

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Для служебного пользования
экз. № _____
на правах рукописи

ВАНЮШИН ГЕОРГИЙ ПЕТРОВИЧ

УДК 551.46:629.786.2:639.2001.5

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ОКЕАНА
В ВИДИМОМ И БЛИЖНЕМ-ИК ДИАПАЗОНАХ СПЕКТРА

/ II.00.08 - Океанология /

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва - 1982

*Глубоко уважая
Анатолию Алексеевича!
на добрую память!
17.02.83г.*

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте морского рыбного хозяйства и океанографии.

Научный руководитель: доктор географических наук профессор МУРОМЦЕВ А.М.

Официальные оппоненты: доктор географических наук К.П.Васильев /ГМЦ/ кандидат технических наук В.А.Красиков /ИКИ АН СССР

Ведущая организация: Государственный научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов.

Защита диссертации состоится " " 1982г. в часов на заседании специализированного совета К.024.02.01 в Государственном океанографическом институте по адресу: 119034, Москва, Кропоткинский пер., 6.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного океанографического института.

Автореферат разослан " " 1982г.

Ученый секретарь специализированного совета кандидат географических наук

И.В. Привалова
И.В. Привалова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Развитие советского рыболовства и обеспечение промысла в водах Мирового океана делают необходимым дальнейшее изучение и осуществление контроля за биологическими ресурсами по всей его огромной акватории. Осуществление этих задач стало особенно важным в условиях смещения промысла в открытые районы океана.

Привлечение космических средств и методов для выполнения работ, связанных с оперативной и перспективной разведкой рыбы в океане, могут помочь решить поставленные задачи. Данные космической съемки океана, полученные с искусственных спутников земли /ИСЗ/ и пилотируемых орбитальных станций /ПОС/ дают возможность получать оперативную информацию о распределении океанологических и биопромысловых характеристик на поверхности и в прилегающем верхнем слое воды. Они содержат информацию о положении зон повышенной биологической продуктивности и их границах.

Изучение поверхностного слоя Мирового океана при помощи космических средств в спектральном диапазоне 0,4-1,1мкм находится в экспериментальной стадии. Как в части применения съемочной аппаратуры, так и в части целевой обработки космических изображений океана. Для разработки конкретных способов дешифрирования материалов космических съемок океана, оценки их надежности и достоверности необходимы сопоставимые синхронные измерения яркости океана с ИСЗ или ПОС и океанологических и биологических характеристик с судов. Такие данные использованы в предлагаемой работе.

Цель работы - изучение путей дешифрирования океанологических и биопромысловых характеристик, динамических образований в поверхностном слое океана по материалам космических съемок в видимом и ближнем-ИК диапазонах спектра с использованием данных подспутниковых измерений этих параметров. При этом решались следующие задачи:

- исследование и классификация дешифровочных признаков океанологических и биопромысловых характеристик, динамических образований в поверхностном слое океана по результатам анализа его космических изображений;

- определение зависимостей между изменениями яркости океана и концентрациями взвеси, фитопланктона, хлорофилла "А", величинами относительной прозрачности морской воды на основании анализа синхронных спутниковых и судовых измерений, при ширине спектральных каналов съемки $\Delta\lambda = 0,1 \text{ мкм}$;

- изучение возможностей применения способа дифференцированного анализа материалов многозональной космической съемки для повышения точности океанологической интерпретации зафиксированных изменений спектральной яркости;

- комплексный анализ материалов космической съемки океана с целью повышения использования их информационного потенциала в процессе дешифрирования: а/ при фоторегистрации спутниковых видеосигналов с ИСЗ "Метеор"; б/ при оптико-электронной обработке многозональных изображений;

- определение масштаба картосхем, отображающих результаты дешифрирования материалов космической съемки океана.

Фактический материал и методы исследования. В работе использованы материалы космической съемки океана /многозональной, цветной, черно-белой/, полученные с ИСЗ: "Метеор-25,28-31", "Народно-хозяйственного назначения" /НХН/, "НОАА-3-7", "Лэндсэт-2"; ПОС: "Салют-4,6", космического корабля /КК/ "Союз-22". Материалы синхронных судовых и спутниковых наблюдений в Центральной Восточной части Атлантического океана /1976г./, в Северном и Среднем Каспии /1977-80гг./ получены при участии автора.

При дешифрировании космических изображений океана с целью выявления индикационных признаков океанологических и биопромысловых характеристик применялись визуальный метод анализа, фотометрическая

оценка видеoinформации и методы автоматизированной обработки видеосигналов на оптико-электронных и цифровых системах обработки данных в реальном масштабе времени. При анализе судовых и спутниковых измерений, использовались принятые методы статистических оценок исходных данных /Налимов, 1960/. Расчеты выполнялись на ЭВМ "Тектроник" по стандартным программам. Измерение характеристик поверхностного слоя океана осуществлялось стандартными приборами и методами.

Научная новизна. Впервые на большом материале космических съемок океана /свыше 4 000 изображений/, охватывающих различные географические зоны, проведены исследования внешних дешифровочных признаков океанологических и биопромысловых характеристик. Для ряда характеристик выявлены индивидуальные дешифровочные признаки, что позволяет более полно и достоверно осуществлять качественную интерпретацию распределений яркости на космических изображениях океана.

Предложенный способ дифференцированного анализа материалов многозональных космических съемок океана позволил повысить точность количественных оценок и расширить перечень характеристик, определяемых в поверхностном слое океана, по распределению значений спектральной яркости, измеряемой с ИСЗ.

Определены виды зависимостей изменения яркости океана от изменения концентраций взвеси, фитопланктона, хлорофилла "А" и величин относительной прозрачности морской воды в спектральных диапазонах 0,5-0,6 и 0,6-0,7 мкм, которые оказались идентичными для прибрежной части Атлантического океана у берегов С-В Африки и Каспийского моря.

Разработаны методические рекомендации по повышению информативности материалов космических съемок океана с ИСЗ "Метеор" при их фоторегистрации, что дало возможность использовать спутниковые данные для обеспечения рыбной промышленности оперативной информацией о распределении фронтальных зон, вихревых образований, взвесей в открытых районах океана.

Практическое значение. Выявленные системы дешифровочных признаков океанологических и биологических характеристик, динамических образований являются важными индикаторами, на основании которых выполняется качественная интерпретация полей яркости космических изображений океана как при визуальном, так и автоматизированном анализе спутниковых данных.

Экспериментально установленные зависимости между спектральной яркостью космических изображений океана и распределением его характеристик в поверхностном слое: фитопланктона, хлорофилла "А", взвеси, относительной прозрачности - могут быть использованы при количественном определении этих характеристик по данным с ИСЗ "Метеор", "НХН", при их массовом анализе на системах автоматизированной обработки.

Разработанный способ дифференцированного анализа материалов многозональной космической съемки океана позволяет повысить достоверность интерпретации изменений спектральной яркости, зафиксированных ИСЗ, в зависимости от изменений распределения океанологических и биологических характеристик в поверхностном слое. Он может быть использован при массовом анализе спутниковой информации на оптико-электронных и цифровых системах обработки данных.

Внедрение разработанных методических рекомендаций по повышению информативности космических изображений океана в Центре приема и первичной обработки спутниковых данных позволило, в среднем, в 4 раза увеличить воспроизведение на фотоизображениях яркостных контрастов поверхностного слоя океана.

Обработка спутниковых данных по предложенной технологической схеме позволяет конкретизировать процессы преобразования исходных видеосигналов и рационально использовать оптико-электронные и цифровые системы анализа при выполнении конкретных задач дешифрирования.

Получены формулы расчета масштабов картографических документов с результатами дешифрирования космических данных, что позволяет предварительно определять максимально допустимую величину масштаба с учетом: точности геодезической привязки, пространственного разрешения исходных данных, точности обсервации судов в районе работ.

Апробация работы. Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались: на семинарах Главцентра "Океан" ВНИРО /1977-81гг./, на I-ой Всесоюзной конференции по обмену опытом получения, обработки и использования космической информации для ИПР Земли, ГУГК, Госцентр "Природа" /1976/, II-ой Всесоюзной школе-семинаре молодых специалистов и ученых Минрыбхоза СССР/1977/; III-ем Всесоюзном межведомственном семинаре "Неконтактные методы измерения океанографических параметров", ЛОГОИИ, г. Ленинград /1978г./; на II-ой Всесоюзной конференции по использованию космической информации при решении научно-исследовательских и практических задач ИПР Земли и окружающей среды, ГУГК, ЦНИИГАиК /1978г./; IV-ой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов Госцентра "Природа", г. Москва, /1979г./; V-ой Всесоюзной конференции по промышленной океанологии, г. Калининград /1979г./; семинаре кафедры "Системы, устройства и методы геокосмической физики", г. Москва /МФТИ /1980-82гг./; X-ых Гагаринских чтениях, секция "Применение космических летательных аппаратов", г. Москва /1980г./.

Публикации. По теме диссертации опубликовано II работ, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Работа выполнена в соответствии с плановыми исследованиями ВНИРО /№ Гос. регистрации темы - 276985I/. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Общий объем работы 151 страница, в том числе 54 рисунка, 15 таблиц. Список литературы включает 137 наименований, из которых 36 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, поставлены основные задачи исследования, показана научная новизна и ценность работы.

В первой главе дается обзор современного состояния вопроса о дистанционных измерениях океанологических и биологических характеристик в поверхностном слое воды в видимом и ближнем-ИК диапазонах спектра.

В разделе I.1. излагаются физические основы дистанционных наблюдений поверхностного слоя океана. Показаны причины неоднородности спектрального распределения потоков радиации выходящих из морской воды для вод различной биологической продуктивности. Приведены сведения об искажающем влиянии атмосферы на суммарный поток радиации, отражаемый океаном.

Раздел I.2. посвящен анализу результатов экспериментальных работ по дистанционному определению характеристик поверхностного слоя океана. Дистанционное определение хлорофилла "А" многими авторами /Czatk, Ewing, 1970, 1973, 1974; Miller and al, 1976/ было связано с поиском закономерностей между $C_{ХЛ"А"}$ и отношением коэффициентов яркости моря / ρ / в спектральных диапазонах 0,46мкм, где наблюдается суммарный максимум поглощения светового потока хлорофиллом и его родственными соединениями, и 0,54мкм, в котором клетки фитопланктона максимально отражают световой поток /Туринович и др., 1968/. Отмечено, что достоверность результатов зависит от неоднородностей концентрации неорганических веществ, вариаций параметров атмосферы /Малкевич, 1976/. Способ определения $C_{ХЛ"А"}$, предложенный Vioillez, 1978, предполагает измерение альbedo океана / A / с самолета на четырех длинах волн: $A_{Г-0,466мкм}$, $A_{З-0,525мкм}$, $A_{Ж-0,550мкм}$ и $A_{КР-0,600мкм}$. Разность $A_{Г-А_{З}}$ чувствительна к поглощению света пигментами хлорофилла, а разность $A_{Ж-А_{КР}}$ является показателем содержания неорганической взвеси. Пелевин, 1978, установил, что изменения коэффициентов яркости моря / ρ_{λ} /

в спектральном диапазоне 0,370мкм связаны с изменениями концентраций "желтого вещества", $\rho_{0,430-C_{ХЛ"А"}}$ а $\rho_{0,600мкм}$ концентрациями взвеси / $C_{ВЗВ}$ /. Методы определения $C_{ХЛ"А"}$ по интенсивности флуоресценции на длине волны $\lambda=0,685$ изложены Фадеевым, 1978; Neville, 1977.

Полученные результаты основаны на измерениях V_{λ} в узких диапазонах спектра / $\Delta\lambda < 0,01мкм$ / с высот полета до 3000м, а эмпирические формулы определений $C_{ХЛ"А"}$ и $C_{ВЗВ}$ у каждого автора различны. Поэтому вопрос об экстраполяции полученных зависимостей на данные, получаемые с ИСЗ, остается нерешенным главным образом из-за трудностей учета влияния атмосферы на восходящую от океана радиацию. Работы, связанные с количественной интерпретацией спутниковых данных /Harris, 1976; фирмой Bendix, 1976/ показали, что уровень анализа зависит от полноты судовых подспутниковых измерений. Запуск ИСЗ "Нимбус-7" позволил точнее проводить эксперименты по дистанционному определению $C_{Фит.}$ и $C_{ХЛ"А"}$ /Gordon, 1980; Novis, 1980/. Однако, продвижение в разработках количественных способов анализа материалов космических съемок сдерживается из-за методических сложностей и больших затрат на организацию синхронных судовых наблюдений в открытых районах океана. Сведения о дешифровочных признаках динамических образований были получены, в основном, по материалам спутниковых съемок в ИК-диапазоне спектра -10,5 - 12,5мкм.

В разделе I.3. выполнен анализ ИСЗ, предназначенных для исследования природных ресурсов /"Метеор", "Лэндсат", "НОАА", "Нимбус-7", "Сисет-А"/. Показано, что для более полного изучения биопродуктивности поверхностного слоя океана необходимо использовать данные в видимой, инфракрасной, микроволновой и радиоволновой областях спектра, так как решение ряда задач требует комбинированного анализа материалов спутниковой съемки. Практическая ценность космической информации во многом будет зависеть от методической и технологической подготовленности отраслевых центров обработки и дешифрирования материалов космической съемки.

Во второй главе исследуются вопросы качественной и количественной интерпретации материалов космических съемок океана. Раздел 2.1. посвящен изучению признаков дешифрирования характеристик и динамических образований в поверхностном слое океана на космических изображениях.

Идентификация на космических снимках фронтальных зон, вихрей, областей подъема вод, распределения взвесей, фитопланктона и др. само по себе является важной информацией для любого ранга исследований океана, даже без их количественных оценок. Для выполнения поставленной задачи выполнен анализ более 4 000 изображений /черно-белых, цветных, многозональных/ на различные районы океана, при этом уточнялся как перечень опознаваемых объектов, так и их дешифровочные признаки. Выявлены внешние признаки объектов дешифрирования, отображающиеся на снимках через распределение полей оптической плотности $D_{x,y}$ - фототон, цвет, рисунок /текстура/, форма /контур/, размер /таблица I/.

Фототон и цвет как дешифровочные признаки являются основополагающими при анализе космических изображений океана. Все остальные проявляются через их пространственное распределение по полю снимка. Наиболее надежным индивидуальным признаком является рисунок изображения. Важный дешифровочный признак - текстура /частота изменения тона или цвета изображения/ в большей степени, чем другие признаки зависит от масштаба съемки, геометрического разрешения на снимке. Одни и те же дешифровочные признаки могут быть прямыми для одних и косвенными для других объектов водной среды. Дополнительными дешифровочными признаками при идентификации объектов может служить их взаимное расположение, а также положение и характер облачности в районе исследования. В таблице 2 приведено описание выявленных дешифровочных признаков скоплений фитопланктона на космических изображениях океана.

Перечень характеристик и динамических образований океана, качественное дешифрирование которых возможно при анализе космических изображений. Таблица 1

№ п/п	Перечень характеристик и динамических образований океана	Дешифровочные признаки											
		Вид съемки											
		Тон (фото-тон)	Цвет	Рисунок (текстура)	Форма	Взаимное расположение объектов	Положение	Объем	Характеристики	Объем	Характеристики	Объем	Характеристики
1.	Фронтальные зоны.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
2.	Зоны подъема глубинных вод.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
3.	Вихревые образования.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
4.	Поверхностные течения.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
5.	Контрастные поля температуры.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
6.	Неоднородности полей волнения.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
7.	Ступенчатая прозрачность (взвеси).	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
8.	Цвет океана.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
9.	Морские льды, айсберги, их характеристики.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
10.	Скопления биоэлементов. (фитопланктон).	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
11.	Масляные пятна.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К
12.	Суда.	П	П	П	П	К	К	К	К	К	К	К	К

Примечания: П - прямой признак и прямое использование материала съемки; К - косвенный признак и косвенное использование материалов съемки; П, К - в зависимости от характеристик геометрического и спектрального решения материалов съемки дешифровочный признак может быть прямым или косвенным; ЧБ - черно-белая съемка; ЦВ - цветная съемка; МЗ - многозональная съемка; ИК - инфракрасная съемка; * - во многих случаях элементы уверенно дешифрируются на космических изображениях в зоне солнечного блика или солнечной "дорожки".

№ п/п	Вид съемки	Тон (фототон позитива)	Цвет	Рисунок (текстура)	Форма и размер	Взаимное расположение объектов	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8
ИВ	ИВ	а) Поля ф. имеют более светлый, неоднородный фототон, чем окружающий фон; б) в диапазоне 0,5-0,6 мкм он более яркий, чем в диапазоне 0,6-0,7 мкм. В диапазоне 0,7-1,1 мкм практические признаки на изображениях не проявляются.	Цвета полей ф. смешены в более длинноволновую область спектра по сравнению с цветом окружающего фона. В открытых частях океана оттенки чаще голубовато-зеленоватые, бурные оттенки, в прибрежных районах - зелено-ваго-желтоватые, коричневые и красноватые.	а) при геометрических разрешениях исходных данных $R \leq 100 + 150$ м поля ф. могут иметь ячеистую, пятнистую, волнистую, волокнистую, текстурную, большую контрастную текстуру, указывают на очень высокую концентрацию ф.; меньшим разрешением аморфность на изображениях концентрируется в неорганические размеры, в то время как в верхнем слое. км, ширина до 100 м; при геометрических разрешениях $R > 200$ м текстура изображений поля ф. интегрируется. г) рисунок полей ф. часто определяется циркуляцией поверхностного слоя океана, его течениями.	Локальные пятна, полосы полей ф., которые опознаются на изображениях высокого разрешения (лучше $100 + 150$ м) часто составляют группы и имеют размеры: длина и ширина до нескольких км. На изображениях с меньшим разрешением интегрируются в пятна, достигшие размеров, достаточных для выделения циркуляционной структуры в поверхностном слое. км, ширина до 100 м; при геометрических разрешениях $R > 200$ м текстура изображений поля ф. интегрируется. г) рисунок полей ф. часто определяется циркуляцией поверхностного слоя океана, его течениями.	По динамике планктона при перемещении (с учетом полей планктонности) к фронтальной зоне судить о поведении апвеллинга, периферии течения, вихря, районам таяния морских льдов дрейфующим массивам (крупным), районам с повышенной вертикальной циркуляцией, приуроченным.	

В качестве доказательства достоверности выявленных дешифровочных признаков океанологических характеристик была проведена научно-методическая работа на пилотируемых орбитальных комплексах "Салют-6" - "Союз-31,34,35" - "Т-3". Проведены подготовительные занятия с космонавтами, разработан "Бортовой журнал визуальных наблюдений за поверхностью океана" /Муромцев, Ванюшин, Потайчук, 1980/. Материалы наблюдений космонавтов, данные оперативных судовых проверок результатов интерпретации подтвердили и позволили уточнить полученные дешифровочные признаки.

Космические снимки океана, на которых уверенно опознаются отдельные характеристики и динамические образования, могут использоваться как эталоны дешифрирования этих параметров при организации массовой интерпретации спутниковых данных.

В разделе 2.2. приведены результаты использования синхронных спутниковых и судовых наблюдений для разработки приемов количественной оценки концентраций фитопланктона, взвеси, хлорофилла "А", величин относительной прозрачности морской воды по космическим данным. Проанализированы материалы экспериментов, выполненных в апреле 1976г. в Атлантическом океане у берегов с-з Африки /I7-24° с.ш I6-22° з.д./ и в сентябре 1978г. в Каспийском море у п-ва Мангышлак. Космическая съемка выполнялась, соответственно, с ИСЗ "Лэндсэт-2" и "Метеор-28" в спектральных диапазонах 0,5-0,6; 0,6-0,7; 0,7-0,8; 0,8-1,1 мкм.

Данные с ИСЗ "Лэндсэт-2" представлены в виде оригинальных прозрачных позитивов. Состояние поверхности по судовым наблюдениям не превышало одного балла. Поэтому влияние этого фактора на изменения альбедо океана было несущественным /Сох, Мипк, 1956/. На составленные карты оптической плотности изображений были нанесены положения океанологических станций. Значения их оптических плотностей осреднялись в пределах площади круга, величина которого определялась значением средней квадратической ошибки обсервации судов в районе работ.

Выполненный совместный анализ изменений относительной прозрачности морской воды, концентраций фитопланктона и изменений оптической плотности изображения акватории Атлантического океана /Д_λ/ обнаружил зависимость только между величинами относительной прозрачности и D в спектральном диапазоне 0,5-0,6 мкм. Коэффициент корреляции оказался равен R_K=0,77 и средняя квадратическая ошибка определения параметра составила M_y=±3,6 метра.

Связь между изменениями концентраций фитопланктона и оптической плотностью изображений установить не удалось по причине невозможности дифференциации по данным эксперимента вклада в формирование яркости океана клеток живого фитопланктона и бесхлорофильных компонентов взвеси /частиц неорганической взвеси, детрита и др./, поскольку их определение на судах не проводилось. Величина относительной прозрачности тесно связана с распределением взвесей в поверхностном слое воды и это позволяет ее использовать в качестве показателя возможных скоплений живых организмов, особенно для открытых районов океана.

В эксперименте у восточного побережья Каспийского моря пробы для определения взвеси и концентраций хлорофилла "А" брались на поверхности и на глубине, равной половине величины относительной прозрачности. Основанием выбора нефиксированного второго горизонта послужило соображение, что измеренные с ИСЗ значения яркости V_λ будут сопоставляться с данными судовых измерений, полученными в слое воды с примерно одинаковой освещенностью, и который является решающим в формировании яркости водной среды. Материалы космической съемки представлены в виде распределения яркости в относительных величинах /число уровней 0-255/. Результаты сопоставления данных с ИСЗ "Метеор-28" и судов подтвердили связь между яркостью в диапазоне 0,5-0,6 мкм и относительной прозрачностью воды /R_K = -0,59; m_y = ±3,2м/. Выявлена зависимость между изменениями концентраций

взвеси и яркостью изображения в диапазоне 0,6-0,7 мкм /R_K=0,91; m_{C_{взв.}} = ±0,3 мг/л/. В диапазоне 0,5-0,6 мкм эта же зависимость выражена хуже /R_K=0,77; m_{C_{взв.}} = ±0,8 мг/л/. Это объясняется тем, что использованный весовой метод определения концентраций взвеси не позволяет учесть массу живого фитопланктона. Полученные концентрации взвеси практически отражают содержание неорганических элементов в воде. Спектральная отражательная способность частиц неорганической взвеси в диапазоне 0,5-0,7 мкм имеет вид "плато" /Пелевин, 1978/, а фитопланктон обладает значительно более высокой отражательной способностью в диапазоне 0,5-0,6 мкм, чем в 0,6-0,7 мкм, так как содержащиеся в нем хлорофилл /А,Б,С/ и его родственные соединения имеют несколько максимумов поглощения энергии в этом диапазоне длин волн./Гуринович и др., 1968/. Поэтому изменения яркости в диапазоне 0,6-0,7 мкм лучше согласуются с изменениями концентраций взвеси, чем в диапазоне 0,5-0,6 мкм.

Сопоставление значений яркости V_{0,5-0,6} с C_{хл. "А"} выявило зависимость между ними /R_K=0,61; m_{C_{хл. "А"}} = ±0,40 мкг/л. Разделение полигона на два участка с концентрациями взвеси больше и меньше 1,5 мкг/л позволило повысить тесноту связи между V_{0,5-0,6 мкм} и C_{хл. "А"} : R_K=0,71; m_{C_{хл. "А"}} = ±0,19 мкг/л, при C_{взв.} < 1,5 мкг/л и R_K=0,69; m_{C_{хл. "А"}} = ±0,30 мкг/л, при C_{взв.} ≥ 1,5 мкг/л.

В разделе 2.3. исследована возможность применения способа дифференцированного анализа материалов многозональной космической съемки. Точность и достоверность биологической интерпретации изменений яркости зависит от возможностей учета других факторов, так же влияющих на формирование яркости /параметров атмосферы, волнения, угловых условий съемки, неорганической взвеси и др./.

Различия спектральных характеристик этих факторов позволяют использовать данные с ИСЗ для дифференцированной оценки их влияния по распределению яркости в отдельных спектральных диапазонах.

В диапазоне 0,8-1,1 мкм яркость изображения океана зависит только от величины потока радиации, отражаемого поверхностью воды и неоднородностей параметров атмосферы в пределах площади съемки. Величина этого потока зависит от взволнованности, наличия поверхностно-активных пленок и от условий космической съемки /высоты и азимута Солнца, углов визирования/. Неоднородность параметров атмосферы приводит к неодинаковому трансформированию отраженной океаном радиации и рассеянию солнечного света ее собственной средой. Яркость самой водной среды в этом диапазоне очень мала, в среднем в 700 раз меньше, чем в диапазоне 0,5-0,6 мкм /Ерлов, 1980/.

Таким образом, яркость в диапазоне 0,8-1,1 мкм, практически не зависит от распределения океанологических и биологических характеристик. Значит, по ее распределению можно выделить области, в которых суммарное влияние факторов, не связанных с яркостью водной среды, квазиоднородно, т.е. считать, что в пределах этих областей в других диапазонах спектра изменения яркости происходят за счет изменения параметров в поверхностном слое океана.

При определении концентраций фитопланктона, хлорофилла "А" необходима предварительная оценка влияния частиц неорганической взвеси на формирование спектральной яркости. В силу отмеченных различий в спектральной отражательной способности клеток фитопланктона и частиц неорганической взвеси, распределение яркости в диапазоне 0,6-0,7 мкм позволяет выделить районы акватории с примерно равным содержанием неорганической взвеси и в пределах выделенных районов отождествлять изменения яркости в диапазоне 0,5-0,6 мкм с изменениями концентраций фитопланктона и, соответственно, концентраций хлорофилла "А".

Указанный подход апробирован на имеющемся материале синхронных судовых и спутниковых наблюдений. Для Центрально-Восточной Атлантики /ЦВА/ точнее установлена связь между значениями относительной

прозрачности и яркостью в диапазоне 0,5-0,6 мкм. Выявлена зависимость между концентрациями фитопланктона и яркостью в этом же диапазоне спектра /таблица 3/.

Улучшение тесноты связи между $C_{ХЛ. "А"}$ и $B_{0,5-0,6 мкм}$ при разделении полигона на Каспийском море по распределению $C_{ВЗВ}$ отмечено ранее.

Результаты исследований показали, что функции вида $Y=A+Bx$ лишь немного уступают по точности в описании количественных соотношений лучшим математическим зависимостям /выборка производилась по 8 видам функций/, что упрощает процесс интерпретации космических данных.

В третьей главе рассматриваются вопросы комплексного анализа материалов космических съемок океана.

В разделе 3.1. исследован процесс повышения информативности материалов космической съемки океана. В существующей методике приема и регистрации видеосигналов с ИСЗ "Метеор" в Центрах приема и обработки спутниковых данных заложен принцип интегральности фоторегистрации всех объектов Земли. Однако, вследствие малых значений яркостных контрастов водной среды, по сравнению с объектами суши и облачности, при преобразовании сигналов в фотоизображение /негатив/ размах оптической плотности изображения океана, вне зоны солнечного блика, равен в среднем 0,14Д, т.е. $\sim 7\%$ всего регистрируемого диапазона оптических плотностей /0,2-2,2Д/.

Отработка режимов регистрации изображений океана выполнена на 34 сеансах приема спутниковых данных. Установлено, что размах сигналов от водной среды при приеме практически всегда мал, а при наличии над океаном облачности его трудно выделить. Поэтому разработана временная инструкция по фоторегистрации видеосигналов водной среды, получаемых с ИСЗ "Метеор". В сеансе приема спутниковых данных производится фоторегистрация изображения только в диапазоне 0,8-1,1 мкм, а параллельно проводится запись исходных сигналов всех каналов съемки

Таблица № 3

Выявленные зависимости между V_{λ} /ИСЗ/ и отдельными характеристиками поверхностного слоя воды

Название ха- рактеристики (Y)	Акватория в км (X)	Участок полиго- на	Вид функции	A	B	прежние значения		новые значения		R _D **	Приме- чания
						R _K *	m _y	R _K	m _y		
Относительная прозрачность (M)	ЦВА 0,5-0,6	1	Y=A·e ^{BX}	3,6	3,85			0,94	0,9	0,90	*** f=12
		1	Y=A+BX	-1,6	44,7	(0,77)	(3,6)		1,0	0,89	(f=26)
		2	Y=A·e ^{BX}	1,4	6,0				2,7	0,82	
		2	Y=A+BX	-12,6	70,9			0,88	2,7	0,82	f=13
Развесь (мг/л)	Каспийское море 0,5-0,6		Y=A+B·X	-23,9	2496,2			-0,59	3,2	0,85	
			Y=A+BX	32,8	-0,315				3,3	0,84	f=19
Фитопланк- тон (г/м ³)	Каспийское море 0,6-0,7		Y=A·e ^{BX}	0,057	0,051			0,91	0,27	0,87	f=19
			Y=A+BX	-6,7	0,135				0,34	0,82	f=6
Хлорофилл (мкг/л)	ЦВА 0,5-0,6		Y=A+B·X	-4,9	1,76			-0,81	0,23	0,70	
			Y=A+BX	6,6	-18,5				0,25	0,68	
Каспийское море 0,5-0,6		1	Y=A+B·X	10,1	-677,1			0,71	0,19	0,50	f=7
		1	Y=A+BX	-5,1	0,084	(0,61)	(0,4)		0,21	0,47	(f=19)
		2	Y=A+B·X	12,1	-872,4				0,30	0,42	f
		2	Y=A+BX	-7,8	0,11			0,69	0,30	0,42	f

* R_K - коэффициент корреляции; ** R_D - индекс детерминации; *** f - n-1 - число степеней свободы

на магнитную ленту. По изображению в диапазоне 0,8-1,1 мкм определяются районы океана свободные от облачности, участки с вероятными максимальными и минимальными значениями яркости. По показаниям осциллографа, с записанной на магнитофон информации, снимаются значения сигналов для выбранных районов. Затем производится повторная фоторегистрация спутниковых данных. Для этого размах сигналов от водной среды увеличивается и масштабируется таким образом, чтобы оптическая плотность изображения океана находилась в пределах $D_{\text{мин}} = D_0 / 0,1 \div 0,2$ до $D_{\text{макс}} = D_0 + 0,8 \div 1,2$, где D_0 - плотность вуали негатива. Это позволяет существенно повысить контраст ярких градиентов водной среды /в среднем в 4 раза/, представить их в наиболее оптимальном для человеческого глаза диапазоне оптических плотностей. Увеличивается видность объектов водной среды, возможность их обнаружения при дешифрировании. Внедрение "Инструкции" позволяет получать во многих случаях оперативную информацию о распределении характеристик и динамических образованиях в открытых районах океана с ИСЗ "Метеор", в принципе не предназначенного для исследований океана.

Раздел 3.2. посвящен вопросам повышения полноты и скорости дешифрирования материалов космической съемки океана с использованием средств оптико-электронной и цифровой обработки данных. Автоматизация традиционных измерений и операций /измерение координат, площадей объектов, фотометрирование, интерполяция, сравнительный анализ яркостных структур в различных спектральных диапазонах, регистрация результатов интерпретации и др./ значительно сокращает время анализа данных. Функциональные возможности современных обрабатывающих систем позволяют интерпретатору формировать программу процедур преобразования исходных изображений с учетом конкретной задачи тематического дешифрирования с целью извлечения максимальной информации.

Работы выполненные на системах "МСП-4"/ИКИ АН СССР/, "ИСИ-150"/Госцентр "Природа"/, "Периколор"/ГосНИЦ ИР/, "ИСИ-130"/Главцентр "Океан"-ВНИРО/ позволили составить и отработать схемы интерактивной обработки материалов космических съемок для целей их океанологической интерпретации.

Раздел 3.3. посвящен расчету масштабов картосхем с результатами дешифрования космических данных. Масштаб картосхемы зависит от геометрического разрешения $/R/$ материалов космической съемки, от точностей геодезической привязки элемента разрешения $/m_R/$, определения положения изолинии или границы контура дешифрируемой характеристики $/m_{из.}/m_{из.}$ зависит от градиентов яркостных характеристик водной среды и величины R . Чем больше градиент, тем точнее определяется положение изолинии или границы контура. По теории ошибок измерений /закон нормального распределения/ $m_{из.}$, для упрощения расчетов, может быть принята равной $\pm \ell/3$, где ℓ - размах диффузии заданного яркостного перехода от одного уровня к другому. Для изображения полученного способом сканирования $\ell = R \cdot \pi$, где R - линейный размер элемента разрешения на местности, а π - число элементов разрешения, определяющих размах диффузной зоны. Ошибка положения контура на морской карте $/m_{кон}/$ не должна превышать 2,0мм в масштабе карты $/M/$. Значит максимальный масштаб картографического документа не должен превышать величины $2mm \cdot M^{-1} = |m_{кон}| = \left| \sqrt{m_R^2 + \left(\frac{R \cdot \pi}{3}\right)^2} \right|$.

Современная точность геодезической привязки данных съемки с ИСЗ "Метеор" не позволяет создавать картографические документы масштабов крупнее 1:8 000 000 для прибрежных и 1:25 000 000 для открытых районов океана, но космические данные с ресурсной подсистемы "Океан-0" позволят создавать картографические документы на открытые районы океана в масштабах до 1:1 500 000.

В заключении на основе выполненных исследований сформулированы основные выводы, показано практическое использование результатов работы, даны рекомендации по дальнейшим исследованиям в этом направлении.

Основные выводы. I. Анализ космических изображений океана позволил установить дешифровочные признаки ряда океанологических и биопромысловых характеристик. Системы дешифровочных признаков /тон, цвет, форма, размер, рисунок и текстура, взаимное расположение/ позволяют расширить применение визуального и автоматизированного методов интерпретации спутниковых данных при дешифровании фронтальных зон, течений, вихревых образований, областей подъема вод, взвесей, фитопланктона и др.

Использование систем дешифровочных признаков при анализе космических данных уже в настоящее время может помочь в обеспечении рыбной промышленности оперативной информацией о качественном распределении вышеуказанных характеристик в промысловых и в перспективных для промысла районах океана.

2. Результаты анализа синхронных судовых и спутниковых измерений, выполненных в Атлантическом океане у северо-восточного побережья Африки и в Каспийском море, позволили установить следующее: измерения яркости с ИСЗ в спектральном диапазоне 0,5-0,6мкм могут быть использованы для оценок распределения фитопланктона, хлорофилла "А" и относительной прозрачности в поверхностном слое океана; в открытых водах океана изменения яркости в этом спектральном диапазоне связано, в основном, с распределением биопромысловых характеристик в поверхностном слое. Неорганическая взвесь наиболее четко фиксируется спутниковыми измерениями в спектральном диапазоне 0,6-0,7мкм.

3. Способ дифференцированного анализа материалов многозональной

космической съемки океана повышает точность результатов океанологической интерпретации изменений спектральной яркости В на космических снимках океана. Его использование при анализе данных синхронных спутниковых и судовых измерений позволило уточнить зависимости между изменениями $B_{0,5-0,6\text{мкм}}$ и концентрациями хлорофилла "А", величинами относительной прозрачности, выявить связь между $B_{0,5-0,6\text{мкм}}$ и изменениями концентраций фитопланктона, которая при обычном корреляционном анализе не могла быть установлена.

4. Отработанные на системах анализа многоспектральных данных схемы преобразования космических изображений океана позволяют ускорить процесс интерпретации материалов космических съемок, повысить его надежность за счет более полного использования информационного потенциала космических данных и, соответственно, систем дешифровочных признаков океанологических и биопромысловых характеристик, включая их спектральный "образ".

5. Получены формулы расчета масштабов картографических документов отображающих результаты дешифрирования. В настоящее время материалы съемки океана с ИСЗ "Метеор", в связи с недостаточной точностью геодезической привязки исходных данных, не позволяют получать картографические документы, для открытых районов океана масштабов крупнее 1:25 000 000. Установлено, что максимально возможный масштаб картосхем, которые можно будет получать на основании данных ИСЗ "Океан-0" - 1:1 500 000.

6. Выполнены эксперименты по уточнению режимов фоторегистрации видеосигналов, поступающих с ИСЗ "Метеор", в целях повышения информативности космических изображений океана. На их основе разработана "Временная инструкция по фоторегистрации видеосигналов водной среды океана, получаемых с ИСЗ "Метеор". Ее внедрение позволило по сравнению с существующей технологией фоторегистрации спутниковых данных в среднем в 4 раза увеличить диапазон оптических плотностей, отобра-

жающих яркостные контрасты водной среды. Это повышает полноту использования информационного потенциала космических изображений океана в процессе дешифрирования.

Основные результаты работы опубликованы в следующих статьях:

1. Бумблис В.И., Ванюшин Г.П., Потайчук С.И. Опыт изучения объектов водной среды с использованием телевизионных систем обработки многозональной информации. Сб. материалов I Всесоюзной конференции по обмену опытом получения, обработки и использования космической информации для ИПРЗ. Т. I. ОНТИ ЦНИИГАиК. - М., 1978, с. 92-104. ДСП.

2. Потайчук С.И., Ванюшин Г.П., Зырянов В.Н. Дистанционные наблюдения океана в рыбохозяйственных целях. Материалы II Всесоюзной конференции по использованию космической информации при решении научно-исследовательских и практических задач исследования природных ресурсов Земли и окружающей среды. ЦНИИГАиК. - М., 1978, с. 23-24.

3. Ванюшин Г.П., Зубаревич В.Л. Яркость изображения водной среды и ее связь с некоторыми океанологическими характеристиками. Там же, с. 85-86.

4. Ванюшин Г.П., Зубаревич В.Л., Мокрушин В.А. Некоторые зависимости оптической плотности космических изображений водной среды от океанологических условий. Труды ВНИРО, т. СХХХVI, "Пищевая промышленность". - М., 1979, с. 60-65.

5. Ванюшин Г.П. Принципы дешифрирования многоспектральных спутниковых изображений водной среды. Тезисы докладов V Всесоюзной конференции по промышленной океанологии 23-25 октября 1979г. АтлантНИРО, г. Калининград, 1979, с. 194-196.

6. Ванюшин Г.П., Зозуля С.А. Об использовании материалов спутниковой ИК-съемки Каспийского моря для рыбохозяйственных целей. АтлантНИРО, г. Калининград, 1979, с. 199-201.

7. Бумблис В.И., Ванюшин Г.П., Потайчук С.И. Рекомендации по обработке многоспектральных изображений водной среды для информационного обеспечения промышленных работ. - М., ВНИРО, 1980, 138с. ДСП.

8. Ванюшин Г.П., Зозуля С.А. О возможности выявления зон повышенной биологической продуктивности у восточного побережья Среднего Каспия по материалам космических измерений в ИК-диапазоне. Сб. №77 "Совершенствование техники и технологии картографических работ". - М., ГИУК - ЦНИИГАиК, 1980, с.26-27.

9. Potaičuk S.J., Vanjushin G.P. The Possibility to use Space Information in Oceanology. XXXI Congress of the International Astronautical Federation Abstracts of Papers. Tokyo. 1980. p.281-282.

10. Ванюшин Г.П., Дядунов В.Н., Сажин С.М. Анализ данных синхронных измерений с ИСЗ "Метеор" и судов у восточного побережья Каспийского моря. Исследование Земли из космоса. 1981, №4, с.54-60.

11. Ванюшин Г.П. Опыт дешифрирования зон повышенной биологической продуктивности по многозональным изображениям водной среды. Труды III Всесоюзного семинара "Неконтактные методы измерения океанографических параметров". - М., Гидрометеоздат, 1981, с.78-82.

