

R U 2 4 9 8 2 7 5 C 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11) 2 498 275<sup>(13)</sup> C2

(51) МПК  
G01N 21/64 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011153881/28, 29.12.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
29.12.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.12.2011

(43) Дата публикации заявки: 10.07.2013 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 10.11.2013 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2233438 C1, 27.07.2004. RU 100269 U1, 10.12.2010. SU 1755129 A1, 15.08.1992. US 3899213 A, 12.08.1975. US 2007/0210262 A1, 13.09.2007. US 6633043 B2, 14.10.2003. JP 2002214140 A, 31.07.2002.

Адрес для переписки:  
105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр.1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, М.Л.  
Белову (НИИ РЛ)

(72) Автор(ы):

Белов Михаил Леонидович (RU),  
Городничев Виктор Александрович (RU),  
Матросова Ольга Александровна (RU),  
Козинцев Валентин Иванович (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) ДИСТАНЦИОННЫЙ СПОСОБ КЛАССИФИКАЦИИ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА  
ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

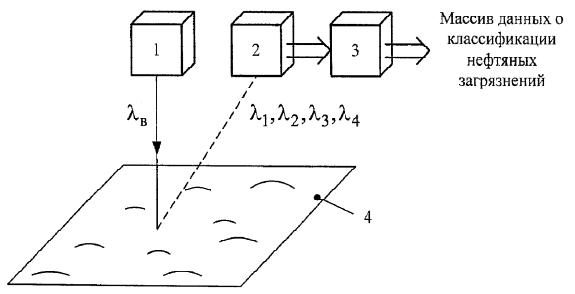
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для оперативной идентификации разливов нефти и нефтепродуктов на морских, озерных и речных акваториях. Для классификации нефтяных загрязнений на поверхности воды облучают исследуемую водную поверхность в ультрафиолетовом диапазоне на длине волны возбуждения  $\lambda_B$ , регистрируют интенсивность флуоресцентного излучения  $I(\lambda_1)$ ,  $I(\lambda_2)$ ,  $I(\lambda_3)$ ,  $I(\lambda_4)$  от исследуемой водной поверхности в четырех узких спектральных диапазонах с центрами на длинах волн  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ , выбранных из условия максимального расстояния между классами в двумерном пространстве классифицирующих признаков

$$K_1 = \frac{I(\lambda_1) - I(\lambda_2)}{I(\lambda_1) + I(\lambda_2)} \quad \text{и} \quad K_2 = \frac{I(\lambda_3) - I(\lambda_4)}{I(\lambda_3) + I(\lambda_4)}.$$

Находят величины  $K_1$  и  $K_2$  для исследуемой водной поверхности и о принадлежности нефтяного загрязнения к одному из классов судят по попаданию найденных величин  $K_1$  и  $K_2$  для исследуемой водной поверхности в область, соответствующую этому классу в двумерном пространстве классифицирующих признаков. Изобретение позволяет проводить классификацию по четырем группам: вода с различными характеристиками (незагрязненная нефтепродуктами поверхность), белок или водоросли в воде, сырая нефть, тяжелые нефтепродукты, легкие очищенные нефтепродукты. 5 ил., 2 табл.

R U 2 4 9 8 2 7 5 C 2



Фиг.1

R U 2 4 9 8 2 7 5 C 2

R U 2 4 9 8 2 7 5 C 2

RU 2 4 9 8 2 7 5 C 2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) RU (11) 2 498 275<sup>(13)</sup> C2(51) Int. Cl.  
G01N 21/64 (2006.01)

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2011153881/28, 29.12.2011

(24) Effective date for property rights:  
29.12.2011

Priority:

(22) Date of filing: 29.12.2011

(43) Application published: 10.07.2013 Bull. 19

(45) Date of publication: 10.11.2013 Bull. 31

Mail address:

105005, Moskva, ul. 2-ja Baumanskaja, 5, str.1,  
MGTU im. N.Eh. Baumana, TsZIS, M.L. Belovu  
(NII RL)

(72) Inventor(s):

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

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe budzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni  
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana)  
(RU)

## (54) REMOTE CLASSIFICATION METHOD OF OIL IMPURITIES ON WATER SURFACE

(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: for classification of oil impurities on water surface, test water surface is irradiated in UV-range on excitation wave length  $\lambda_e$ , intensity of fluorescent radiation  $I(\lambda_1), I(\lambda_2), I(\lambda_3), I(\lambda_4)$  from the test water surface is recorded in four narrow spectral ranges with centres on wave lengths  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ , which have been chosen from the condition of maximum distance between classes in two-dimensional space of classification criteria

$$K_1 = \frac{I(\lambda_1) - I(\lambda_2)}{I(\lambda_1) + I(\lambda_2)} \quad \text{and}$$

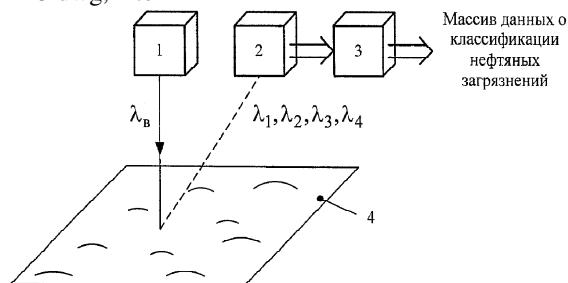
$$K_2 = \frac{I(\lambda_3) - I(\lambda_4)}{I(\lambda_3) + I(\lambda_4)}. \quad \text{Values } K_1 \text{ and } K_2 \text{ are found}$$

for the test water surface, and belonging of oil impurity to one of the classes is estimated as per

penetration of the found values  $K_1$  and  $K_2$  for the test water surface to the area corresponding to that class in two-dimensional space of classification criteria.

EFFECT: invention allows performing classification as per four groups: water with different characteristics, protein or algae in water, crude oil, heavy oil products, and light cleaned oil products.

5 dwg, 2 tbl



Фиг.1

R U 2 4 9 8 2 7 5 C 2

## Область техники

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для оперативной идентификации разливов нефти и нефтепродуктов на морских, озерных и речных акваториях.

### Уровень техники

Одними из наиболее перспективных классов датчиков для дистанционного оперативного контроля разливов нефти и нефтепродуктов являются лазерные флуориметры, работа которых основана на регистрации флуоресцентного излучения от исследуемой водной поверхности (см., например, [1]).

Лазерные флуориметры позволяют обнаруживать нефтяные загрязнения и проводить их идентификацию или, по крайней мере, классификацию по трем группам: легкие очищенные нефтепродукты (НП), сырая нефть и тяжелые нефтепродукты [1].

Основным признаком при этом является регистрируемый приемником лазерного измерителя спектр флуоресценции.

Известны способы классификации нефтяных загрязнений на поверхности воды [2 и 3], являющиеся аналогом и прототипом предлагаемого изобретения. Прототипный способ заключается в том, что исследуемую водную поверхность облучают на длине волн возбуждения в ультрафиолетовом диапазоне, регистрируют флуоресцентное излучение от исследуемой водной поверхности, и классификацию нефтяных загрязнений осуществляют по результатам сравнения измеренных спектров флуоресцентного излучения с эталонными (предварительно записанными) спектрами излучения образцов.

Недостатком прототипного способа является необходимость измерения спектра флюоресценции в широком спектральном диапазоне, что требует дорогостоящего многоканального приемного устройства.

### Раскрытие изобретения

Задачей предлагаемого изобретения является измерение спектра флюоресценции в узких спектральных диапазонах без потери качества классификации нефтяных загрязнений. Эффект достигается тем, что в предлагаемом способе классификации нефтяных загрязнений на поверхности воды облучают исследуемую водную поверхность в ультрафиолетовом диапазоне на длине волн возбуждения  $\lambda_b$ ,

регистрируют интенсивность флуоресцентного излучения  $I(\lambda_1)$ ,  $I(\lambda_2)$ ,  $I(\lambda_3)$ ,  $I(\lambda_4)$  от исследуемой водной поверхности в четырех узких спектральных диапазонах с центрами на длинах волн  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ , выбранных из условия максимального расстояния между классами в двумерном пространстве классифицирующих признаков

$$K_1 = \frac{I(\lambda_1) - I(\lambda_2)}{I(\lambda_1) + I(\lambda_2)} \quad \text{и} \quad K_2 = \frac{I(\lambda_3) - I(\lambda_4)}{I(\lambda_3) + I(\lambda_4)}$$

водной поверхности, и о принадлежности нефтяного загрязнения к одному из классов судят по попаданию найденных величин  $K_1$  и  $K_2$  для исследуемой водной поверхности

в область, соответствующую этому классу в двумерном пространстве классифицирующих признаков.

Предлагаемый способ позволяет проводить классификацию по четырем группам: вода с различными характеристиками (незагрязненная нефтепродуктами поверхность), белок или водоросли в воде; сырая нефть; тяжелые нефтепродукты; легкие очищенные нефтепродукты.

Значения длин волн центров спектральных диапазонов  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$  и конкретные границы классов зависят от конкретной длины волны возбуждения  $\lambda_b$  исследуемой

акватории и определяются из условия максимальной вероятности правильной классификации.

Перечень фигур

На фиг.1 схематично изображено устройство, реализующее предлагаемый способ.

На Фиг.2 и Фиг.3 представлены некоторые типы воды и нефтепродуктов в пространстве выбранных классифицирующих признаков.

На Фиг.4 и Фиг.5 показано разделение классов с помощью линейно-кусочных границ ( $h(K_1, K_2)$ ) для длин волн возбуждения 226 и 337 нм соответственно.

Осуществление изобретения

Устройство на фиг.1 содержит источник ультрафиолетового излучения 1, облучающий водную поверхность на длине волны возбуждения  $\lambda_B$ ; фотоприемник 2, регистрирующий флуоресцентное излучение от водной поверхности в четырех узких спектральных диапазонах (с центрами на длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ ); блок обработки 3, который по данным измерений определяет величины  $K_1$  и  $K_2$  для исследуемой водной поверхности и проводит проверку попадания полученных значений  $K_1$  и  $K_2$  в область, соответствующую одному из классов в двумерном пространстве классифицирующих признаков.

Предлагаемый способ классификации нефтяных загрязнений на поверхности воды осуществляют следующим образом.

Источник ультрафиолетового излучения 1 (например, лазер с длиной волны возбуждения 266, или 308, или 337 нм - на эти длины волн приходится наибольшее количество известных по общедоступной научно-технической литературе измеренных спектров флуоресценции воды, нефти и нефтепродуктов) облучает исследуемую водную поверхность 4 на длине волны возбуждения  $\lambda_B$  (например, источник излучения 1 может находиться на авиационном носителе).

Облучение водной поверхности осуществляют вертикально вниз. Фотоприемник 2 регистрирует от исследуемой водной поверхности интенсивность флуоресцентного излучения  $I(\lambda_1), I(\lambda_2), I(\lambda_3), I(\lambda_4)$  в четырех узких спектральных диапазонах с центрами на длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ .

Сигналы с фотоприемника 2 поступают в блок обработки 3, в который введены границы классов (I - вода с различными характеристиками (незагрязненная нефтепродуктами поверхность), белок или водоросли в воде; II - сырая нефть; III - тяжелые нефтепродукты, IV - легкие очищенные нефтепродукты), заранее определенные для используемой волны возбуждения  $\lambda_B$  и исследуемой акватории.

В блоке обработки 3 по данным измерений находят величины  $K_1 = \frac{I(\lambda_1) - I(\lambda_2)}{I(\lambda_1) + I(\lambda_2)}$  и

$K_2 = \frac{I(\lambda_3) - I(\lambda_4)}{I(\lambda_3) + I(\lambda_4)}$  для исследуемой водной поверхности и проводят проверку

попадания найденных значений  $K_1$  и  $K_2$  в область, соответствующую одному из классов в двумерном пространстве классифицирующих признаков.

При облете исследуемой акватории результатом работы блока 3 является массив данных о классификации нефтяных загрязнений (карта нефтяных загрязнений).

В настоящее время имеются достаточно многочисленные общедоступные экспериментальные данные по спектрам флуоресценции (в различных спектральных диапазонах регистрации) различных нефтей, нефтепродуктов и чистой воды для разных акваторий и для разных длин волн возбуждения 266, 308 и 337 нм и др. (см., например, [1, 4-6]).

Спектральные диапазоны регистрации флуоресцентного излучения (с центрами на длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ ) выбираются по максимуму расстояний между классами в двумерном пространстве классифицирующего признака. Результаты математического моделирования показывают:

- для длины волны возбуждения 266 нм задача классификации может быть решена, используя спектральные диапазоны с центрами на длинах волн 296, 306, 350, 367 нм.

Таким образом, для длины волны возбуждения 266 нм классифицирующими признаками являются контрасты:

$$K_1 = \frac{I(306 \text{ нм}) - I(296 \text{ нм})}{I(306 \text{ нм}) + I(296 \text{ нм})}$$

$$K_2 = \frac{I(367 \text{ нм}) - I(350 \text{ нм})}{I(367 \text{ нм}) + I(350 \text{ нм})}$$

- для длины волны возбуждения 337 нм задача классификации может быть решена, используя спектральные диапазоны с центрами на длинах волн 395, 402, 408, 411 нм.

Таким образом, для длины волны возбуждения 337 нм классифицирующими признаками являются контрасты:

$$K_1 = \frac{I(402 \text{ нм}) - I(396 \text{ нм})}{I(402 \text{ нм}) + I(396 \text{ нм})}$$

$$K_2 = \frac{I(411 \text{ нм}) - I(408 \text{ нм})}{I(411 \text{ нм}) + I(408 \text{ нм})}$$

На Фиг.2 представлены: 1 - модельная проба воды, 2 - вода Черного моря, 3 - белок, растворенный в воде, 4 - водоросль хлорелла в воде, 5 - водоросль хлорококкум в воде, 6 - гадливая и гуминовые кислоты в воде, 7 - нефть Ливийская в воде №1, 5 - нефть Шаймская в воде, 9 - нефть в воде, 10 - нефть Ливийская в воде №2, 11 - мазут в воде, 12 - дизельное топливо в воде, 13 - топливо для реактивных самолетов в воде, 14 - керосин в воде.

На Фиг.3 представлены: 1 - растворенное органическое вещество (РОВ), 2 - вода р. Дон, 3 - вода ручья Оуквилл, 4 - вода ручья Твэлф-майл, 5 - нефть Ливийская, 6 - нефть фирмы Esso (высший сорт), 7 - нефть фирмы Esso, 8 - соляное масло, 9 - дизельное топливо, 10 - керосин.

При математическом моделировании работы метода классификации нефтяных загрязнений на поверхности воды считалось, что из-за шумов и погрешностей измерения интенсивности в спектрах флуоресценции распределены по нормальному закону. Полагалось, что каждый класс состоит из множества веществ; каждое вещество определяется нормально распределенными классифицирующими признаками; параметры распределений определяются для каждого вещества отдельно.

Полученные классы разделяют при помощи гиперплоскостей (см., например, [7]). Разделение классов с помощью линейно-кусочных границ ( $h(K_1, K_2)$ ) представлено на Фиг.4 и Фиг.5 для длин волн возбуждения 226 и 337 нм соответственно. Верхние индексы I, II, III, IV указывают на пары разделяемых классов (I - вода, белок или водоросли в воде; II - сырая нефть; III - тяжелые нефтепродукты, IV - легкие очищенные нефтепродукты).

Находилась вероятность правильной классификации нефтяных загрязнений по четырем группам: вода, белок или водоросли в воде; сырья нефть; тяжелые нефтепродукты; легкие очищенные нефтепродукты.

В Таблицах 1 и 2 приведены результаты математического моделирования классификации нефтяных загрязнений на водной поверхности предлагаемым способом. Математическое моделирование проводилось для длин волн

возбуждения 337 нм и 266 нм и разной величины относительного среднеквадратического значения шума регистрирующей аппаратуры.

Таблица 1. Вероятности правильной классификации для длины волны возбуждения 266 нм

Вещество	$\sigma, \%$	1	2	3	4	5
Модельная проба воды	1,000	0,958	0,888	0,841	0,821	
Вода Черного моря	1,000	1,000	1,000	0,999	0,992	
Белок, растворенный в воде	1,000	0,988	0,912	0,821	0,746	
Водоросль хлорелла в воде	0,985	0,856	0,759	0,700	0,657	
Водоросль хлорококум в воде	1,000	1,000	1,000	0,994	0,976	
Гадливая и гуминовые кислоты в воде	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Нефть Ливийская в воде	0,999	0,913	0,821	0,752	0,695	
Нефть Шаймская в воде	1,000	0,963	0,889	0,815	0,758	
Нефть в воде	1,000	0,956	0,861	0,767	0,698	
Нефть Ливийская в воде	1,000	0,996	0,951	0,867	0,779	
Мазут в воде	0,987	0,872	0,771	0,721	0,674	
Дизельное топливо в воде	1,000	1,000	0,999	0,988	0,961	
Топливо для реактивных самолетов в воде	0,998	0,925	0,833	0,772	0,729	
Керосин в воде	1,000	0,967	0,887	0,809	0,737	

Таблица 2. Вероятности правильной классификации для длины волны возбуждения 337 нм

Вещество	$\sigma, \%$	1	2	3	4	5
РОВ	1,000	0,987	0,935	0,868	0,819	
Вода р.Дон	1,000	1,000	1,000	0,999	0,994	
Вода ручья Оуквилл	1,000	1,000	0,994	0,974	0,944	
Вода ручья Твэлф-майл	1,000	1,000	1,000	0,998	0,988	
Нефть Ливийская	0,998	0,924	0,794	0,674	0,578	
Нефть фирмы Esso (высший сорт)	1,000	1,000	0,996	0,979	0,942	
Нефть фирмы Esso	1,000	1,000	0,999	0,983	0,955	
Соляное масло	1,000	0,996	0,956	0,875	0,778	
Дизельное топливо	1,000	0,997	0,970	0,924	0,890	
Керосин	0,997	0,919	0,811	0,726	0,643	

Из таблиц 1 и 2 видно, что разработанный метод классификации позволяет надежно классифицировать нефтяные загрязнения на водной поверхности.

Для длины возбуждения 266 нм при шуме измерения  $\sigma=1\%$  вероятность правильной классификации оказывается не хуже 0,985, а в большинстве случаев практически 1 (с точностью до трех знаков после запятой).

Для длины возбуждения 337 нм при шуме измерения  $\sigma=1\%$  вероятность правильной классификации оказывается не хуже 0,997, а в большинстве случаев практически 1 (с точностью до трех знаков после запятой).

Таким образом, предлагаемый дистанционный способ классификации нефтяных загрязнений на поверхности воды, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в четырех узких спектральных диапазонах, позволяет надежно классифицировать нефтяные загрязнения на водной поверхности.

#### Источники информации

- Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. - М.: Мир. 1987, - 550 с.
- Patent US 3899213. Airborne laser remote sensing system for the detection and identification of oil spills. Date of Patent Aug. 12, 1975. Int. Cl. G01T 1/169; G01N 21/38.
- Патент RU 2233438. Способ дистанционного обнаружения и идентификации объектов органического происхождения. Дата действия патента 26.08.2003. МПК G01N

21/64.

4. Таер Абд Дейдан, Пацаева С.В., Фадеев В.В., Южаков В.И. Спектральные особенности флуоресценции нефтепродуктов в пленках и в объеме воды. //Оптика атмосферы и океана. 1994. Т.7. №4. С.455-463.

5. Дистанционный контроль верхнего слоя океана. / В.М.Орлов, И.В.Самохвалов, М.Л.Белов и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 149 с.

6. 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.464-473.

7. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енуков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. - М.: Финансы и статистика. 1989, - 607 с.

15

#### Формула изобретения

Дистанционный способ классификации нефтяных загрязнений на поверхности воды, включающий облучение исследуемой водной поверхности на длине волны возбуждения в ультрафиолетовом диапазоне, регистрацию флуоресцентного излучения от исследуемой водной поверхности в широком спектральном диапазоне и классификацию нефтяных загрязнений по результатам сравнения измеренных спектров флуоресцентного излучения с эталонными (предварительно записанными) спектрами излучения образцов, отличающейся тем, что поверхность воды облучают в ультрафиолетовом диапазоне на длине волны возбуждения  $\lambda_b$ , регистрируют 25 интенсивность флуоресцентного излучения  $I(\lambda_1), I(\lambda_2), I(\lambda_3), I(\lambda_4)$  от исследуемой водной поверхности в четырех узких спектральных диапазонах с центрами на длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ , выбранных из условия максимального расстояния между классами в двумерном пространстве классифицирующих признаков

$$K_1 = \frac{I(\lambda_1) - I(\lambda_2)}{I(\lambda_1) + I(\lambda_2)}$$

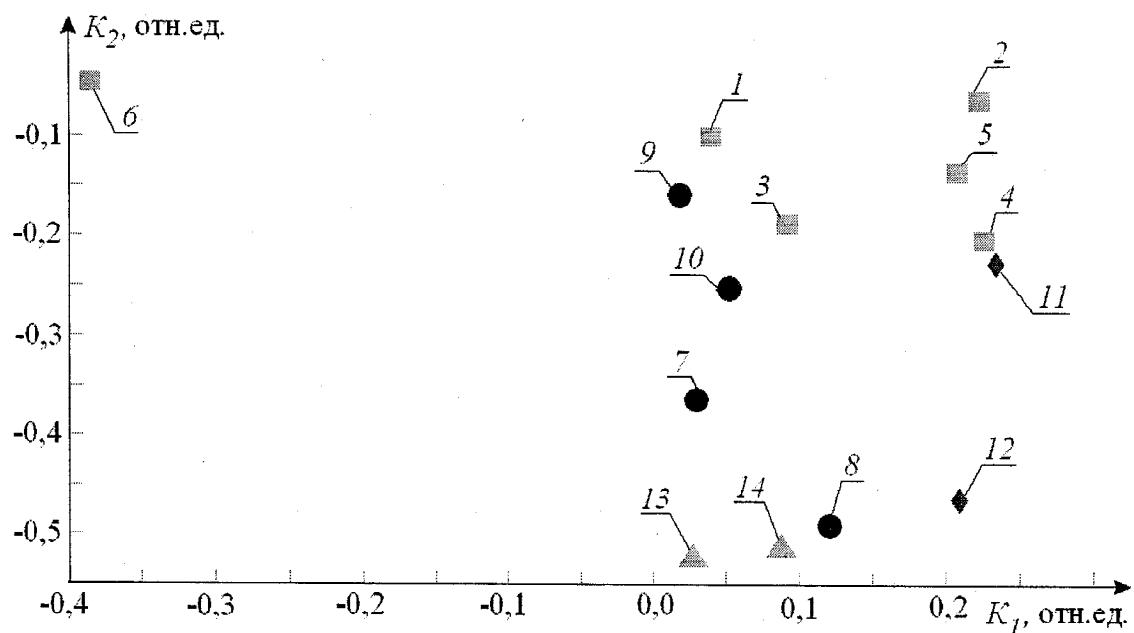
$K_2 = \frac{I(\lambda_3) - I(\lambda_4)}{I(\lambda_3) + I(\lambda_4)}$ , находят величины  $K_1$  и  $K_2$  для исследуемой водной поверхности, а

35 о принадлежности нефтяного загрязнения к одному из классов судят по попаданию найденных величин  $K_1$  и  $K_2$  для исследуемой водной поверхности в область, соответствующую этому классу в двумерном пространстве классифицирующих признаков.

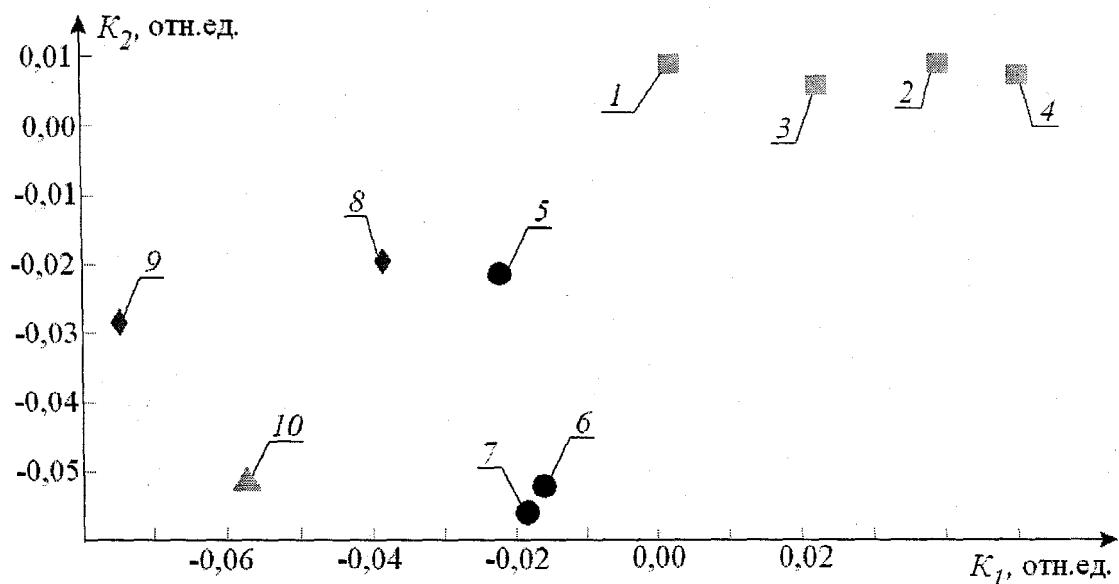
40

45

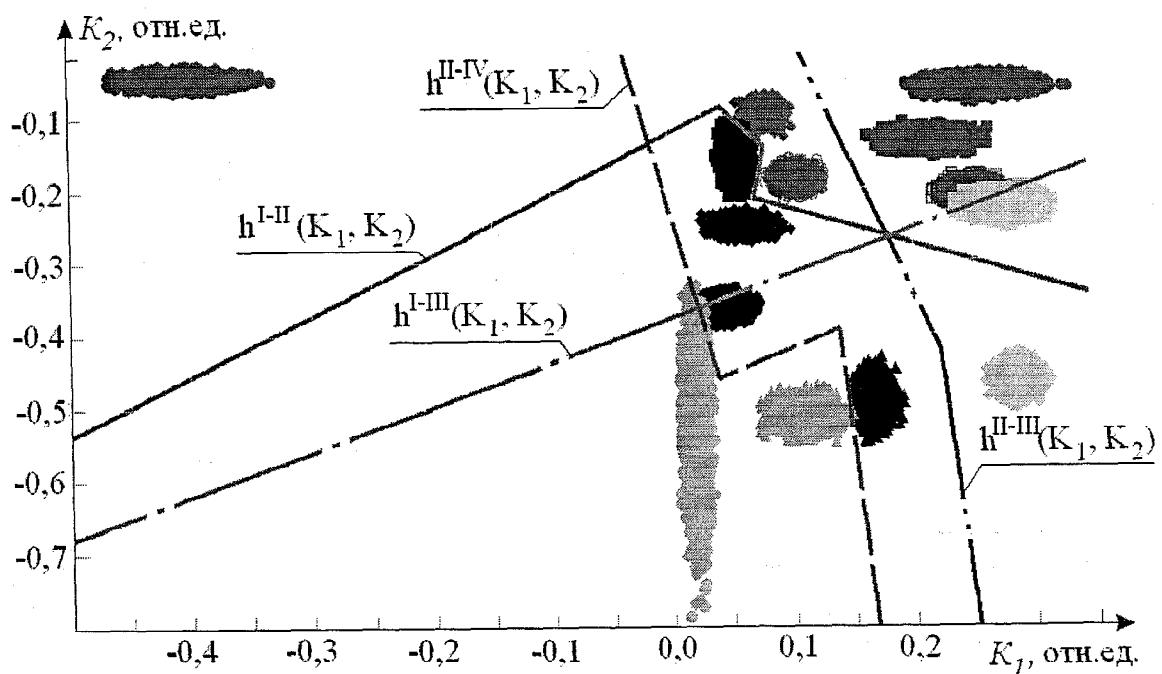
50



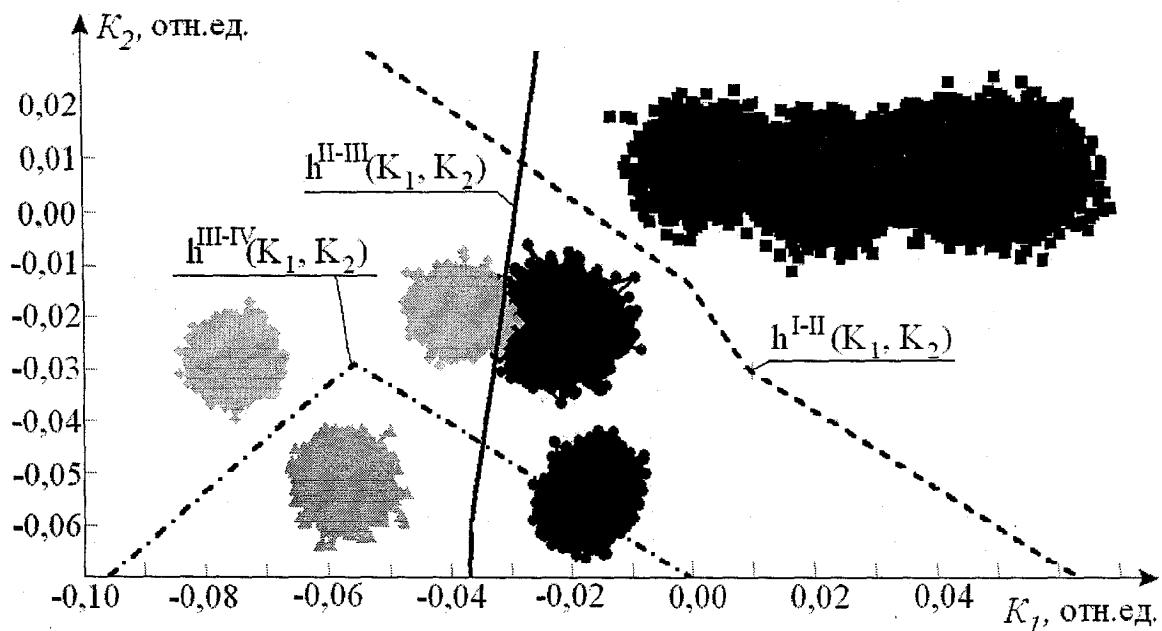
Фиг.2



Фиг.3



Фиг. 4



Фиг.5