

УДК 681.783.322.001.57

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА АНОМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И ОКЕАНА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

А. Х. СУЛТАНОВ

Факультет авиационного приборостроения УГАТУ
Тел: (3472) 22 86 66 E-mail: ipalex@ufanet.ru

Рассмотрены сложные информационные системы, позволяющие обрабатывать аэрокосмические изображения, полученные с космических аппаратов. Исследуемые информационные системы ориентированы на обнаружение аномальных явлений на поверхности Земли и Океана. Приведена концепция построения таких информационных систем, методы моделирования, а также алгоритмы и методы обнаружения аномальных явлений на поверхности Земли и Океана

Дистанционное зондирование; аэрокосмические изображения; моделирование; аномальные явления

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап изучения поверхности Земли и Мирового Океана с помощью дистанционного зондирования (ДЗ) специалистами в этой области начинается в 60-е годы [1] с появлением методов машинной обработки аэрокосмических данных. Этот момент характерен качественно новыми результатами, дополнившими данные, полученные фотографическими методами. По сути появляется новое направление в науке, принесшее с собой новые идеи. Эти идеи родились в результате исследований, приведенных к тому времени в различных областях: в электронике, распознавании образов, статистической радиофизике, вычислительной технике и связи, включая космическую. За рубежом и в нашей стране работы в этом направлении проводились в рамках программ научных исследований, направленных на выявление, формирование и распространение новых идей на потребности дистанционного зондирования, в результате чего был очень быстро заложен фундамент нового научного направления.

Возможность осуществлять съемки поверхности Земли и Мирового Океана с помощью космических аппаратов и быстро обрабатывать большие объемы космических данных позволила сформулировать и развить но-

вое направление в дистанционном зондировании. Первоначальное применение космического дистанционного зондирования было примитивным, с низким пространственным разрешением и точностью измерения отраженной лучистой энергии. Это были системы наблюдения за погодой, затем, с повышением качества и эффективности методов дистанционного зондирования, появляются системы исследования земных ресурсов. Постепенно стали возрастать требования к пространственному разрешению и к спектральной чувствительности.

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время исследование Земли и Мирового Океана с помощью аэрокосмического дистанционного зондирования рассматривается и как наука, и как метод, ценный для решения практических задач. Дистанционное зондирование как наука имеет право на свое место наряду с такими науками, как например, астрономия, геология, геофизика, океанология и т.д. Это уже нечто большее, чем просто средство наблюдения отдельной планеты. Убедительность этого утверждения доказана на симпозиумах и конференциях, посвященных ДЗ и космическим исследованиям, большому количеству публикаций в

различных журналах и книгах. Переплетения ДЗ с наукой о Земле, изучающей локальные и глобальные земные процессы, наукой об атмосфере и Океане объясняется тем, что само дистанционное зондирование находится на стыке этих наук как с точки зрения общности методов фундаментальных исследований в этих науках, так и в плане будущего применения в них результатов, полученных в дистанционном зондировании.

Направления исследований в дистанционном зондировании хорошо просматриваются на схеме, приведенной на рис. 1.

Рисунок показывает путь прохождения новой идеи до ее практического воплощения. На основе знаний, полученных в других дисциплинах, должна быть реализована возможность дистанционно получать и анализировать данные. Таким образом, можно глубже проникнуть в сущность явления при использовании методов ДЗ.

Формирование подобного направления исследований в ДЗ позволяет предоставить материалы (космические снимки, данные лазерного зондирования, результаты комплексных измерений и т. д.) в различных приложениях и в конце концов решать практические задачи.

Кроме того, важным является также в научном плане создание базы знаний о Земле и Мировом Океане. Эта функция ДЗ, которой в последнее десятилетие придается все большее значение вследствие ее потенциальной пользы как для науки, так и для практики, нуждается в постоянном развитии.

Ключевую роль, исходя из рис. 1, при исследовании ДЗ играют:

- технические разработки (космические аппараты, устройства получения и обработки космической информации, средства их доставки);
- науки о Земле и Океане (география, геология, физика Земли, физика атмосферы и Океана);
- прикладные исследования (радиотехника, прикладная оптика, информатика, связь и т. д.).

Опыт исследований последних лет показывает, что наибольшие успехи достигаются на стыке наук, когда используются все виды исследований и весь процесс протекает не строго по указанной на рис. 1 последовательности, а скорее носит итеративный характер с сильной обратной связью.

Таким образом, в результате исследований в ДЗ на выходе сложной системы появится так называемый [1] «сырой материал», который необходим для прогресса дистанционного зондирования как науки с практическим приложением. Накопление и создание базы данных «сырого материала» позволили говорить о новой эре исследования Земли и Океана из космоса, начало которой отмечается с 70-х годов. На прогресс и развитие ДЗ на сегодняшний день влияет ряд факторов, которые позволяют заглянуть в будущее данной области.

Во-первых, следует отметить тенденцию перевода в России и за рубежом эксплуатации ИСЗ на коммерческую основу, кроме систем наблюдения за атмосферой и Океаном (в России — в ведении Госкомгидромета, в США — в ведении NOAA).

Во-вторых, исследования с использованием ДЗ Земли и Океана ориентируются на изучение Земли как единой системы. Опыт создания подобных систем имеется [2], это EOS (Earth Observing System) в США, GCOS (Global Climate Observing System) — в Англии [3], ПОЕМ (Polar-Orbit Earth Observing Mission) — в Западной Европе и аналогичная система в Японии. Данные программы дают возможность создать базу для получения новых знаний о динамике земных процессов в глобальном масштабе, что, несомненно, имеет большое значение в развитии фундаментальных наук о Земле и Мировом Океане.

И наконец, третий важный фактор — это создание космических станций. В настоящее время в России и США имеются постоянно обитаемые станции на орбитальных платформах с орбитой, близкой к экваториальной, а также посещаемые станции на геосинхронной орбите. По существу, это многоцелевые космические лаборатории для проведения научных экспериментов по ДЗ фундаментального и прикладного характера.

Все эти вышеперечисленные предпосылки дают основание предполагать качественный скачок в развитии дистанционного зондирования как науки с эффективным прикладным использованием.

Известно, что дистанционные методы по сравнению с традиционными контактными методами получения информации обеспечивают уникальные возможности оперативного сбора данных в глобальном масштабе с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением. Особое место в развитии прикладных аспектов ДЗ занимает про-

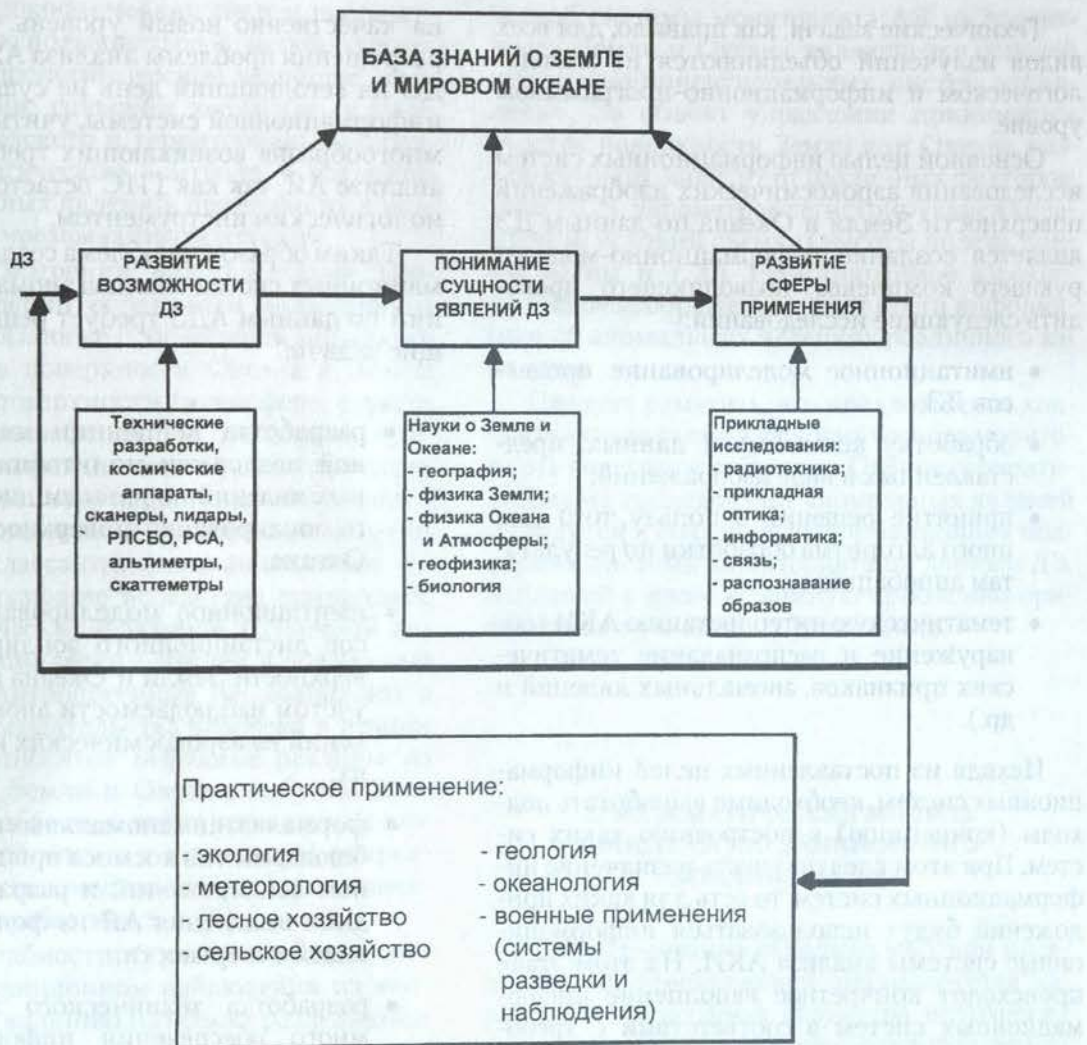


Рис. 1. Основные направления в дистанционном зондировании

блема анализа аномальных проявлений на поверхности Земли и Океана. Заинтересованность в таком анализе отмечается в экологии, океанографии, геофизике, геологии, в военных системах разведки и обнаружения, в лесном и народном хозяйстве и т. д. Решение этой проблемы требует, в свою очередь, решения широкого круга больших и сложных задач из различных дисциплин. Анализ аномальных явлений, проявляющихся на изображениях при ДЗ из космоса независимо от физики их возникновения, становится эффективным только при системном подходе к решению этой проблемы. Результатом решения проблемы анализа АЯ по данным ДЗ является специальная информационная система, позволяющая целевым образом анализировать различные АЯ, так или иначе проявляющиеся на аэрокосмических изображениях.

2. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ АНАЛИЗА АНОМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Разработка информационной системы (ИС) анализа АЯ (ИСААЯ) сопряжена с решением задач как теоретического, так и технического плана. Теоретический аспект решаемых задач во многом зависит от диапазона длин волн, в котором осуществляется дистанционное зондирование (радио, СВЧ, ИК или оптический диапазон). Большинство физических явлений в процессе ДЗ: прохождение лучей в атмосфере, отражение и поглощение земной и водной поверхностью — имеют свои особенности и подчиняются различным физическим законам (Брега, Кирхгофа, Рэлея, Гельмгольца и т. д.) в зависимости от длин волн излучения, состояния атмосферы и структуры поверхности Земли и Океана.

Технические задачи, как правило, для всех видов излучений объединяются на методологическом и информационно-программном уровне.

Основной целью информационных систем исследования аэрокосмических изображений поверхности Земли и Океана по данным ДЗ является создание информационно-моделирующего комплекса, позволяющего проводить следующие исследования:

- имитационное моделирование процессов ДЗ;
- обработку космических данных, представленных в виде изображений;
- принятие решений в пользу того или иного алгоритма обработки по результатам апробации;
- тематическую интерпретацию АКИ (обнаружение и распознавание тематических признаков, аномальных явлений и др.).

Исходя из поставленных целей информационных систем, необходимо выработать подходы (концепцию) к построению таких систем. При этом следует учесть назначение информационных систем, то есть для каких приложений будут использоваться информационные системы анализа АКИ. На этом этапе происходит конкретное наполнение информационных систем в соответствии с требованиями пользователя (информационные системы экологического назначения, системы анализа АЯ на поверхности океана, геологические и землепользовательские информационные системы и т. д.).

За последнее десятилетие для анализа изображений появились специальные геоинформационные системы (ГИС), выделившиеся в отдельную технологию — ГИС-технологию [4]. Разработка современных ГИС и их использование представляют собой выделенную самостоятельную проблему, коррелируют с проблемами, возникающими в предметной области, и находятся на стыке многих областей: науки о Земле, географии, дистанционного зондирования, картографии, математики, кибернетики и т. д. Специалисты, занимающиеся ГИС, создали достаточно большую базу знаний о ГИС, но до сих пор нет полного систематизированного обзора литературы по ГИС. Особо следует отметить вопросы взаимосвязи ГИС и ДЗ.

Использование ГИС для анализа данных ДЗ позволяет поднять эффективность исследований при дистанционном зондировании

на качественно новый уровень. Однако для разрешения проблемы анализа АЯ по данным ДЗ на сегодняшний день не существует геоинформационной системы, учитывающей все многообразие возникающих требований при анализе АЯ, так как ГИС остается чисто технологическим инструментом.

Таким образом, проблема создания информационных систем анализа аномальных явлений по данным АДЗ требует решить следующие задачи:

- разработка концепции информационной поддержки мониторинга аномальных явлений по данным дистанционного зондирования поверхности Земли и Океана;
- имитационное моделирование процессов дистанционного зондирования поверхности Земли и Океана из космоса с учетом наблюдаемости аномальных явлений на аэрокосмических изображениях;
- формализация аномальных явлений, наблюдаемых из космоса при дистанционном зондировании, и разработка методики выделения АЯ на фоне подстилающей поверхности;
- разработка технического и программного обеспечения информационной системы анализа аномальных явлений по данным аэрокосмического дистанционного зондирования;
- создание блока алгоритмов тематической интерпретации применительно к обнаружению и распознаванию АЯ (по требованию пользователя).

3. КЛАССИФИКАЦИЯ АНОМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Аэрокосмическая информация, являясь по своей природе генерализованной, может служить в качестве объективной основы для реализации системных проектов рациональной трансформации окружающего мира. В основу систематизации задач, решаемых с помощью анализа аэрокосмических данных, положены основные компоненты ноосферы: атмосфера, рельеф, почва, водная поверхность, поверхность Мирового Океана, растительность, снежный покров и т. д.

Информация о состоянии перечисленных выше компонентов ноосферы, полученная с

помощью аэрокосмических систем наблюдения, может использоваться в метеорологии, геологии, гидрологии, лесном хозяйстве, земледелии, сельском хозяйстве, планировании городского и территориального развития, экологическом контроле, в изучении природоопасных явлений, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций.

При рассмотрении классификации аномальных явлений обращается внимание на признаки, связанные с характером возникновения АЯ на поверхности Океана и Земли или вблизи поверхности (атмосфере, стратосфере или ионосфере). По указанным признакам АЯ подразделяются на явления природно-естественного характера и антропогенного происхождения. К аномальным явлениям первого класса относятся аномальные явления, возникающие вследствие природных, метеорологических факторов, солнечной активности, космических дождей и магнитных бурь и т. д. Антропогенные АЯ возникают в результате вмешательства человека в природу. К ним относятся нефтяные разливы на поверхности Земли и Океана, выбросы промышленных объектов, места проживания людей (города, поселки и т. д.), пожары, рекреационные участки, места геологических и нефтегазовых разработок и т. д. [5].

По масштабности (уровню) проявления АЯ при дистанционном наблюдении из космоса и по их влиянию на объект разделяются на три уровня:

- глобальные (аномальности 1-го уровня), связанные с глобальными изменениями Земли и Океана независимо от характера возникновения АЯ;
- региональные (аномальности 2-го уровня), имеющие по масштабности более мелкий (региональный) характер;
- локальные (аномальности 3-го уровня) объединяют мелкомасштабные явления и выявляются средствами регистрации высокого разрешения.

Построение информационных систем для исследования АЯ по информации, полученной с ИСЗ, космических пилотируемых комплексов, самолетов в виде двумерных сигналов и полей, является многодисциплинарной проблемой, занимающей определенное место в дистанционном зондировании как отдельной науке.

Для исследования АЯ целесообразно выработать концептуальную модель аэрокосми-

ческой системы мониторинга АЯ на поверхности Земли и Океана, являющейся основой проблемно-ориентированных систем управления. За объект управления принимается участок поверхности Земли или Океана, размер которого зависит от различных факторов: типа ИСЗ, параметров регистрирующей аппаратуры, условий съемки (высоты полета, длины волны и т. д.). Регистрируемое аэрокосмическое изображение может нести информацию об аномальных явлениях различного характера.

Следует отметить, что предложенная концептуальная схема аэрокосмического мониторинга поверхности Земли и Океана сориентирована на исследование аномальных явлений и сводится к созданию информационной поддержки системы мониторинга по данным ДЗ, входящей в итоге в сложную проблемно-ориентированную систему управления.

4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Для обоснования используемых при моделировании приближений анализируется характер и масштабная структура оптических неоднородностей, основных факторов, участвующих в механизме формирования изображения океана: поверхности океана, толщи океана и атмосферы.

Математическая модель описывает конфигурацию наблюдаемого участка взволнованной поверхности океана. Поле возвышений $\xi(\vec{r})$ представляется в виде двумерного ряда Фурье со случайными коэффициентами, определяемыми в соответствии с пространственным спектром волнения.

Рассматриваются вопросы моделирования процесса формирования аэрокосмического изображения океана оптическими системами наблюдения. Картина формирования яркости изображения представляется как результат суперпозиции рассеянного излучения Солнца и излучения атмосферы поверхностью океана, его толщей и собственного излучения океана. Для определения компоненты яркости изображения, обусловленной рассеиванием излучения поверхностью океана, использовался метод Кирхгофа, с помощью которого интенсивность рассеянного излучения можно представить в виде

$$I(\vec{\delta}) = \iint F(\vec{r}_1) F^*(\vec{r}_2) \exp \left\{ i \vec{q}(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) + \left(\vec{q} \vec{N} \right) (\xi(\vec{r}_1) - \xi(\vec{r}_2)) \right\} d^2 \vec{r}_1 d^2 \vec{r}_2, \quad (1)$$

где $F(\vec{r}) = C \frac{\vec{n} \vec{q}}{N \vec{q}} V(\vec{r}, \xi(\vec{r})) A(\vec{r}) h(\vec{r}, \vec{\delta})$; \vec{N} — нормаль к подстилающей поверхности; \vec{n} — нормаль к случайной поверхности океана; \vec{r} — радиус-вектор в подстилающей плоскости; $\vec{\delta}$ — радиус-вектор в плоскости изображения; $V(\vec{r}, \xi(\vec{r}))$ — коэффициент отражения; $A(\vec{r})$ — амплитуда поля падающего излучения; C — константа; $h(\vec{r}, \vec{\delta})$ — передаточная функция оптической системы.

Приближенное аналитическое вычисление интеграла (3) было произведено на основе привлечения факта частичной когерентности падающего излучения и использования методологического приема, состоящего в замене быстроосциллирующих в масштабе области когерентности подынтегральных членов их среднестатистическими значениями, что позволило получить конечные выражения, которые можно использовать для целей компьютерного синтеза изображений.

Выражение для определения вклада в яркость изображения диффузного отражения толщ океана, содержащей дискретные рассеиватели, получено с помощью решения уравнения переноса излучения для случая падения исходного излучения на полубесконечную среду со случайной границей раздела

$$\vec{S} \text{grad} I(\vec{r}, \vec{s}) + \sigma_s I(\vec{r}, \vec{s}) = \int_{4\pi} \sigma(\vec{s}, \vec{s}') I(\vec{r}, \vec{s}') d\Omega_{S'}, \quad (2)$$

$$I(\vec{r}, \vec{s})|_S = I_0(\vec{s}), \quad (3)$$

где $d\Omega_{S'}$ — телесный угол; $I(\vec{r}, \vec{s})$ — энергетическая яркость в точке с координатой r' в направлении единичного вектора \vec{s} ; $\sigma(\vec{s}, \vec{s}')$ — дифференциальное сечение рассеивания единицы объема толщи океана; S — поверхность океана; $I_0(\vec{s})$ — распределение падающего излучения. При решении задачи (2,3) использовалось приближение первого порядка теории многократного рассеивания.

Компонента яркости изображения, обусловленная собственным излучением океана, оценивалась на основе применения классического закона излучения Кирхгофа в каждой точке поверхности.

Определено влияние турбулентно-аэрозольной структуры атмосферы на процесс формирования аэрокосмических изображений. Данный вопрос рассмотрен в рамках приближения параболического уравнения

$$\left[2ik \frac{\partial}{\partial z} + \sum_{i=1}^n \Delta_i - \sum_{i=1}^m \Delta'_i + \frac{ik^3}{4} Q_{n,m} \right] M_{n,m} = 0, \quad (4)$$

где k — волновое число; z — координата вдоль направления распространения поля излучения; Δ_i, Δ'_i — операторы Лапласа, действующие по координатам векторов $\vec{\rho}_i, \vec{\rho}'_i$ в перпендикулярной к направлению распространения плоскости; $M_{n,m}$ — статистический момент порядка $(m+n)$ амплитуды $u(z, \vec{\rho})$ поля излучения, определяемый статистическим средним

$$M_{n,m} = \left\langle u(\vec{z}, \rho_1) \dots u(\vec{z}, \rho_n) u^*(\vec{z}, \rho'_1) \dots u^*(\vec{z}, \rho'_m) \right\rangle, \quad (5)$$

функция $Q_{n,m}$ определяется выражением

$$Q_{n,m} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A(\vec{\rho}_i - \vec{\rho}_j) - 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A(\vec{\rho}_i - \vec{\rho}'_j) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m A(\vec{\rho}'_i - \vec{\rho}'_j), \quad (6)$$

где

$$A(\vec{\rho}) = 2\pi \int \left[\Phi_\epsilon(\vec{\chi}) + \frac{\sigma(\vec{\chi}/k)}{2\pi k^4} \right] \times \cos(\vec{\chi} \vec{\rho}) d^2 \vec{\chi}. \quad (7)$$

В выражении (7) $\Phi_\epsilon(\vec{\chi})$ — спектр турбулентных флуктуаций диэлектрической проницаемости атмосферы; $\sigma(\vec{\chi}/k)$ — дифференциальное сечение рассеивания единицы объема аэрозоля.

Использование параболического уравнения (6) для описания процесса распространения излучения через среду, содержащую дискретные рассеиватели, основывается на введении непрерывной среды, эквивалентной дискретной по рассеивающим свойствам. Выражение (7) отражает суть данного формализма.

С помощью полученной на основе решения параболического уравнения корреляционной функции оценена величина флуктуаций интенсивности, вызванных совместным

действием турбулентных пульсаций диэлектрической проницаемости и атмосферным аэрозолем. В работе рассмотрен механизм образования фона в оптоэлектронной системе, фотоприемная матрица которой располагается в фокальной плоскости. Разработана методика моделирования фона в оптоэлектронных системах астронавигации от пылевого облака, образованного частицами отработанного топлива. Получены выражения для оценки среднего значения корреляционной функции и спектральной плотности фона.

5. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для создания системы имитационного моделирования аэрокосмических изображений необходимо выработать методику компьютерного синтеза аэрокосмических изображений, провести анализ аппаратной функции оптической системы, регистрирующей излучение, прошедшее через турбулентно-аэрозольную среду, и определить зависимость между пространственным разрешением при аэрокосмических наблюдениях и радиусом корреляции турбулентных флуктуаций интенсивности.

Способ приближенного описания процесса формирования изображений оптическими системами основан на двухмасштабном по отношению к пространственному разрешению представлении поля волнения. Такое представление позволяет при синтезе изображений имитировать только крупномасштабные компоненты волнения, пространственный спектр которых соответствует длинам волн, превышающих величину элемента разрешения. Вклад мелкомасштабных волн, длина которых меньше величины элемента разрешения, определяется аналитически на основе предположения об эргодичности случайного поля волнения, что позволяет при расчетах пространственное усреднение заменить статистическим. Получено общее выражение, связывающее яркость изображения океана с локальной яркостью поверхности, образованной крупномасштабными компонентами волнения и среднестатистическим значением яркости волн мелкомасштабной части пространственного спектра волнения. Для конкретных моделей коэффициента отражения поверхности океана, сечения рассеивания толщи океана и углового распределения излучения атмосферы полученное выражение представлено в виде разложения в ряд с точностью до членов второго порядка по

компонентам случайного поля наклонов поверхности, которые, в соответствии с данными экспериментальных исследований, являются малыми параметрами. Данное представление дает возможность определить аналитически статистические средние, необходимые для вычисления яркости мелкомасштабной части волнения.

Рассматривается влияние возникающего при волнении пенообразования на формирование аэрокосмических изображений. Оценка вклада пены в компоненту яркости изображения, обусловленную мелкомасштабными волнами, основывается на эмпирической зависимости процентной доли поверхности океана, покрытой пеной, от скорости ветра и модельном механизме формирования изображения пены как процесса рассеивания падающего на поверхность океана излучения совокупностью воздушных пузырьков. Процедура компьютерного синтеза состоит из следующих операций:

1. Задается исходная информация о процессе дистанционного зондирования, включающая следующие данные: характер метеоусловий (пасмурно/ясно), направление и скорость ветра, угловая высота солнца, высота наблюдения, диаметр апертуры и фокусное расстояние оптической системы, среднее значение структурной характеристики турбулентности, аэрозольная оптическая толщина атмосферы.
2. Определяются пространственное разрешение оптической системы и граница разбиения спектра волнения на мелкомасштабную и крупномасштабную части.
3. С помощью генератора случайных чисел моделируется набор случайных величин, имеющих гауссовское распределение, и имитируется реализация поля наклонов крупномасштабных волн.
4. Численно определяется компонента яркости, соответствующая вкладу крупномасштабных волн.
5. Аналитически рассчитывается яркость, обусловленная вкладом мелкомасштабных волн и пены.
6. Находится суммарная яркость всех компонент.
7. Генерируется случайное число и рассчитывается величина атмосферной флуктуации яркости.

8. Определяется результирующая яркость пиксела изображения с учетом атмосферной флуктуации.

Разработан информационно-моделирующий комплекс для решения задач исследования океана с помощью имитации процесса дистанционного зондирования. Дается краткая характеристика функциональных возможностей комплекса и приводятся примеры синтезированных изображений океана.

Излагается методика проведения вычислительных экспериментов по оценке и оптимизации наблюдаемости объектов и явлений в океане с использованием информационного моделирующего комплекса.

Разработан основанный на общих принципах статистической теории принятия решений информационный критерий для оценки наблюдаемости объектов на случайном фоне, обобщающий понятия обнаружения и идентификации и определяемый как среднестатистическое значение отношения функционала плотности вероятности суммарного поля яркости объекта и фона к функционалу плотности вероятности фона:

$$K(\vec{\alpha}, \vec{\beta}) = \left\langle \frac{P[U_{\Phi}(\vec{\rho}, \vec{\alpha}) + U_0(\vec{\rho}, \vec{\beta})]}{P[U_{\Phi}(\vec{\rho}, \vec{\alpha})]} \right\rangle, \quad (8)$$

где $U_{\Phi}(\vec{\rho}, \vec{\alpha})$ — распределение яркости фона; $U_0(\vec{\rho}, \vec{\beta})$ — распределение яркости объекта; $\vec{\alpha}$ — вектор параметров, описывающих условия наблюдения; $\vec{\beta}$ — вектор параметров состояния объектов; $P(U(\vec{\rho}))$ — функционал плотности вероятности, определяемый для гауссовских случайных полей соотношением

$$P(U(\vec{\rho})) = \exp \left\{ \int W(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2) \times \right. \\ \left. \times U(\vec{\rho}_1) U(\vec{\rho}_2) d^2 \vec{\rho}_1 d^2 \vec{\rho}_2 \right\}, \quad (9)$$

где $W(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2)$ — обратная корреляционная функция случайного поля $U(\vec{\rho})$.

Методика оптимизации наблюдаемости основывается на максимизации введенного критерия.

6. ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ АНАЛИЗА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Исходным объектом исследований является набор изображений некоторой фиксированной поверхности, полученных при различ-

ных физических условиях (точка наблюдения, освещенность, метеоусловия, длина волны, физические процессы на поверхности и т. д.). Аномальными участками изображения считаются те участки, которые в том или ином смысле отличаются от близлежащих участков, принимаемых за фон.

При определении аномальных зон возможны две крайние ситуации: первая — ситуация полной априорной неопределенности относительно характера аномалий; вторая — ситуация высокой априорной определенности, когда характер аномалий и «фона» достаточно хорошо описан и возможно считать, что аномалия принадлежит узкому классу сигналов. Во втором случае, используя свойства этого класса, часто представляется возможным выписать либо оптимальные (в различных смыслах) алгоритмы обнаружения аномалий, либо достаточно эффективные (этим задачам посвящено очень большое количество работ).

Значительный практический интерес представляет задача обнаружения, выявления аномалий в условиях частичной априорной неопределенности, занимающая промежуточное положение между двумя первыми.

В соответствии с концептуальной схемой системы анализа АЯ предлагается трехуровневая обработка АКИ с целью выделения АЯ и их идентификации (рис. 2).

На первом уровне происходит первичная обработка АКИ, заключающаяся в простых операциях общего характера, таких как: геометрическая привязка АКИ, контрастирование, фильтрация помех, эквализация и т. д.

На втором уровне осуществляется выделение АЯ на фоне стохастического случайного процесса или детерминированном фоне и принимается решение о наличии АЯ. Для обнаружения аномальных участков применяются специальные алгоритмы, учитывающие статистическую достаточность и априорные сведения. В случае отсутствия последних задача обнаружения резко усложняется.

Первый и второй уровень реализуются автоматически ЭВМ при соответствующей программной поддержке.

На третьем уровне обработки участвует человек. На этом уровне человеку в диалоговом режиме предоставляется значительное количество АКИ с аномальными зонами. В диалоге с человеком определяется несколько априорных классов, к которым предположительно могут принадлежать аномалии. Для каждого класса АЯ определяется соответствующий фильтр.

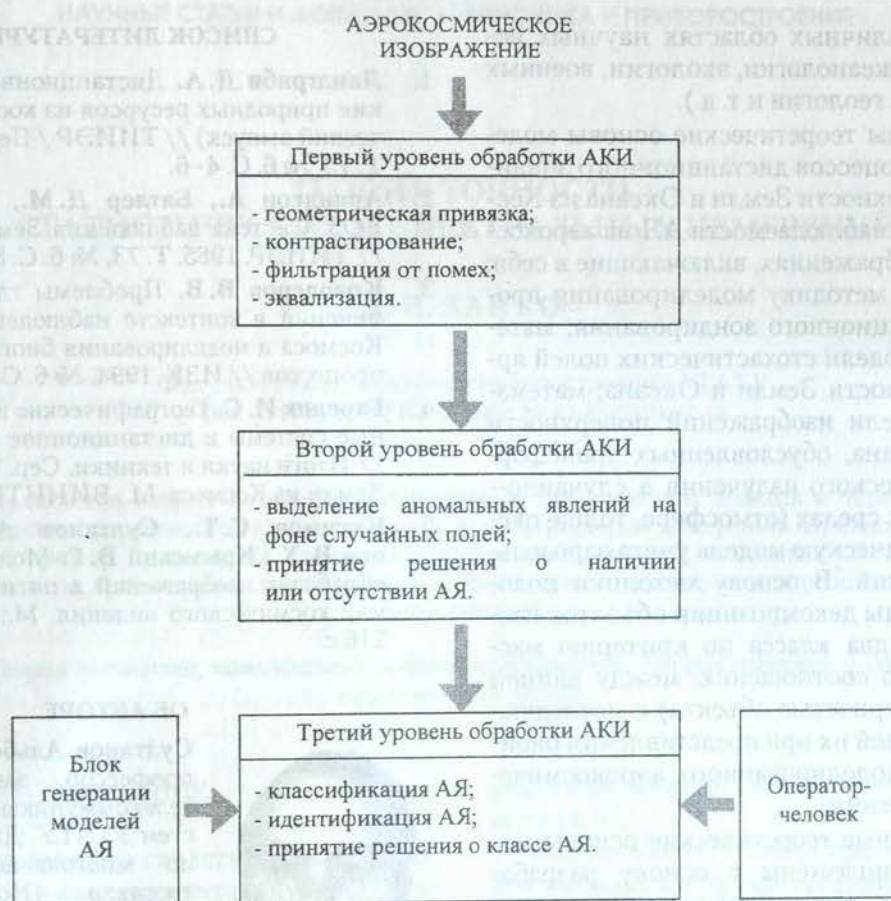


Рис. 2. Трехуровневая схема обработки АКИ с целью выделения и классификации АЯ

На основе анализа методов классификации аэрокосмических изображений предложены математические методы автоматической классификации изображений, алгоритмы автоматической классификации многоспектральных АКИ, методы контролируемой и неконтролируемой классификации АКИ.

В соответствии с постановкой задачи обнаружения АЯ как стохастических текстур на фоне случайных полей в работе рассмотрены способы обнаружения АЯ с использованием методов поиска «разладок» случайных процессов, проведен анализ методов поиска «разладки» случайных процессов, используемых для обнаружения АЯ на фоне стохастических полей, представленных на аэрокосмических изображениях.

Задача о «разладке» в статистической постановке, по существу, сводится к задаче проверки гипотезы H_0 об однородности двух выборок. В работе рассмотрены непараметрические алгоритмы проверки гипотезы H_0 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье даны основы проектирования и исследования информационных систем анализа аномальных явлений по данным аэрокосмического дистанционного зондирования поверхности Земли и Океана с целью наблюдения ее текущего состояния.

В отличие от существующих концепций данная методология базируется на системном подходе к формированию структуры информационных систем анализа АЯ, позволяющем собрать в единую систему информационные процессы отображения, обнаружения, идентификации и интерпретации аномальных явлений на фоне подстилающей поверхности, имеющих различную математическую природу (детерминированную, стохастическую, непрерывную, дискретную и т. д.).

Использование данной концепции позволяет принципиально решить проблему повышения эффективности анализа АЯ более широкого класса и построить новую структуру информационных систем анализа АЯ, а также распространить полученные результаты, применить предложенную информационную

систему в различных областях научных исследований (океанологии, экологии, военных приложениях, геологии и т. д.).

Разработаны теоретические основы моделирования процессов дистанционного зондирования поверхности Земли и Океана из Космоса с учетом наблюдаемости АЯ на аэрокосмических изображениях, включающие в себя: концепцию и методику моделирования процессов дистанционного зондирования; математические модели стохастических полей яркости поверхности Земли и Океана; математические модели изображений поверхности Земли и Океана, обусловленных трансформацией оптического излучения в случайно-неоднородных средах (атмосфере, толще океана); математическую модель учета аэрозольных проявлений. В основу методики положены принципы декомпозиции объектов изображения на два класса по критерию масштабности (по соотношению между длиной волны и размерностью объекта) с последующей интеграцией их при представлении окончательного смоделированного аэрокосмического изображения.

Разработанные теоретические основы моделирования положены в основу разрабатываемой информационной системы анализа аномальных явлений по данным аэрокосмического дистанционного зондирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландгриби Д. А. Дистанционное зондирование природных ресурсов из космоса (тематический выпуск) // ТИИЭР / Пер. с англ. 1985. Т. 73, № 6. С. 4–6.
2. Арвидсон А., Батлер Д. М., Хартли Р. Э. EOS: Система наблюдения Земли 90-х годов // ТИИЭР. 1985. Т. 73, № 6. С. 86–92.
3. Козодеров В. В. Проблемы глобальных изменений в контексте наблюдений Земли из Космоса и моделирования биогеофизических процессов // ИЗК. 1994. № 6. С. 51–67.
4. Гарелик И. С. Географические информационные системы и дистанционное зондирование // Итоги науки и техники. Сер. Исследование Земли из Космоса. М.: ВИНТИ, 1989. Т. 3.
5. Кусимов С. Т., Султанов А. Х., Багманов В. Х., Крымский В. Г. Моделирование и обработка изображений в оптических системах космического видения. М.: Наука, 1999. 216 с.

ОБ АВТОРЕ

Султанов Альберт Ханович, профессор, зав. кафедрой телекоммуникационных систем УГАТУ. Дипл. инженер по многоканальной электросвязи (Новосибирский электротехнический ин-т связи, 1973), д-р техн. наук (УГАТУ, 1996). Исследования в области оптоэлектронных аэрокосмических систем.



Информация

Электронные библиотеки мира (продолжение со с. 138)

Библиотека УГАТУ предлагает подборку адресов электронных хранилищ научной информации.

Институт научной информации по общественным наукам РАН	www.inion.ru/product/dt.htm, edd.htm
Газеты и журналы по образованию	www.informica.ru/text/magas/
Научные и научно-популярные газеты и журналы	www.mpei.ac.ru/libr/periodnew.htm
Энциклопедические издания на русском языке	encyclopedia.ru/internet.html
Энциклопедия мировой авиации	www.cofe.ru/Avia/
Энциклопедия банковского дела	www.cofe.ru/Avia/
Энциклопедия управления (бизнес, финансы, менеджмент, и др.)	www.cfin.ru
Энциклопедия космонавтики	pereplet.ru/
Каталог «Правополитен» (налоги, право, бухгалтер и др.)	pravopoliten.ru
Справочник по технике ALL-IN-ONE	sci.aha.ru/ALL/index.htm
Словари общей тематики	www.study.ru/dict.htm
Словарь Брокгауз Online	russia.agama.com/bol/
Универсальная энциклопедия «Кирилл и Мефодий»	mega.km.ru/bes_98/
Энциклопедия «Народы и религии мира»	www.cbook.ru/peoples/about/electvers.html
Справочник по речевому этикету	chat.ru/~dasign/etiket/
Справочник УАНОО	www.yahoo.com/
Словарь произношений «Логос»	www.logos.it/query/query.html

(Продолжение на с. 188)