проводилось методом математического моделирования с использованием экспериментально полученных спектров флуоресценции нефтепродуктов, растительности, воды и асфальта.

20 Результаты математического моделирования с использованием экспериментально полученных спектров флуоресценции показывают, что для задачи обнаружения нефтепродуктов на земной поверхности при длине волны возбуждения 266 нм оптимальное число спектральных каналов регистрации флуоресцентного излучения равно трем. При этом для обеспечения максимальной вероятности правильного обнаружения нефтяных загрязнений (вероятности обнаружения нефтяных загрязнений, когда они действительно присутствуют) и приемлемо низкой вероятности ложных тревог (вероятности обнаружения нефтяных загрязнений, когда их в действительности нет) спектральные диапазоны регистрации флуоресцентного излучения должны быть следующие: 327,5-335,5 нм, 347,5-355,5 нм, 413,5-421,5 нм с центральными длинами волн $\lambda_1=331,5$ нм, $\lambda_2=351,5$ нм и $\lambda_3=417,5$ нм.

30 При использовании всего двух спектральных каналов регистрации флуоресцентного излучения резко уменьшается вероятность правильного обнаружения (или резко увеличивается вероятность ложных тревог). При использовании избыточного числа каналов регистрации (четырёх, пяти или шести) вероятности правильного обнаружения и ложных тревог меняются незначительно, однако заметно возрастает сложность (а значит и стоимость, массогабаритные характеристики и т.п.) системы обнаружения.

35 Этапы процедуры проверки наличия нефтяных загрязнений на земной поверхности для длины волны возбуждения $\lambda_{\text{в}}=266$ нм имеют вид:

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

40
$$I(\lambda_1)+I(\lambda_2)+I(\lambda_3)\leq K1 \text{ для «почв»};$$

$$I(\lambda_1)+I(\lambda_2)+I(\lambda_3)>K1 \text{ для «не почв»};$$

где: $K1=3\cdot 10^{-4}$.

2 этап. Для анализа формы спектров флуоресценции используются два

45 классифицирующих признака $\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)}$, $\frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)}$ и две пороговые величины - $K2=1,8$ (для

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

$$\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \geq K2 \wedge \frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)} \geq K3 \text{ для случая «нефтяное загрязнение»,}$$

$$\frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} < K2 \vee \frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)} < K3 \text{ для случая «земная поверхность».$$

Для оценки эффективности описанного алгоритма находилась вероятность правильного обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности и вероятность ложных тревог.

Результаты математического моделирования приведены в Таблице 1 и 2.

Таблица 1.				
Вероятности правильного обнаружения				
Вероятность	Легкие нефтепродукты	Тяжелые нефтепродукты	Сырая нефть	Все нефтепродукты
Вероятность правильного обнаружения, %	98,87	95,93	99,25	97,59

Таблица 2.					
Вероятности ложной тревоги					
Вероятность	Почвы	Растительность	Вода	Асфальт	Все поверхности
Вероятность ложной тревоги, %	0	2,27	0	5,71	1,06

Из Таблиц 1, 2 видно, что предлагаемый способ позволяет обнаруживать нефтяные загрязнения на земной поверхности с вероятностью правильного обнаружения близкой к единице при небольшой вероятности ложных тревог.

Таким образом, предлагаемый способ дистанционного обнаружения нефтяных загрязнений, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в трех узких спектральных диапазонах, выбранных по данным экспериментальных измерений из условия максимальной вероятности правильного обнаружения нефтяных загрязнений, позволяет надежно обнаруживать нефтяные загрязнения на земной поверхности.

Источники информации

1. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. - М.: Мир. 1987, - 550 с.
2. Patent US 7227139. System and method for optical detection of petroleum and other products in an environment. Date of Patent Jun. 5, 2007. Int. Cl. G01N 21/64.
3. Заявка PCT WO 93/25891. Oil spill detection system. International Publication Date 23.12.1993. International Patent Classification G01N 21/64.
4. Патент RU 2233438. Способ дистанционного обнаружения и идентификации объектов органического происхождения. (МПК G01N 21/64, опубл. 27.07.2004).
5. Патент RU 2440566. Способ дистанционного обнаружения нефтяных загрязнений на поверхности воды. (МПК G01N 21/55, опубл. 20.01.2012).
6. 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. 2011. N11. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/256187.html>.

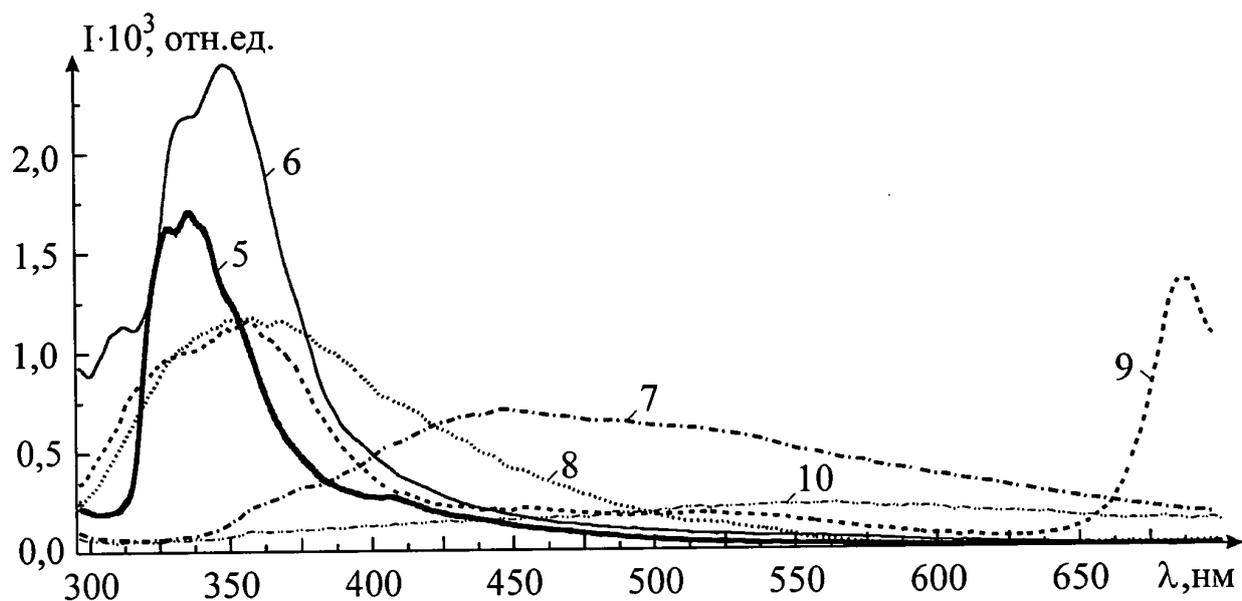
Формула изобретения

Дистанционный способ обнаружения нефтяных загрязнений путем облучения поверхности в ультрафиолетовом диапазоне на длине волны возбуждения и регистрации флуоресцентного излучения, отличающийся тем, что для зондирования земной

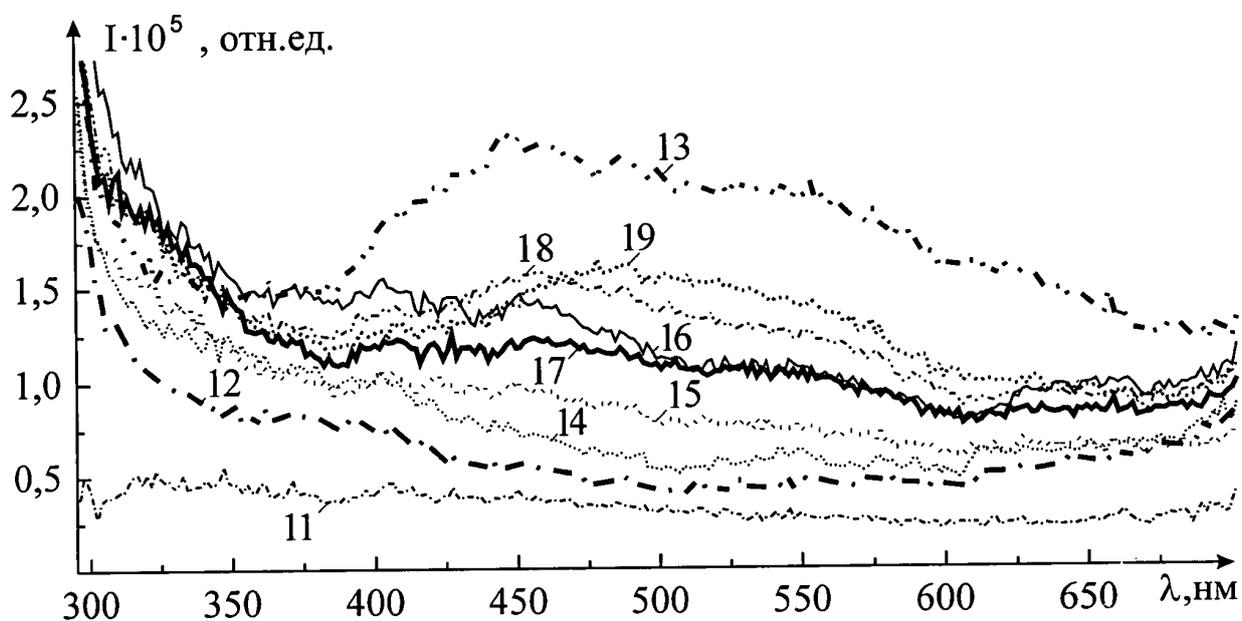
поверхности регистрируют нормированную интенсивность флуоресцентного излучения $I(\lambda_1)$, $I(\lambda_2)$, $I(\lambda_3)$ в трех узких спектральных диапазонах с центрами на длинах волн λ_1 , λ_2 , λ_3 , выбранных по данным экспериментальных измерений из условия максимальной вероятности правильного обнаружения нефтяных загрязнений, а о наличии нефтяных загрязнений судят по выполнению соотношений:

$$I(\lambda_1) + I(\lambda_2) + I(\lambda_3) > K1 \text{ и } \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \geq K2 \text{ и } \frac{I(\lambda_3)}{I(\lambda_1)} \geq K3;$$

причем длина волны возбуждения принимается равной 266 нм, при этом $\lambda_1=331,5$ нм, $\lambda_2=351,5$ нм и $\lambda_3=417,5$ нм, а пороговые значения $K1$, $K2$, $K3$ при нормировке интенсивности флуоресценции на интенсивность сигнала рассеяния на длине волны возбуждения 266 нм приняты равными: $K1=3 \cdot 10^{-4}$; $K2=1,8$; $K3=1,75$.



Фиг.2



Фиг.3