

**АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА**

*На правах рукописи*

**ДИСТАНЦИОННЫЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ  
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ КОНТРОЛЯ  
ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ МОРЯ**

Специальность: 3337.01-Информационно-измерительные и  
управляющие системы  
(в экологическом мониторинге)

Отрасль науки: технические науки

Соискатель: **Абдуллаева Лятифа Джафарага гызы**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора философии по техническим наукам

**СУМГАИТ-2022**

Работа выполнена в Научно-Исследовательском Институте  
Аэрокосмической Информатики Национального  
Аэрокосмического Агентства.

Научный  
руководитель:

доктор технических наук, профессор  
**Хикмет Гамид оглы Асадов**

Официальные  
оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
**Рагим Курбан оглы Мамедов**

доктор физико-математических наук,  
профессор  
**Азад Агаяр оглы Байрамов**

доктор философии по техническим  
наукам, доцент  
**Намик Мухтар оглы Пашаев**

Диссертационный совет FD2.25 Высшей Аттестационной  
Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики,  
действующий при Сумгайтском Государственном  
Университете

Председатель  
диссертационного совета:

доктор технических наук,  
профессор  
**Агил Гамид оглы Гусейнов**

Ученый секретарь  
диссертационного совета:

доктор философии по  
техническим наукам, доцент  
**Тургай Килим оглы Гусейнов**

Председатель научного  
семинара:

доктор технических наук,  
профессор  
**Али Гасан оглы Нагиев**



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность и проработанность темы.** Для устойчивого развития прибрежных территорий и защиты окружающей среды в этих регионах проведение достоверного мониторинга береговых зон является важнейшей задачей. Особую актуальность приобретает задача контроля степени загрязненности морской воды на больших географических территориях с учетом высокой информативности такого показателя водных пространств как цвет морской воды. Методы дистанционного измерения позволяют осуществить мониторинг и синтез новых моделей определения содержания хлорофилла в морской воде. Мониторинг береговых зон является важнейшей задачей для устойчивого развития прибрежных территорий и защиты окружающей среды в этих регионах. Исследование долговременной и сезонной динамики береговых линий различных водоёмов имеет особую важность.

Береговая линия является наиболее важной характеристикой земной поверхности, обладающей временной динамикой. Почти 44 % мирового населения живут в пределах 150 км зоны от океана и согласно прогнозам IPCC <https://www.ipcc.ch/> уровень океанических вод к 2099 г. поднимется от 19 см до 50 см. Только в Индии подъем уровня океанических вод на 1 м приведет к переселению населения в количестве 7 миллионов. Все это указывает на актуальность исследования вопросов определения динамики изменения береговой линии морей и океанов. Форма береговой линии находится под воздействием таких факторов как гидрография, геология, климат и растения. При изучении загрязненности береговых линий нефтью, с экологической точки зрения, актуальными оказываются вычисление объема нефти, который может быть накоплен в зоне береговой линии; исследование различий между такими отдельными типами нефти как легкая нефть, тяжелая нефть; разработка методики оценки накопленной на береговой зоне нефти и др. При осуществлении

дистанционного измерения растворенных в воде органических веществ в неглубоких участках береговых вод и рек основной проблемой является влияния отражения измеряющего луча от дна водоема. Отраженное от дна оптическое излучение при дистанционном измерении должно быть учтено в неглубоких береговых зонах водоемов.

Определение состояния исследования мутности прибрежных вод является одним из задач экологического контроля. Для этой цели могут быть использованы различные спутниковые и самолетные средства дистанционного измерения, а для валидации полученных результатов могут быть использованы стационарные турбидиметры. Исследованию долговременной и сезонной динамики береговых линий различных водоёмов придается особая важность. В течение некоторого интервала времени концентрация хлорофилла и взвешенных частиц при стабильных условиях экологического загрязнения морских бассейнов в морской береговой зоне постоянна. При наличии достоверных космических данных о содержании хлорофилла в воде появляется возможность исследования свойств поглощения и рассеяния взвешенных морских твердых частиц. Мутность водоемов определяется как уменьшение прозрачности из-за ослабления проходящего сквозь воду оптического луча из-за поглощения, рассеяния и отражения от взвешенных твердых частиц. Фитопланктоны осуществляют более 50% общего объема процесса фотосинтеза на Земле поглощая свет и  $\text{CO}_2$ , генерируя кислород. Поглощение солнечного света фитопланктонами, приводит к изменению цвета морских вод от синего к зеленому при этом в фитопланктонах хлорофилл является основным свето-поглощающим пигментом. В водной колонне высотой 4000 м количества органического углерода составляет  $100 \text{ гр/м}^2$ . Всего, общая масса таких частиц в мировом океане составляет  $2 \cdot 10^{16}$  гр.

На прохождение света в водной колонне существенно влияют взвешенные частицы и следовательно эти частицы

вливают на оптические и биологические свойства морских вод. В частности, они влияют на коэффициент диффузного ослабления света на длине волны 490 нм, на концентрацию хлорофилла, а также на продуктивность морских вод. На качество жизни миллионов людей, проживающих в береговых зонах могут повлиять суммарные взвешенные частицы, являющиеся индикатором качества воды и чистоты морских вод. Традиционно канал 645 нм MODIS, (36-канальный VIS/IR спектрорадиометр) ( а также каналы 545 нм и 840 нм спутника SPOT используется для их дистанционного измерения. Для исследования динамики береговой линии могут быть использованы различные источники данных, такие как картографические данные, спутниковые снимки (SPOT-PX/XS, Landsat-TM, Corona), а также самолетные данные. Решение подобных вопросов, принимается после анализа масштаба загрязнения береговых линий, в частности зависимости длины загрязненной части береговой линии от объема вылитой в море сырой нефти.

В воде определяются окрашенные растворенные органические вещества (CDOM) в качестве фотоактивных фракций растворенных органических веществ в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне. Коэффициент поглощения оптических лучей у этих веществ высок и уменьшается до нуля в красной зоне электромагнитного спектра. По этой причине часто используется длина волны 440 нм для дистанционного измерения CDOM. В качестве показателя распространения органического углерода в водной среде часто представляют концентрацию CDOM, следовательно, для изучения цикла круговорота углерода в пространстве взаимодействия водной и земной среды важно. дистанционное измерение CDOM (Colored dissolved organic matter).

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является разработка новых методов дистанционного измерения для повышения достоверности оценки состояния окружающей среды в береговой зоне.

Для достижения поставленной цели в диссертации сформулированы и решены следующие основные задачи:

1. Разработка двухволнового метода определения концентрации взвешенных твердых частиц в морской воде, предусматривающего проведение совместных двухволновых измерений параметра, зависящего от условий проведения эксперимента, концентрации хлорофилла и взвешенных твердых частиц, а также автономного двухволнового измерения концентрации хлорофилла.

2. Разработка метода классификации взвешенных частиц по величине коэффициента поглощения оптического излучения, позволяющего осуществить классификацию этих частиц по структурному составу.

3. Составление модели оценки сигналов спутниковых спектрорадиометров для случая аномального загрязнения атмосферы аэрозолями и многоволнового метода определения береговой линии, позволяющего устранить аэрозольную погрешность известного двухволнового метода.

4. Усовершенствование трехканального критерия обнаружения береговой линии реализованного на базе данных измерений каналов В1, В2, В3 аппаратуры SPOT XS и X1, путем его преобразования в индексно – канальный критерий с целью увеличения чувствительности к спектральным индексам.

5. Решение задачи проведения турбидометрических измерений для определения количества взвешенных твердых частиц в зависимости от мутности воды в зонах дельты рек и в прибрежных зонах морей. Разработка одноволновой и двухволновой методик определения общего количества твердых взвешенных частиц и типа исследуемых вод в зависимости от мутности вод, определяемой на двух длинах волн.

6. Разработка модифицированного критерия выбора методов дистанционного измерения растворенных органических веществ в береговых зонах морей. Решение

задачи оптимизации измерения концентрации растворенного органического углерода в прибрежных зонах смешения морских и речных вод.

7. Разработка метода информационного баланса сигналов дисперсивного и недисперсивного зондирования, используемых соответственно для основных и валидационных измерений для разведки нефтяных месторождений с применением бортовых гиперспектрометров.

### **Основные положения выносимые на защиту**

1. Предложенный метод определения концентрации взвешенных твердых частиц в морской воде, предусматривающий проведение совместных двухволновых измерений параметра, зависящего от условий проведения эксперимента, концентрации хлорофилла и взвешенных твердых частиц, а также автономного двухволнового измерения концентрации хлорофилла.

2. Предложенный метод классификации взвешенных частиц по величине коэффициента поглощения оптического излучения, позволяющий осуществить классификацию этих частиц по структурному составу.

3. Разработанная модель оценки сигналов спутниковых спектрорадиометров для случая аномального загрязнения атмосферы аэрозолями и многоволновый метод определения береговой линии, позволяющий устранить аэрозольную погрешность известного двухволнового метода.

4. Усовершенствованный вариант трехканального критерия обнаружения береговой линии реализованного на базе данных измерений каналов B1, B2, B3 аппаратуры SPOT XS и X1, путем его преобразования в индексно – канальный критерий с целью увеличения чувствительности к спектральным индексам, базе данных измерений каналов B1, B2, B3 аппаратуры SPOT XS и X1. Обнаруженное свойство трехканального критерия, заключающееся в более высокой чувствительности к изменению  $B_1/RED$ , чем к изменению NDVI.

5. Решение задачи проведения турбидометрических измерений для определения количества взвешенных твердых частиц в зависимости от мутности воды в зонах дельты рек и в прибрежных зонах морей. Предложенные одноволновая и двухволновая методики определения общего количества твердых взвешенных частиц и типа исследуемых вод в зависимости от мутности вод, определяемой на двух длинах волн.

6. Предложенный модифицированный критерий выбора методов дистанционного измерения растворенных органических веществ в береговых зонах морей. Сформулированная и решенная задача оптимизации измерения концентрации растворенного органического углерода в прибрежных зонах смешения морских и речных вод.

7. Предложенный метод информационного баланса сигналов дисперсивного и недисперсивного зондирования, используемых соответственно для основных и валидационных измерений для разведки нефтяных месторождений с применением бортовых гиперспектрометров. Полученное на основе условия информационного баланса выражение для определения отношения сигнал/шум в системе для дальнейшего вычисления корреляции между узкополосным нефтяным индексом и широкополосным сигнатурным признаком аномальной концентрации тяжелых металлов, являющимся предвестником нефтяных залежей или углеводородных загрязнений.

**Научная новизна исследований.** Научная новизна исследований заключается в следующем:

1. Разработан двухволновой метод для вычисления концентрации взвешенных твердых частиц в морской воде, заключающийся в проведении совместных двухволновых измерений параметра, зависящего от условий проведения эксперимента, концентрации хлорофилла и взвешенных твердых частиц, а также автономного двухволнового измерения концентрации хлорофилла. Показана возможность



реализации разновидности этого метода, когда в отдельности измеряется концентрация взвешенных частиц, используя при этом несколько смещенные длины волн.

2. Разработан метод классификации взвешенных в морской воде частиц по величине коэффициента поглощения оптического излучения, на основе которого можно осуществить классификацию этих частиц по структурному составу.

3. Разработана модель оценки сигналов спутниковых спектрорадиометров применительно к случаю аномального загрязнения атмосферы аэрозолями, на базе которой разработан многоволновый метод выявления береговой линии, позволяющий устранить аэрозольную погрешность известного двухволнового метода.

4. Предложено усовершенствование известного трехканального критерия обнаружения береговой линии реализованного на базе данных измерений каналов B1, B2, B3 аппаратуры SPOT XS и X1. Указанный критерий преобразован в индексно – канальный критерий, который более чувствителен к изменению  $B_1/RED$ , чем к изменению NDVI. Графически показано, что чувствительность усовершенствованного критерия к  $B_1/RED$  по меньшей мере в два раза сильнее, чем к NDVI.

5. Предложены одноволновая и двухволновая методики для установления количества твердых взвешенных частиц и типа исследуемых вод в зависимости от мутности вод, определяемой с применением двух длин волн.

6. Разработан усовершенствованный критерий выбора методов дистанционного зондирования растворенных органических веществ в береговых зонах. Сформулирована и решена задача оптимизации измерения концентрации растворенного органического углерода в прибрежных зонах где происходит смешение морской и речной воды.

7. Разработан метод информационного баланса сигналов дисперсивного и недисперсивного зондирования, реализуемых

соответственно для основных и валидационных измерений для разведки нефтяных месторождений с применением бортовых гиперспектрометров Получено выражение для определения отношения сигнал/шум в системе для вычисления корреляции между узкополосным нефтяным индексом и широкополосным сигнатурным признаком наличия аномальной концентрации тяжелых металлов.

### **Теоретическая и практическая значимость исследования.**

1. Показана теоретическая возможность использования данных каналов  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  спектрорадиометра SPOT XS и X1 для определения береговой линии, путем формирования предлагаемого индексно – канального критерия. Обнаружено свойство рассматриваемого трехканального критерия, заключающееся в высокой чувствительности к изменению  $B_1/RED$ , чем к изменению NDVI.

2. Результаты оптимизации измерения концентрации растворенного органического углерода могут быть использованы при исследовании степени загрязнения прибрежных морских зон смешения морских и речных вод.

3. Предложенный метод информационного баланса применительно к сигналам дисперсивного и недисперсивного измерения, может быть применен в разведке нефтяных месторождений или мест загрязнения углеводородами, по признаку аномальной концентрации тяжелых металлов.

4. Разработанные меры по увеличению эффективности трехуровневого измерения мутности воды позволяют на практике более детально исследовать динамику распространения водных масс в устье реки и морских прибрежных зонах.

5. Предложенный метод и усовершенствованный критерий определения береговой зоны позволяют устранить аэрозольную погрешность известного двухволнового метода измерений и увеличить чувствительность к спектральным индексам.

## **Апробация и применение.**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались в Научно-Исследовательском Институте Аэрокосмической Информатики и обсуждались на нижеследующих Международных научно-практических конференциях:

1. Научно-техническая конференция, посвященная 95-летию Гейдара Алиева, АзГУ, Баку, 03-05 мая, 2018;

2. VII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и охраны труда» Курск, май, 2015;

3. X Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы экологии и охраны труда» Юго-Западный Государственный Университет, Курск, 2018;

4. Международная конференция «Возможности внедрения и перспективы информационных технологий и систем в Азербайджане», Институт Систем и Управления НАНА, Баку, 01-02 июля 2018;

5. Международная научная конференция «Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов», Вятский Государственный Университет, Киров 16-18 апреля;

6. Международная конференция «Возможности внедрения и перспективы информационных технологий и систем в Азербайджане», Институт Систем и Управления НАНА, Баку, июль, 2018;.

7. 1st International Conference “Problems and Perspectives (MIMCS '2019)” ADNSU-UBFC July 01-02, 2019, Баку, р-191.

Кроме этого основные положения диссертационной работы реализованы в научно-исследовательской работе (“Dəniz səthində neft təbəqəsinin qalınlığının məsafədən yüksək dəqiqliklə təyin edilməsi üçün fluoresent və kolorimetrik üsulların işlənilməsi” 2020, Баки, 46 s.) выполненной в Научно-Исследовательском Институте Аэрокосмической Информатики. Учитывая актуальность решаемых в

диссертационной работе задач по этой теме (“Dəniz səthində neft təbəqəsinin qalınlığının məsafədən yüksək dəqiqliklə təyin edilməsi üçün fluorescent və kolorimetrik üsulların işlənilməsi”) в 2020-ом году был заключен договор о научно-техническом сотрудничестве с Департаментом Комплексного Экологического Мониторинга Каспия Министерства Экологии и Природных Ресурсов. В соответствии с заключенным договором был составлен Акт о выполненной работе и внедрении результатов, полученных в диссертации.

**Место выполнения диссертации.** Диссертационная работа выполнена в Научно-Исследовательском Институте Аэрокосмической Информатики Национального Аэрокосмического Агентства.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов и списка литературы. Работа изложена на 190 страницах машинописного текста, содержит 14 таблиц, 35 рисунка и список литературы, включающий 148 наименований. Объем диссертации составляет 161,733 знаков (без пробелов, таблиц, рисунков и списка литературы), в том числе, введение состоит из 14,078 знаков, I глава состоит из 41,947 знаков, II глава состоит из 27,879 знаков, III глава состоит из 35,462 знаков, IV глава состоит из 44,367 знаков.

**Опубликованные работы по теме диссертации.** По теме диссертационной работы было опубликовано 23 научных статей и материалов конференций (в том числе 15 работ в рецензируемых научно-технических журналах за рубежом).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

При дистанционном исследовании вод небереговых морских просторов для восстановления показателей загрязненности вод по спутниковым данным применяются

простые полуэмпирические алгоритмы, однако при рассмотрении проблемы загрязненности вод береговых зон задача исследования достаточно усложняется. Береговые воды содержат такие компоненты как фитопланктон, минеральная взвесь и растворенное органическое вещество. При совместном оптическом влиянии всех указанных компонентов как результат, определяются оптические свойства береговых вод. Указанное обстоятельство существенно затрудняет восстановление содержания отдельно взятой компоненты и возникает необходимость разработки и применения алгоритмов, способных одновременно восстанавливать концентрации всех вышеуказанных компонентов раздельно. Вместе с тем, при стабильных условиях экологического загрязнения морских бассейнов в качестве исходного предположения можно принять тезис о том, что в течение некоторого интервала времени концентрация хлорофилла и взвешенных частиц в морской береговой зоне постоянно. При таком допущении появляется возможность проведения космических бортовых измерений с использованием предыдущих достоверных космических данных о содержании хлорофилла в воде с целью исследования свойств поглощения и рассеяния взвешенных морских твердых частиц.

Проведение достоверного мониторинга береговых зон является важнейшей задачей для устойчивого развития прибрежных территорий и защиты окружающей среды в этих регионах. При этом особую важность имеет исследование долговременной и сезонной динамики береговых линий различных водоёмов. Береговая линия является наиболее важной характеристикой земной поверхности, обладающей временной динамикой. Применение дистанционного спектрального зондирования в целях определения береговой линии основывается на свойствах водной среды поглощения оптической радиации в инфракрасной области и сильного отражения этой радиации почвой и растительностью. Эти спектральные свойства компонентов прибрежных зон обуславливают использование изображений видимого и

инфракрасного диапазонов для решения задач картирования береговых линий.

Мутность водоемов определяется как уменьшение прозрачности из-за ослабления проходящего сквозь воду оптического луча из-за поглощения, рассеяния и отражения от взвешенных твердых частиц. При этом вертикальное распределение взвешенных частиц в водной колонне в зоне устьевого взморья зависит от смещения речных и морских вод. Очевидно, что мутность водной массы также зависит от ряда метеорологических факторов, включая силы ветра, приводящего водную массу в движение. Вертикальное распределение взвешенного вещества незначительно зависит от процессов складирования грунта на морскую среду при проведении дноуглубительных работ и седиментации. При этом как на поверхности, так и в придонном слое концентрация взвешенных веществ находится в пределах фоновых значений. Вместе с тем, общая неоднородность ОБВ в зоне устьевого взморья обосновывает актуальность проведения измерений мутности в отдельных точках дельты.

Растворенные органические вещества (DOM-Dissolved organic matter) играют важную роль в морских водах в качестве источника углерода и энергии для различных микробов а также для потребителей более высокого порядка, питающихся микробами или непосредственно этими органическими веществами.

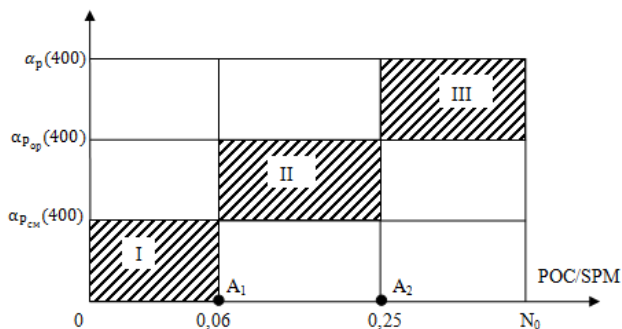
**Первая глава диссертационной** работы посвящена спектральным методам определения концентрации загрязнителей морских вод.

В начале главы изложен предлагаемый двухволновой метод определения концентрации взвешенных твердых частиц в морской воде, предусматривающий проведения совместных двухволновых измерений параметра, зависящего от условий проведения эксперимента, концентрации хлорофилла и взвешенных твердых частиц, а также автономного двухволнового измерения концентрации хлорофилла [15, p.191].

Показана возможность реализации некоторой вариации метода, когда автономно измеряется концентрация взвешенных частиц, используя при этом несколько смещенные значения длин волн. При этом результаты, полученные при реализации предлагаемых методов могут быть проконтролированы путем пробного определения параметра зависящего от условий эксперимента.

Далее в первой главе осуществлена информационная оптимизация известных моделей вычисления Chl в морской воде при рассмотрении в качестве основы данных дистанционного зондирования, полученных со спутника SeaWiFS. На базе известных моделей вычисления содержания Chl DC4V4 и CSM01 синтезирована новая модель, обладающая информативностью, равной информативности данных in situ измерений [16, т.136, №4, 24-27].

В первой главе также изложен метод классификации взвешенных частиц по величине коэффициента поглощения оптического излучения. Дана графическая интерпретация предлагаемого метода. Предлагаемый метод позволяет осуществить в пространстве  $\left\{ \frac{POC}{SPM}, \alpha_p(400) \right\}$  классификацию этих частиц по структурному составу.



**Рис. 1. Графическая схема проводимой классификации взвешенных частиц [16, т.136, №4, с.24-27]**

**Вторая глава** диссертационной работы посвящена предлагаемым методам определения морских береговых линий с помощью измерительных систем [6, т.92, №3, с.67-71].

В начале главы предложена модель оценки сигналов спутниковых спектрорадиометров для случая аномального загрязнения атмосферы аэрозолями. На основе предложенной модели разработан многоволновый метод определения береговой линии, позволяющий устранить аэрозольную погрешность известного двухволнового метода.

Показана целесообразность многоканальных методов определения береговой линии, проанализированы результаты трехканального метода, реализованного на базе данных измерений каналов  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  аппаратуры SPOT XS и X1. Известный трехканальный критерий обнаружения береговой линии преобразован в индексно – канальный критерий. Аналитически показано, что рассматриваемый трехканальный критерий более чувствителен к изменению  $B_1/RED$ , чем к изменению NDVI. Графически показано, что чувствительность используемого критерия к  $B_1/RED$  по меньшей мере в два раза выше чем к NDVI.

С учётом вышеизложенного, нами предлагается многоволновый метод определения береговой линии в условиях сильного аэрозольного загрязнения.

Суть предлагаемого метода заключается в использовании известной трёхволновой методики применительно к сигналам каналов  $b_2(\lambda_2)$  и  $b_5(\lambda_5)$  для устранения влияния  $\tau_{a.a.}(\lambda_2)$  и  $\tau_{a.a.}(\lambda_5)$  соответственно. Согласно трёхволновой методике вводится промежуточный показатель определяемый как

$$\gamma_1(b_2) = \frac{F_1(\lambda_{1+})^{K_{11}} \cdot F_1(\lambda_{2-})^{K_{21}}}{F_1(\lambda_2)} \quad (1)$$

где:  $\lambda_{2+} = \lambda_2 + \Delta \lambda$ ;  $\lambda_{2-} = \lambda_2 - \Delta \lambda$



Повторив все процедуры трёхволновой методики для  $b_5(\lambda_5)$  получим

$$\gamma_1(b_5) = \frac{F_1(\lambda_{5+})^{K_{12}} \cdot F_1(\lambda_{5-})^{K_{22}}}{F_1(\lambda_5)} \quad (2)$$

где:  $\lambda_{5+} = \lambda_5 + \Delta \lambda$ ;  $\lambda_{5-} = \lambda_5 - \Delta \lambda$

Учитывая выражения (1) и (2) можем написать

$$\chi = \frac{\gamma_1(b_5)}{\gamma(b_2)} = \frac{C_1 \cdot F_1(\lambda_2)}{F_1(\lambda_5)} \quad (3)$$

где:  $C_1 = \text{const}$

Возвращаясь к решаемой задаче определения береговой линии двухволновым методом, критерий, на основании выражения (2) можно переформулировать следующим образом: отношение  $\frac{C_1 \cdot F_1(\lambda_2)}{F_1(\lambda_5)}$  применительно к водной среде больше, чем  $C_1$  и меньше, чем  $C_1$  для суши. Таким образом, проведённый анализ позволяет усовершенствовать известную двухволновую методику в смысле устранения влияния аномальных величин атмосферного аэрозоля

Рассмотрена возможность построения гиперспектральной измерительной системы на базе индекса WISOIL с применением управляемого жидкокристаллического фильтра.

Сформулировано требование к скорости передвижения носителя системы измерения.

Оптимизирован режим работы измерителя в смысле уменьшения избыточности информации путем введения адаптивного режима измерения.

Исследовано уменьшение во времени протяженности загрязненной части береговой линии после разлива сырой нефти в объеме 1 баррель под влиянием ветра и водных течений. после разлива. Определен оптимальный режим учета воздействующих факторов, при котором достигается минимальная трассовая загрязненность по всей длине береговой линии.

**Третья глава** диссертационной работы посвящена разработке измерительных систем и новых методов для исследования загрязнения в морских береговых зонах. В начале главы рассмотрены вопросы построения системы трехуровневого измерения мутности прибрежных вод.

Рассмотрена возможность построения и оптимизации трехуровневого комплекса дистанционного зондирования мутности морских вод с использованием спутниковых и самолетных средств и наземного турбидиметра (рис.2).

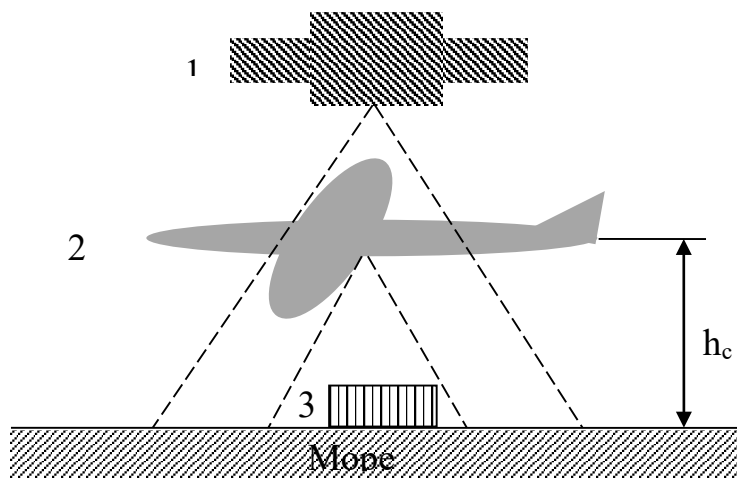
В рассматриваемой трехуровневой схеме измерения мутности и общего количества взвешенного вещества в морской воде самолетный сенсор играет роль связующего звена для более качественного сопоставления данных спутниковых средств измерения и наземных измерителей. При этом используемые легкомоторные самолеты могут летать на разных высотах для поиска оптимального режима зондирования с максимальной информативностью

Рассмотрены вопросы построения трехуровневой системы определения мутности морских вод и в частности вопрос определения условий достижения оптимального режима работы самолетного сенсора в смысле определения оптимальной высоты полета.

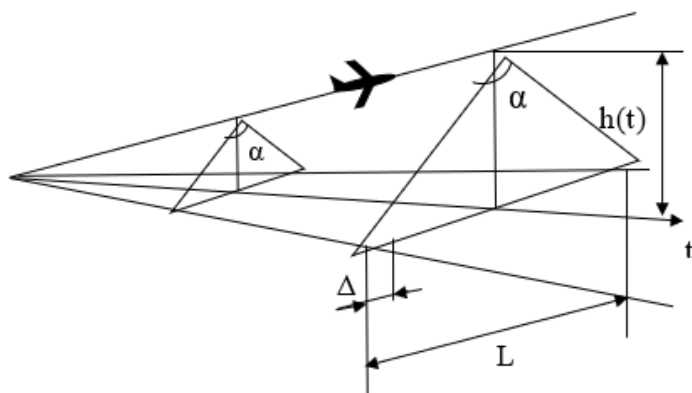
Получено следующее трансцендентное уравнение для вычисления оптимальной высоты полета.

$$L'_h \cdot \ln(S_0 + S'_h \cdot h(t_0)) + \frac{[L_0 + L'_h \cdot h(t_0)] \cdot S'_h}{[S_0 + S'_h \cdot h(t_0)] \cdot \ln 2} = 0 \quad (4)$$

При известных  $L'_h, S_0, S'_h, L_0, L'_h$ , используя полученное трансцендентное уравнение (4) можно вычислить оптимальную величину  $h(t)$ , при которой  $M(t_0)$  достигает экстремальной величины, т.е. результаты самолетного зондирования оказываются максимально информативными.



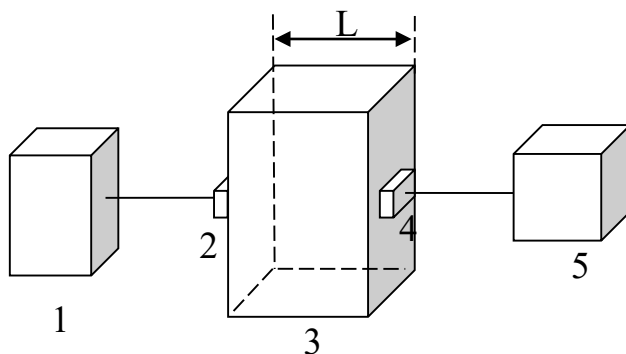
**Рис. 2. Схематическое представлени трехуровневой системы дистанционного зондирования и валидации результатов измерения**



**Рис. 3. Схематическое представление исследования морской воды с помощью спектрометрического устройства установленного на легкомоторном самолете**

Разработан наземно-бортовой метод измерения общего взвешенного вещества в зоне устьевого взморья.

Измерение мутности морской воды может быть осуществлена с помощью простого прибора, структурная схема которого показана на рис.4.



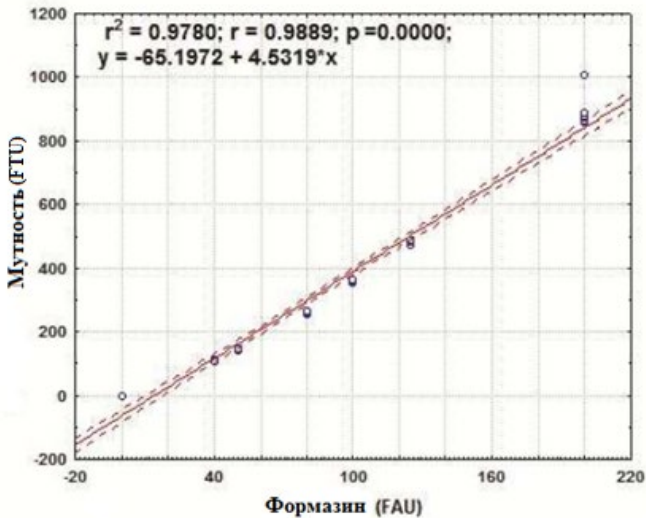
**Рис. 4. Структурная схема турбидиметра**

1 – цифровой измеритель напряжения; 2 – фотоприемник; 3 – сосуд для наполнения морской воды; 4 – излучающий диод; 5 – стабилизатор источника питания излучателя;  $L$  – расстояние между излучателем и приемником, или длина оптической базы

Общий вид калибровочных кривых турбидиметра, изготовленного приведены на рисунке 5.

Откалиброванный турбидиметр позволяет нам получать относительные оценки мутности морской воды в единицах FTU. При этом, открытым остается вопрос: как определить общее взвешенное вещество (ОВВ), вызвавшее мутность воды.

Для решения вышеуказанной задачи предлагается новый наземно – бортовой метод, основанный на результатах исследований зон устьевого взморья с помощью первого канала спектрорадиометра среднего разрешения MODIS, установленного на спутниках AQUA и TERRA.



**Рис. 5. Калибровочные кривые турбидиметра, откалиброванного с помощью раствора формазина в диапазоне (0÷200) FAU. Здесь: (FAU) – Единица ослабления излучения раствором формазина**

В диапазоне NIR имеет место линейная зависимость между коэффициентом отражения  $R_{rs}$  в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR) с мутностью.

$$T(FTU) = 17693 \cdot R_{rs}(859) - 13.483 \quad (5)$$

Также известно, что коэффициент отражения морей и рек, полученный с помощью первого канала MODIS, обозначаемый далее, как  $R_{rs}(B1)=x$  позволяет определить мутность (Т) и ОВВ, используя следующие регрессионные уравнения:

$$ОВВ = 12.450x^2 + 666.1x + 0,48 \quad (6)$$

$$T(B_1) = 26.110x^2 + 604.5x + 0,21 \quad (7)$$

С учетом выражений (5), (6), (7), предложена методика определения величины ОВВ.!

Далее **в третьей главе** изложен предлагаемый новый критерий выбора методов дистанционного зондирования растворенных органических веществ в береговых водах.

Существует специальный показатель, названный коэффициентом влияния дна (bottom effect index – сокращенно BEI), который позволяет с определенной точностью определить оптически глубокие воды от оптически неглубоких. Однако, как показывают проведенные исследования при практическом использовании данного показателя обнаруживается большой разброс его значений, что создает неопределенность при выборе методов дистанционного зондирования в одной среде.

Разработаны новые модифицированные коэффициенты влияния дна, позволяющих уменьшить вышеуказанную неопределенность.

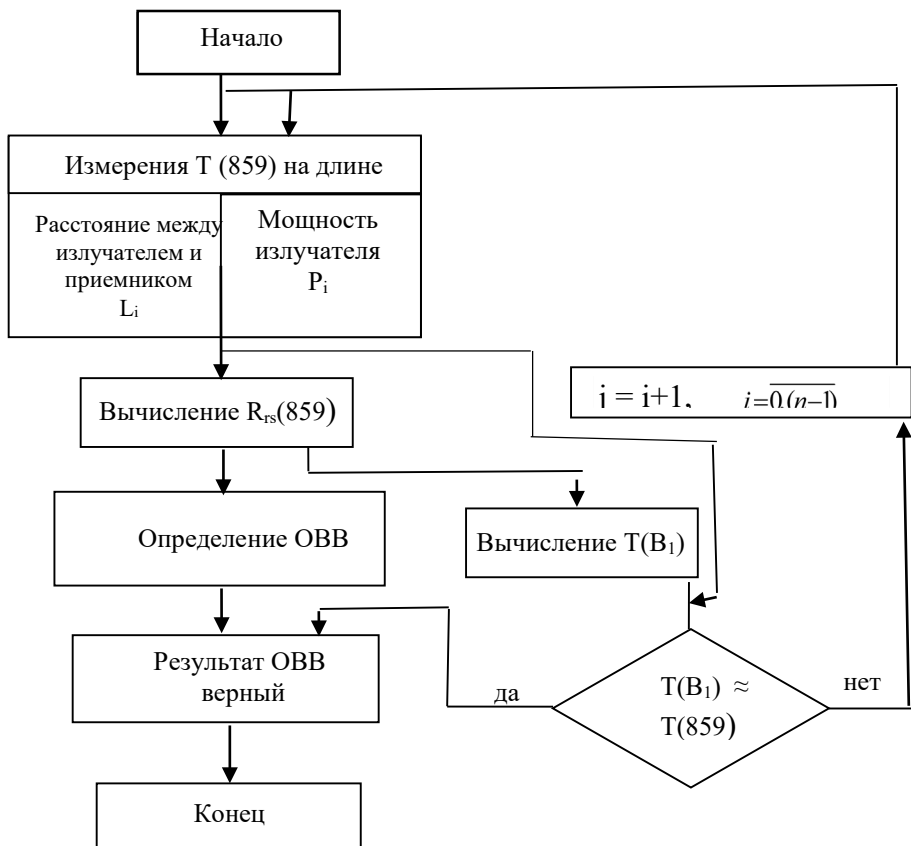
Известный коэффициент влияния дна (BEI) определяется как

$$BEI = \exp \left[ - \left( \frac{R_{rs}(\lambda_1)}{R_{rs}(\lambda_2)} \right) \cdot H \right] \quad (8)$$

где:  $H$  – глубина воды;  $R_{rs}(\lambda)$  – отраженное от водной среды оптическое излучение;  $\lambda_1 = 690$  нм;  $\lambda_2 = 555$  нм.

Согласно известным подсчетам более 90% общей отраженной оптической радиации при дистанционном зондировании неглубокой водной среды составляет отраженное от дна излучение и отраженная от водной толщины оптическая радиация.

Вышеуказанная первая составляющая определяется по следующей известной формуле:



**Рис. 6- Блок – схема алгоритма реализации предлагаемой методики определения ОБВ в водах устьевго взморья**

$$R_{rs}^b \approx 0,17 \cdot \rho \cdot \exp[-(1,5 + (D_d))\alpha \cdot H] \quad (9)$$

где:  $\rho$  – коэффициент отражения (альбедо) дна;  $D_d$  – функция распределения светового поля в направлении вниз;  $\alpha$  – общий коэффициент поглощения;  $H$  – высота водного слоя.

Вместе с тем, очевидно, что с увеличением расстояния до берега глубина морских вод будет расти. Таким образом, выражение (6) можно переписать как:

$$R_{rs}^b \approx 0,17 \cdot \rho(l) \cdot \exp[-(1,5 + (D_d) \cdot \alpha \cdot H(l))] \quad (10)$$

Исследуем выражение (7) на экстремум. методом анализа производных находим:

$$l_{\text{экс.}} = \frac{1}{D_d \cdot \alpha \cdot H'_l} - \frac{\rho_0}{\rho} \quad (11)$$

Таким образом, на дистанции  $l_{\text{экс}}$  от берега можно ожидать экстремум в значении  $R_{rs}^b$ .

Следует отметить обнаруженный экстремальный характер значения отраженной от дна радиации также подтверждается результатами известных экспериментальных исследований.

Проанализированы пути минимизации влияния экстремального характера отраженной от дна радиации на показатель ВЕI. Задача исследования формулируется следующим образом: при каком виде функции

$$H = H(\rho) \quad (12)$$

вклад  $R_{rs}^b$  в суммарном отраженном сигнале может стать минимальным. Для решения поставленной задачи рассмотрим упрощенный случай, когда правомерно использовать дуальную модель функции  $H(\rho)$  в виде

$$H = H'_\rho \cdot \rho \quad (13)$$

$$H = H(\rho)_{\text{max}} - H'_\rho \cdot \rho \quad (14)$$

С учетом бинарной модели (13), (14), сформируем следующее ограничительное условие применительно к функции  $H = H(\rho)$

$$F_1 = \int_{\rho_{\text{min}}}^{\rho_{\text{max}}} H(\rho) d\rho = c \quad (15)$$



Следует вычислить такую функциональную зависимость  $H(\rho)$  при которой  $F_2$  достиг бы минимального значения. Вышеуказанная задача может быть решена методом безусловной вариационной оптимизации, для чего формируется следующий функционал цели:

$$F_3 = \frac{1}{\rho_{\max} - \rho_{\min}} \int_{\rho_{\min}}^{\rho_{\max}} 0,17 \cdot \rho \cdot \exp[-(1,5 + D_j \cdot \alpha \cdot H(\rho))] d\rho + \lambda \left[ \int_{\rho_{\min}}^{\rho_{\max}} H(\rho) d\rho - c \right] \quad (16)$$

где:  $\lambda$  – множитель Лагранжа.

Решение оптимизационной задачи по методу Эйлера – Лагранжа дало следующее выражение при которой  $F_3$  достигает минимума

$$H(\rho)_{opt} = \frac{\ln \left[ \frac{0,17 \cdot \rho \cdot D_d \cdot \alpha}{\lambda_0 (\rho_{\max} - \rho_{\min})} \right] - 1,5}{D_d \cdot \alpha} \quad (17)$$

где:  $\lambda_0$  – постоянная величина, значение  $\lambda$ , вычисляется с учетом условия (16) и производной интегранта функционала (17), приравненной к нулю.

Таким образом, как следует из вышеизложенного, для минимизации вклада  $R_{rs}^b$  в  $R_{rs}$  необходимо провести измерения в тех точках береговой неглубокой зоны моря, где соблюдается логарифмическая зависимость  $H$  от  $\rho$  и далее усреднить полученные значения измеренных величин по количеству проведенных измерений. Такая минимизация  $R_{rs}^b$  позволит более точно определить величину ВЕИ, являющегося критерием классификации морской береговой зоны на глубинные и неглубинные участки. С учетом вышеизложенного известный индекс ВЕИ может быть модифицирован и записан в следующем виде

$$BEI_{mod} = \exp \left[ \frac{-(R_{rs}^w(\lambda_1) + R_{rs.min}^b(\lambda_1))}{(R_{rs}^w(\lambda_2) + R_{rs.min}^b(\lambda_2))} \right] \quad (18)$$

$$\text{где: } R_{rs.\min}^b(\lambda_i) = F_{3\min}(\lambda_i); \quad i = \overline{1,2}$$

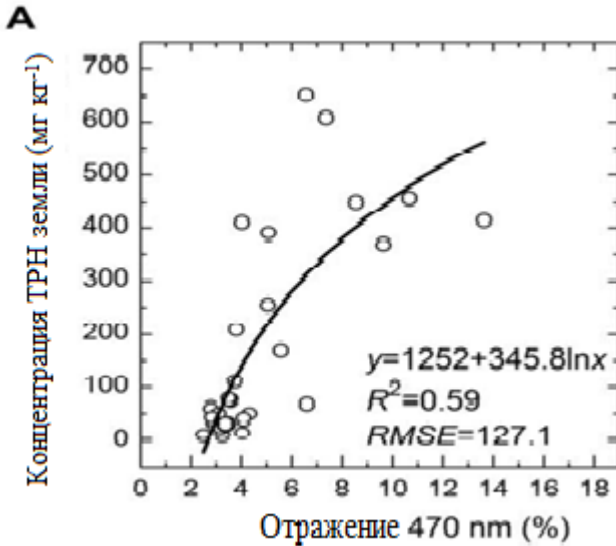
где:  $F_{3\min}(\lambda_i)$  - минимальное значение  $F_3$ , вычисляемое с учетом функции (15).

**Четвертая глава** посвящена спектральным методам исследования загрязненности почвы в береговых зонах.

Показано, что для обнаружения нефтяного загрязнения почвы в регионах нефтедобычи методом дистанционного зондирования на базе существующих спектральных индексов (сигнатур) высокая достоверность результатов может быть получена при должной организации валидационных измерений. Известный факт аккумуляции тяжелых металлов в зонах нефтедобычи позволяет использовать признак аномалии тяжелых металлов в качестве методической базы для организации валидационных измерений. При этом каналы валидационных измерений, объединенные в группах, в количестве  $m$  позволяют проводить недисперсивные валидационные измерения с высокой достоверностью за счет суммирования сигналов в группе. Требование равенства информации в каналах, используемых для формирования узкоспектральных и широкополосных спектральных признаков нефти и тяжелых металлов соответственно позволяет сформировать требования к отношению сигнал/шум в системе для дальнейшего вычисления степени корреляции между вычисленными индексами. степени загрязнения нефтью от интенсивности отраженного сигнала.

Рассмотрен вопрос об использовании на практике инверсных соотношений сигналов для уменьшения погрешностей измерения, свойственных одноволновым методам измерения путем перехода на двухволновой режим измерений.

Показано, что наличие вышеуказанных инверсных соотношений позволяет достичь следующих преимуществ при переходе на двухволновой режим измерений:

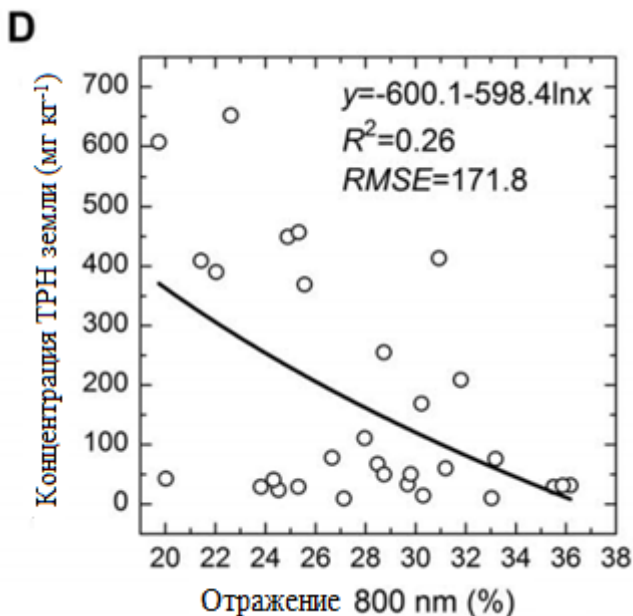


**Рис. 7а- Кривая корреляционной зависимости концентрации ТРН от сигнала отражения на длине волны 470 нм**

1. Повышение динамического диапазона измерений;
2. Уменьшение случайных погрешностей

С учётом вышесказанного представляется целесообразным переход на двухволновый метод определения ТРН по отражательному спектру растений. При этом длины волн должны быть выбраны таким образом, чтобы вышеуказанные разностные сигналы были бы разнополярными, тем самым обеспечивая частичную или полную компенсацию влияния наличия разностного сигнала.

На рис. 7,а,б показаны корреляционные кривые связи между концентрацией ТРН в почве и спектральным отражением на длинах волн  $\lambda_1 = 470$  нм и  $\lambda_2 = 800$  нм, полученные при исследовании растительности типа “Phragmites australis”, с использованием полевого спектрорадиометра “ASD Fieldspec FR” [76].



**Рис. 7б--Кривая корреляционной зависимости концентрации ТРН в почве от сигнала отражения растительности на длине волны 800 нм.**

На рис. 7,а,б показаны корреляционные кривые связи между концентрацией ТРН в почве и спектральным отражением на длинах волн  $\lambda_1 = 470$  нм и  $\lambda_2 = 800$  нм, полученные при исследовании растительности типа “Phragmites australis”, с использованием полевого спектрорадиометра “ASD Fieldspec FR” [76].

С учётом данных, приведённых на рис. 7 а,б регрессионные уравнения, показанные в них, выразим как

$$Y_1 = a_1 + a_2 \ln x \quad (19)$$

Для  $\lambda = 470$  нм;

где:  $a_1 = 1252$ ;  $a_2 = 345,8$

При

$$Y_1 = Y_0 \pm \sigma_{Y_1} \quad (20)$$

где :  $Y_0$  – реальная концентрация нефтяного загрязнителя в фиксированной точке;

$\sigma_{Y_1}$  - с.к.о. случайной погрешности измерения  $Y_1$

$$Y_2 = b_1 - b_2 \ln x \quad (21)$$

Для  $\lambda=800$  нм;

где:  $b_1 = -600,1$ ;  $b_2 = 598,4$

При

$$Y_2 = Y_0 \pm \sigma_{Y_2} \quad (22)$$

где :  $\sigma_{Y_2}$  - с.к.о. случайной погрешности измерения  $Y_2$

Предлагаемый метод определения ТРН по спектру отражения вегетации, условно наименованный как метод умножения заключается в следующем. С учётом выражения (19) для длины волны  $\lambda=470$ нм получим:

$$x_1 = \exp \left[ \frac{Y_p - a_1}{a_2} \right] \quad (23)$$

Из выражения (21) для длины волны 800 нм получим

$$x_2 = \exp \left[ -\frac{Y_a - b_1}{b_2} \right] \quad (24)$$

Из выражений (29) и (30) при  $x_2 = kx_1$ , получим

$$kx_1^2 = \exp \left[ \frac{Y_0}{a_2} - \frac{Y_0}{b_2} \sqrt{\frac{\sigma_{Y_1}^2}{a_2^2} + \frac{\sigma_{Y_2}^2}{b_2^2}} - \frac{a_1}{a_2} + \frac{b_1}{b_2} \right] \quad (25)$$

При:  $\sigma_{Y_1} = \sigma_{Y_2}$  получим

$$Y_0 = \frac{2 \ln x_1 \pm \sigma_y \sqrt{\frac{1}{a_2^2} + \frac{1}{b_2^2}} + \frac{a_1}{a_2} - \frac{b_1}{b_2}}{\frac{1}{a_2} - \frac{1}{b_2}} \quad (26)$$

Таким образом, полученная формула (26) позволяет определить ТРН в зависимости от результатов измерений сигнала отражения на длинах волн 479 и 800 нм. При этом, как видно из выражения (26) достигается двухкратное уменьшение случайных погрешностей.

Второй предлагаемый двухволновый метод, наименованный нами как «нулевой метод» заключается в следующем. С учётом выражений (25) и (26) получим следующее трансцендентное уравнение

$$\exp\left[\frac{Y_0 - a_1}{a_2}\right] - k \exp\left[-\frac{Y_0 - b_1}{b_2}\right] = 0 \quad (27)$$

Из выражения (33) при  $k=1$  получаем следующее трансцендентное уравнение.

$$Y_0 = \frac{\frac{a_1}{a_2} + \frac{b_1}{b_2} \pm \sqrt{\frac{\sigma_{Y_1}^2}{a_2^2} + \frac{\sigma_{Y_2}^2}{b_2^2}}}{\frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2}} \quad (28)$$

Таким образом «нулевой» метод предусматривает последовательное осуществление следующих шагов:

1. Получение конкретного выражения трансцендентного уравнения (27).

2. Решение уравнения (28) относительно  $Y_0$ .

С точки зрения выбора лучшей методики из двух вышеизложенных отметим, что эти методы практически эквивалентны. Однако, с вычислительной точки зрения первый

из предложенных методов оказывается более предпочтительным, т.к. при  $k \neq 1$  использование второго метода сопряжено решением сложных трансцендентных уравнений.

Следовательно, общая предлагаемая методика оценки степени загрязнения почвы углеводородами заключается в следующем:

1. Определяется регрессионная зависимость ТРН от величины отражённого сигнала на длинах волн 470 нм и 800 нм.

2. При использовании метода умножения определяются значения параметра  $k$  и  $x_1$ , а величина ТРН вычисляется по формуле (20).

3. При использовании нулевого метода осуществляются следующие операции:

Определяется значение параметра  $k$ , при котором выполняется условие (27).

Вычисляется величина  $y_0$  путём решения трансцендентного уравнения (28)

Далее в четвертый главе изложены математические основы предлагаемого метода информационного баланса. Принято, что измерения осуществляются гиперспектрометром, с числом каналов равно  $N_n$ . Допустим, что для измерения неинформативных опорных величин в спектре отражения используется  $N_0$  каналов. При этом, количество каналов, используемых для узкоспектральных измерений, необходимых для вычисления углеводородных индексов, равно  $N_d$ , следовательно, для проведения недисперсивных измерений используются  $N_{nl} - N_d$  каналов, где  $N_{nl} = N_n - N_0$ .

Количество информации, извлекаемой в результате проведения дисперсивных измерений определим как

$$M_d = N_d \log_2 \frac{U_d}{\sigma} \quad (29)$$

где:  $U_d$  - диапазон изменения измеряемого сигнала.

$\sigma$  – шумы одного канала

Количество информации, извлекаемой в результате недисперсивных измерений тяжелых металлов определим как

$$M_{nd} = m \cdot \log_2 \left( \sqrt{\frac{N_{n1} - N_d}{m}} \right) \cdot \frac{U_d}{\sigma} \quad (30)$$

где:  $m$  – количество выходов, или групп, в которые объединены каналы гиперспектрометра в количестве  $\frac{N_{n1}-N_d}{m}$

Основным положением метода информационного баланса является равенство количества информации, добываемой при проведении основных и валидационных гиперспектрометрических измерений. Это положение можно обосновать следующим образом:

1. Если  $M_d > M_{nd}$ , то получаем недостаточно подтвержденную измерительную информацию;

2. Если  $M_{nd} > M_d$ , то получаем нехватку подтвержденной измерительной информации и избыток валидационной информации.

Следовательно с учетом (19) и (20) условие информационного баланса имеет вид

$$M_d = M_{nd} \quad (31)$$

или

$$N_d \log_2 \frac{U_d}{\sigma} = m \cdot \log_2 \left[ \sqrt{\left( \frac{N_{n1} - N_d}{m} \right) \frac{U_d}{\sigma}} \right] \quad (32)$$

Из выражения (22) получаем

$$\left( \frac{U_d}{\sigma} \right)^{N_d} = \left( \frac{N_{n1} - N_d}{m} \right)^{\frac{m}{2}} \left( \frac{U_d}{\sigma} \right)^m \quad (33)$$

Из выражения (23) находим следующее выражение для требуемой величины отношения сигнал/шум  $\psi$ , при котором обеспечивается условие информационного баланса



$$\psi = \frac{U_d}{\sigma} = {}^{m-N_d} \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{N_{n1} - N_d}{m}\right)^{\frac{m}{2}}}} \quad (34)$$

Как отмечается в работе [1], В Российской Федерации в настоящее время не существует единой методики для оценки в донных отложениях содержания тяжелых металлов. Согласно [1], целесообразно изучить зарубежные критерии оценки качество донных отложений, рекомендовать их к применению на территории своей страны. При этом имеет смысл осуществить их модификацию с целью дальнейшего обеспечения получения информации о состоянии водных и биологических ресурсов.

Одним из широко применяемых в мировой практике показателей загрязнения является индекс геоаккумуляции, разработанный Г.Мюллером в Германии [2,4]. Этот, индекс основывается на классификации загрязнения воды, разработанной международной ассоциацией исследователей IAWR. геоаккумуляции вычисляется по формуле (35)

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C}{1,5 C_f}\right), \quad (35)$$

где: C- концентрация химического элемента в составе донных отложений;

$C_f$  - геохимическое фоновое значение концентрации химического элемента.

При расчете по формуле (35) учитывают концентрации тяжелых металлов в донных отложениях тонкозернистых фракций (<20мкм).

Выделяют 7 уровней загрязнения (Табл. 1) [31, с. 95-242].

Таблица 1

**Классификация уровней загрязненности донных  
отложений**

Значение индекса геоаккумуляции	Класс геоаккумуляции	Уровень загрязненности донных отложений
>0	0	Практически незагрязненный
>0-1	1	Незагрязненный до умеренно загрязненного
>1-2	2	Умеренно загрязненный
>2-3	3	Средне загрязненный
>3-4	4	Сильно загрязненный
>4-5	5	Сильно загрязненный до чрезмерно загрязненного
>5	6	Чрезмерно загрязненного

Данный метод не позволяет получить комплексную оценку уровня загрязненности водного объекта.

Вместе с тем, отсутствие математического базиса метода US EPA, невозможность отдельной оценки групп сильнодействующих и слабодействующих здоровью людей тяжелых металлов, а также отсутствие возможности выработки единого количественного показателя для таких групп создает определенные проблемы при оценки загрязненности водных отложений.

Рассмотрена возможность формирования такого единого показателя на базе известного индекса геоаккумуляции.

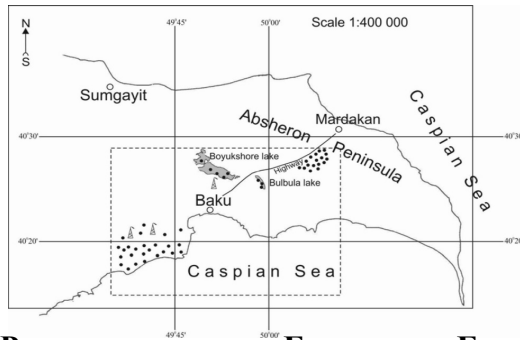
Допустим, что все тяжелые металлы разделены по группам степени воздействия на здоровье человека, так, например Cd и Hg отнесены к первой группе, Pb и Cu во второй группе, Ni и Cr в третью группу и т.д.

Для любой из выбранных групп, применительно к тяжелым металлам, входящим в эту группу вычислим сумму индексов геоаккумуляции:

$$\sum_{i=1}^n I_{geoi} = \log_2 \left( \frac{C_{ekv}^{(n)}}{(1,5) * C_{fekv}^{(n)}} \right), \quad (36)$$

При этом, предлагаемый показатель  $C_{ekv}(n)$  позволяет охарактеризовать комплексную загрязненность донных отложений при проектных, т.е. вычисляемых показателях

Далее рассмотрен вопрос о возможности применения предложенного комплексного показателя для оценки состояния загрязненности некоторых озер на территории Абшеронского полуострова. Площадь Абшерона составляет около 200 000 гектаров, однако более 60% всего континентальной добычи нефти в Азербайджане производится в этом полуострове. Это обстоятельство неизбежно привело к высокой степени загрязненности земель Абшеронского полуострова тяжелыми металлами. Расположение озер Бююкшор и Бюльбула показано на рис.8.



**Рис. 8. Расположение озер Бююкшор и Бюльбула на карте Абшерона**

Значение измеренных величин  $I_{geo}$  для различных тяжелых металлов в указанных озерах приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Значение измеренных величин  $I_{geo}$  для различных тяжелых металлов в озерах Беюкшор и Бюльбуля**

озеро Беюкшор				озеро Бюльбуля				
Элементы	Концентрация			$I_{geo}$	Концентрация			$I_{geo}$
	Min.	Max.	сред		Min.	Max.	сред	
Cd	1,0	1,7	1,7	1,4043	0,5	1,4	0,6	-2,9668
Cr	15,6	25,1	4,2	1,2572	11,3	28,9	17,7	-1,7612
Cu	10,6	14,7	4,9	3,3510	13,4	35,0	22,6	-2,7315
Hg	0,004	00015	0,04	6,1413	0,002	0,029	0,006	-6,6438
Pb	16,7	285	0,9	0,0740	6,9	30,2	18,4	0,7052
Zn	20,3	86,8	3,8	0,2746	6,6	36,8	20,3	-2,3708
Mn	213,4	355	--	--	179,4	636,0	376,2	--

Из-за отсутствия данных о величинах  $C_{\phi} = i$ ; ( $i=1,n$ ) вычислим относительный показатель для озера Беюкшор:

$$\gamma_1 = \frac{C_{ekv}(n)}{C_{fekv}(n)} = 1.5 * 2 \left( \frac{\sum_{i=1}^n I_{geoi}}{n} \right) = 1,5 * 2^{-2,08} \quad (37)$$

Вычислим относительный показатель для озера Бюльбуля:

$$\gamma_2 = 1.5 * 2 \left( \frac{\sum_{i=1}^n I_{geoi}}{n} \right) = 1,5 * 2^{-2,85} \quad (38)$$

Как видно из расчетных выражений (37) и (38) загрязненность озера Бюльбуля менее загрязнена, чем озеро Беюкшор. Вычислим коэффициент степени кратности чистоты озера Бюльбуля по сравнению с озером Беюкшор:

$$\eta = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{1,5 * 2^{-2,08}}{1,5 * 2^{-2,85}} = 2^{0,77} \quad (39)$$

Таким образом, можно заключить, что озеро Бюльбуля в  $2^{0,77}$  чище, чем озеро Беюкшор. Следовательно предложенный

комплексный показатель позволяет сравнить степень загрязненности различных водоемов.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Исследованы пути проведения раздельного или совокупного измерения отдельных компонентов морской воды. Предложен двухволновой метод определения концентрации взвешенных твердых частиц в морской воде, предусматривающий проведения совместных двухволновых измерений параметра, зависящего от условий проведения эксперимента, концентрации хлорофилла и взвешенных твердых частиц, а также автономного двухволнового измерения концентрации хлорофилла. Изложена модификация этого метода, когда автономно измеряется концентрация взвешенных частиц, используя при этом несколько смешанные значения длин волн.

2. Решена задача классификации взвешенных частиц по величине коэффициента поглощения оптического излучения, позволяющий осуществить классификацию этих частиц по структурному составу.

3. Разработана модель оценки сигналов спутниковых спектрорадиометров для случая аномального загрязнения атмосферы аэрозолем, на основе которой разработан многоволновый метод определения береговой линии, позволяющий устранить аэрозольную погрешность известного двухволнового метода.

4. Исследована возможность трансформации известного трехканального критерий обнаружения береговой линии реализованного на базе данных измерений каналов B1, B2, B3 аппаратуры SPOT XS и X1 в индексно – канальный критерий. Обнаружено, что рассматриваемый трехканальный критерий более чувствителен к изменению  $B_1/RED$ , чем к изменению NDVI.

5. Решена задача проведения турбидометрических измерений и определения количества взвешенных твердых

частиц в зависимости от мутности воды в зонах дельты рек и в прибрежных зонах морей. Разработаны одноволновая и двухволновая методики определения общего количества твердых взвешенных частиц и типа исследуемых вод в зависимости от мутности вод, определенной на двух длинах волн.

6. Дана среднеинтегральная оценка отраженной от дна оптической радиации в береговых зонах. Обнаружен экстремальный характер этой радиации в зависимости от расстояния до берега.

7. Предложен модифицированный критерий выбора методов дистанционного зондирования растворенных органических веществ в береговых зонах морей. Решена задача оптимизации измерения концентрации растворенного органического углерода в прибрежных зонах смешения морских и речных вод.

8. Разработан метод информационного баланса сигналов дисперсивного и недисперсивного зондирования, используемых соответственно для основных и валидационных измерений в целях разведки нефтяных месторождений с применением бортовых гиперспектрометров. На основе условия информационного баланса получено выражение для определения отношения сигнал/шум в системе для дальнейшего вычисления корреляции между узкополосным нефтяным индексом и широкополосным сигнатурным признаком аномальной концентрации тяжелых металлов.

**По теме диссертации опубликованы следующие работы  
автора**

1. Səfərova, N.T., Abdullayeva, L.C., Quliyev, T.R. Azərbaycan Respublikasında içməli suların çirklənmədən qorunma metodları // 2-ci Xəzər Beynəlxalq Su Texnologiyaları konfransının materialları, - Bakı: "CATEC- 2014",- 10-12 aprel, - 2014, - s.347-349.

2. Əhmədov, Ş.Ə., Abdullayeva, L.C. Yerın iqlim dəyişmələrinin empirik məlumatlara əsasən qiymətləndirilməsi // - Bakı: - AMAKANın Xəbərləri, Ekologiya seriyası, - 2014. T.17, № 2, - s. 30-34.
3. Мамедбейли, А.Г., Асадов, Х.Г., Абдуллаева, Л.Дж., Тахмазлы М.С. Двухволновый метод определения концентрации взвешенных твердых частиц в морской воде // - Алтай: Вестник Алтайского Государственного Аграрного Университета - 2014. Т. 115, №5, май, С. 107-111.
4. Мустафабейли, Х.Ш., Тахмазлы, М.С., Абдуллаева, Л.Дж. Оптимизация процесса фиторемедиации почв загрязненных углеводородами // - Воронеж: Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: Химия.Биология. Фармация, - 2014. №2, - с.72-76.
5. Алиева, А.Г., Джавадов, Н.Г., Абдуллаева, Л.Дж., Протасов, В.В. Оптимизация гиперспектральных дистанционных измерений цвета морской воды // Материалы VII Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и охраны труда», - Курск: Юго-Зап. государственный университет, 15 май, - 2015, - с.82-88
6. Абдуллаева, Л.Дж. Построение бортовой измерительной системы для определения морской береговой линии // - Петербург: Петербургский журнал электроники. Методы и средства исследований, - 2018. Т.92, №3, с.67-71.
7. Асадов, Х.Г., Абдуллаева, Л.Дж. Выбор критерия для определения береговой линии методами дистанционного зондирования // - Астрахань: Вестник Астраханского Государственного Технического Университета. Серия: Морская Техника - 2018. №3, - с.107-112.
8. Абдуллаева Латифа, Рена Гусейнова. Теоретические основы проведения высокоинформативных измерений концентрации растворенного органического углерода в прибрежных водах устья рек // Международная научно-практическая конференция. «Возможности и перспективы информационных технологий и

- систем в строительстве» - Баку: Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства, - 05-06 июля, - 2018- с.305-309.
9. Абдуллаева, Л.Дж., Булгаков, А.О., Гостев, А.А. Вопросы измерений концентрации растворенного органического углерода в прибрежных водах устья рек // Актуальные проблемы экологии и охраны труда: сборник статей X международной научно-технической конференции, - Курск: Юго-Зап. Государственный Университет - 01 июня,- 2018,- с.9-19.
10. Асадов, Х.Г., Абдуллаева, Л. Дж. Наземно-бортовой метод измерения общего взвешенного вещества в зоне устьевого взморья // Санкт-Петербург: ГНИНГИ Навигация и Гидрография, - 2018. № 52,- с.82-88.
11. Abdullayeva, L.C., Çayların mənsəbinin sahil sularında həll olmuş üzvi karbonun konsentrasiyasının ölçülməsinin optimallaşdırılması // Heydər Əliyevin 95-illiyinə həsr olunmuş Elmi-texniki konfransının materialları, - Bakı: - AzTU, - 3 - 5 may - 2018, - s.351-353.
12. Abdullayeva, L.C. Sahil sularında həll olmuş üzvi maddələrin məsafədən zondlaması metodlarının seçilməsi kriteriyası // - Bakı: - АМАКА-nın Xəbərləri, Məsafədən zondlama seriyası, - 2018. T.21, №3, - s.17-23.
13. Асадов, Х.Г., Абдуллаева, Л.Дж. Новый критерий выбора методов дистанционного зондирования растворенных органических веществ в береговых водах // - Санкт-Петербург: Информация и космос. Контроль. Диагностика, - 2018. №2 - 3,- с.111-115.
14. Асадов Х.Г., Абдуллаева Л.Дж. Вопросы создания бортовой измерительной системы для определения морской береговой линии // - Баку: Известия НАКА, Информационно-измерительные системы, - 2018. Т.21, №4, - с. 49-54.
15. Абдуллаева, Л.Дж. Синтез новой модели определения содержания хлорофилла в морской воде // ADNSU-UBFC International conference, - Baku: ADNSU - July 01-02, - 2019, p-191.



16. Абдуллаева, Л.Дж. Метод классификации взвешенных частиц по коэффициенту поглощения оптического излучения // - Москва: Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. Технология. - 2019,- №4(136), с.24-27.
17. Абдуллаева, Л.Дж. Двухволновые методы определения уровня загрязненности почвы нефтяными углеводородами с использованием отражательного спектра растительности // - Москва: Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области, - 2019, №4(34), с.50-52.
18. Абдуллаева, Л.Дж. Вопросы применения индекса геоаккумуляции для оценки комплексной загрязненности донных отложений водных объектов тяжелыми металлами // - Москва: Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, Проблемы и мнения, - 2019, 12(144) - с.24-27.
19. Абдуллаева, Л. Дж. Синтез новых показателей степени загрязненности почвы тяжелыми металлами в береговых зонах в регионах нефтедобычи // - Баку: Известия АНАКА, Информационно-измерительные системы, - 2019 №2(22), стр.63-68.
20. Абдуллаева, Л. Дж. Методы определения морской береговой линии с помощью бортовой многоканальной измерительной системы // - Москва: Наукоемкие технологии в космических исследованиях земли. Информатика, вычислительная техника и управление.2019. , №3 (11) с.72-80.
21. Абдуллаева, Л.Дж. Некоторые вопросы построение системы трехуровневого измерения мутности прибрежных вод // Материалы Международной научной конференции «Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов», - Киров: Вятский Государственный Университет, - 16-19 апреля, - 2019, - с.195-199.
22. Абдуллаева, Л. Дж. Многоволновый метод для дистанционного определения береговой линии в условиях сильного аэрозольного загрязнения атмосферы // - Кола: Кольского научного центра РАН, - 2019. №1 (11) - с. 68-73.

23. Асадов, Х.Г., Рагимов, Р.М., Абдуллаева, Л.Дж. Метод информационного баланса сигналов дисперсивного и недисперсивного дистанционного зондирования для обнаружения нефтяных загрязнений почвы в прибрежных зонах с применением гиперспектрометров // - Уфа: Нефтегазовое дело, Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет. - 2019, № 2(17), - с. 27-32.

**Личный вклад автора в работе с соавторами:**

[1,3,5,8,9,10,15,] - Двухволновый метод определения концентрации взвешенных твердых частиц в морской воде;

[3,4,6,11,13,16,18,19] - Критерий выбора методов дистанционного зондирования растворенных органических веществ в береговых водах;

[1,3,5,8,9,10,15,] - Метод информационного баланса сигналов дисперсивного и недисперсивного дистанционного зондирования для обнаружения нефтяных загрязнений почвы в прибрежных зонах

Защита диссертации состоится 14 июня 2022 года в 14<sup>00</sup> на заседании Диссертационного совета FD2.25 действующего на базе Сумгаитского Государственного Университета

Адрес: 43-й квартал СГУ, основное здание, малый актовый зал  
e-mail: [info@sdu.edu.az](mailto:info@sdu.edu.az)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сумгаитского Государственного Университета

Электронная версия диссертации и автореферата размещены на официальном сайте Сумгаитского Государственного Университета [www.sdu.edu.az](http://www.sdu.edu.az).

Автореферат разослан по соответствующим адресам

13 мая 2022 года.

Подписано в печать:  
Формат бумаги: А5  
Объём: 47603  
Тираж: 70