

**ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«АЗЕРБАЙДЖАН ХАВА ЙОЛЛАРЫ»  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ**

---

*На правах рукописи*

**ДЖАВИД ГУРБАНАЛИ оглы ДАРЬЯБАРИДЖАВАД**

**ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКТАЦИИ  
БОРТОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

3324.07 - дистанционные аэрокосмические исследования

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора философии по технике

**БАКУ – 2016**

Работа выполнена в Институте Космических Исследований  
Природных Ресурсов Национального Аэрокосмического Агентства

**Научный руководитель:** доктор технических наук,  
профессор **Т.И. Сулейманов**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
доцент **К.Х. Исмаилов**

кандидат технических наук,  
доцент **Ф.А. Мирзоев**

**Ведущая организация:** Кафедра «Приборостроительная  
инженерия» Азербайджанского  
Государственного Университета  
Нефти и Промышленности

Защита состоится « 07 » \_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ 2016 г. в 14<sup>00</sup> часов  
на заседании Диссертационного Совета В/D 06.001, созданного при  
Национальной Академии Авиации (НАА) по адресу: AZ 1045, г.Баку,  
проспект Мардакан 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НАА.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый Секретарь  
Диссертационного Совета В/D 06.001,  
д.ф. по технике, доцент

**С.Б. Габидуллаев**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Для Азербайджана, отличающегося разнообразием климатических условий, своим благоприятным географическим положением в последние годы стали характерными ряд стихийно-разрушительных явлений, в том числе наводнения, сели, оползни, процессы эрозии, подземные толчки и т.д.

Ввод в эксплуатацию новых энергетических и коммуникационных сетей, обновление в связи с этим на современном уровне элементов наземной инфраструктуры оказали значительное воздействие на тенденцию изменения ряда факторов, формирующих экологическое состояние. В результате возникли ряд экологических проблем и это выдвинуло актуальный вопрос о необходимости создания единой системы контроля на основе оперативных космических данных, наблюдения над растительными и водными объектами, подземными и надземными ресурсами, промышленными и производственными зонами и другими элементами инфраструктуры.

**Состояние проблемы.** После обретения Азербайджаном независимости в Национальном Аэрокосмическом Агентстве (НАКА) были осуществлены ряд международных проектов, приняты необходимые меры для расширения сотрудничества с известными космическими центрами.

Однако, несмотря на все эти достижения, по причине отсутствия единой программы регулирования стратегии развития космической деятельности Азербайджана и спутника дистанционного зондирования (ДЗ), не было отведено особое место для выполнения масштабных проектов.

Именно Распоряжением Президента Азербайджанской Республики Ильхама Алиева «О создании в Азербайджанской Республике космической промышленности и ввода в орбиту телекоммуникационных спутников», подписанного 04 ноября 2008 года, начался новый этап в развитии космического природоведения, были определены перспективные направления. Позднее распоряжением Президента от 17 августа 2009 года была утверждена «Государственная программа по созданию и развитию космической промышленности в Азербайджанской Республике». И поэтому выполнение диссертационной работы, посвященной решению прикладных задач, характерных по своей значимости для нашей Республики, проведению технико-экономического обоснования для эффективной организации деятельности

спутника ДЗ, эксплуатация которой предусмотрена в соответствии с Государственной программой, имеет особую актуальность.

**Цель и задачи работы.** Основной целью диссертационной работы является разработка методов аналитико-статистической оценки информационных показателей бортовых съемочных систем, обеспечивающих решение практических задач аэрокосмического мониторинга окружающей среды (АКМОС) Азербайджана в рамках Государственной программы.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе были решены следующие задачи:

1. Определение основных факторов, характеризующих эффективное функционирование системы АКМОС для космических съемочных комплексов разного класса.

2. Разработка методики определения требуемого времени для полной съёмки в задачах аэрокосмического мониторинга, вычисление количества периодов, охватывающих территорию Азербайджана.

3. Вычисление массы конструктивных элементов спутника ДЗ, обеспечивающих решение задач АКМОС.

4. Математико-статистическая оценка вероятности правильного распознавания объектов на основании космических данных, в зависимости от их протяженности.

5. Проведение математико-статистического расчета связей между периодами наблюдений и размерами объектов, также между шириной полосы захвата и высотой полёта, при решении задач ДЗ.

6. Разработка методики определения оптимальных комбинаций информативных спектральных диапазонов.

7. Определение технико-экономических показателей космических систем экологического мониторинга и состава бортовой измерительной системы.

8. Решение некоторых прикладных задач АКМОС и автоматизированное картографическое представление результатов обработки.

**Методы исследования.** При выполнении работы были использованы элементы теории вероятности, методы математико-статистического анализа, методики систематизации первичных данных и обработка космической информации, технологии Геоинформационной Системы (ГИС), теория дифференциального вычисления и методы электронно-картографического представления изображений.

**Научная новизна:**

1. На основе анализа задач, вытекающих из Государственной

Программы по созданию и развитию космической промышленности, определена структура функционирования системы АКМОС.

2. Впервые в прикладных задачах ДЗ, характерных для Азербайджана была предложена методика расчёта времени и количество периодов, обеспечивающих полную съёмку территории.

3. Проведены модельные расчёты определения масс общей конструкции спутника и её составных элементов, обеспечивающих решение задач АКМОС.

4. Предложен алгоритм оценки функции вероятности правильного распознавания объектов и процессов различной протяженности, характерных для Азербайджана.

5. Проведено компьютерное моделирование аналитико-статистических связей между количеством суток требуемой для полной съёмки и высотой полета, а также полосой захвата.

6. Впервые были определены функциональные зависимости факторов, характеризующих экономическую эффективность создания системы АКМОС в Азербайджане и информационные характеристики бортового измерительного комплекса.

7. Предложен метод комплектации бортового измерительного комплекса, вычислены значения коэффициентов корреляции фактор-диапазон, формирующие индикаторные особенности объектов.

8. Решены ряд прикладных задач АКМОС, связанные с Каспийским морем, наводнениями и т.д., разработаны методы электронного картографического представления основных факторов, характеризующих экзогенные процессы лесных растений и ландшафтных типов.

#### **Практическая ценность работы.**

1. Систематизация характерных для Азербайджана прикладных задач ДЗ, классификация измерительных комплексов по их функциональным возможностям даст возможность определения практического направления задач АКМОС в рамках Государственной программы по созданию и развитию космической промышленности.

2. Статистическая оценка технических особенностей съёмочных комплексов, моделирование показателей масс отдельных конструкций даст основание выбора орбитальных параметров проектируемого спутника ДЗ.

3. Аналитические выражения зависимостей между факторами, характеризующими эффективность системы АКМОС, будет иметь особое значение при проведении наблюдений по протяженности природных объектов, характерных для Азербайджана, при усовершен-

ствовании процедур приема и архивизации информации.

4. Решенные практические задачи АКМОС создадут новые возможности при определении перспективных направлений, формирующих стратегическую цель инфраструктуры космической промышленности в нашей Республике.

#### **Основные положения, выносимые к защите.**

1. Требования к пространственному разрешению и спектральным диапазонам по основным факторам, определяющим структуру функционирования системы АКМОС.

2. Результаты модельных расчетов требуемого времени, количество периодов, необходимой для полной съемки территории Азербайджана, и также между массами общей конструкции спутника ДЗ и составляющими его элементами для измерительных комплексов, имеющих различные полосы захвата.

3. Методика и вычислительный алгоритм вероятно-статистической оценки правильного распознавания объектов и процессов различной протяженности.

4. Результаты компьютерного моделирования аналитико-статистических связей между числом суток, требуемых для полной съемки с различной высоты полета и шириной полосы захвата в задачах аэрокосмического мониторинга.

5. Функциональные зависимости факторов, характеризующих эффективность создания системы АКМОС и информационные характеристики бортовых измерительных систем.

6. Структура бортовых измерительных комплексов аэрокосмического мониторинга, значения коэффициентов корреляции, характеризующих индикационные особенности объектов.

7. Методы решения прикладных задач АКМОС и электронно-картографического представления результатов.

**Реализация результатов работы.** Основные результаты диссертационной работы были реализованы в нижеследующих научно-исследовательских работах (НИР), выполненных в НАКА в 2009-2011 годах с непосредственным участием автора:

- Оценка экологической безопасности лесного покрова в чрезвычайных ситуациях (отчет НИР, шифр «Лес-3», г. Баку, 2009 г. - 25 с.);

- Моделирование оптимальных съёмочных условий и определение информационных параметров техногенных объектов (отчет НИР, шифр «Калибр», г. Баку, 2010 г. - 36 с.);

- Исследования экологического состояния береговой зоны

Южного Каспия на основе технологии географических информационных систем (отчет НИР, шифр «Берег», г. Баку, 2011 г. - 94 с.).

**Обсуждение работы.** Основные положения диссертационной работы были обсуждены в Научно-Техническом Совете Института Космических Исследований Природных Ресурсов НАКА, а также в нижеследующих научно-технических конференциях и форумах: «The Annual Seminar of ISNET and Seventh Governing Body Meeting», Tunis/Tunisia, 2008; «The 13<sup>th</sup> Session of the Intergovernmental Consultative Committee on the Regional Applications Program for Sustainable Development and Expert Group Meeting», Bangkok/Thailand, 2009; «Workshop on SAR and optical Data for Natural Resources and Environmental Management», Damascus/Syria, 2009; «United Nations/United Arab Emirates/United States of America Workshop on the Applications of Global Navigation Satellite Systems», Dubai/United Arab Emirates, 2011; «Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям - IS&IT, 11», Дивноморское/Россия, 2011; «The 60<sup>th</sup> Anniversary Celebration of International Astronautical Federation that held at the UNESCO Headquarters in Paris», Paris/France, 2011; «United Nations/Malaysia Expert Meeting on Human Space Technology», Putrajaya/Malaysia, 2011; «Global Space Exploration Conference», Washington, DC, USA, 2012.

**Опубликованные работы.** На тему диссертационной работы были опубликованы 17 научных работ.

**Структура и объем работы.** Работа по структуре состоит из введения, 4-х глав, выводов и списка использованной литературы. Диссертационная работа в целом изложена на 191 страницах, содержит 18 таблиц, 12 рисунков и список использованной литературы из 109 наименований.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В введении** обоснована актуальность темы, сформированы цель и основные задачи исследования, изложены новизна, практическая ценность и реализация полученных результатов.

**В первой главе** систематизированы направления исследований, осуществлённые в сфере космической деятельности для создания системы экологического мониторинга, охарактеризованы основные факторы, формирующие эффективную организацию начальной базы инфраструктуры космической промышленности.

Дано схематическое представление связей между периодами

наблюдений и протяженностью исследуемых объектов для съемочных комплексов, разделённых на 3 основные класса (*A* – фундаментальный, *B* – оперативный, *C* – постоянный (рис.1).

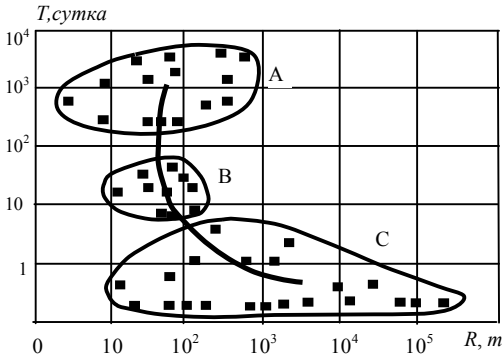


Рис.1. Схематическое представление связей между периодичностью наблюдений космических комплексов и протяженностью объектов в задачах аэрокосмического мониторинга окружающей среды

Требуемая периодичность наблюдения -  $T$ , пространственное разрешение -  $R_a$  и границы спектральных интервалов съемочных систем были выбраны в базе обобщенных подходов. Это в свою очередь дало возможность рассчитать связи между интервалом изменения естественных размеров объекта исследования -  $R$  и периодичностью наблюдения -  $T$  на примере практических задач, характерных для Азербайджана.

Для представления закономерности пространственного распределения параметров  $T$  и  $R$ , усредненные значения по количеству элементов множества  $A, B, C$  были в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{T}_A &= 3,5 \text{ года}, & \bar{T}_B &= 10 \text{ суток}, & \bar{T}_C &= 0,5 \text{ суток}, \\ \bar{R}_A &= 100 \text{ м}; & \bar{R}_B &= 50 \text{ м}; & \bar{R}_C &= 10^3 \text{ м}. \end{aligned}$$

Показана неэффективность спутников, предусмотренных для распознавания объектов с большой периодичностью ( $T \geq 10^3$  суток) и с крупной протяженностью ( $R \geq 10^3$  м).

Далее получены аналитические выражения, устанавливающие возможное количество периодов за сутки и фрагментов, полностью охватывающих Земную поверхность в зависимости от ширины полосы захвата.

Если высота полета в апогее и перигее составляет соответственно  $H_{ap}=1000$  км и  $H_{pe}=400$  км, радиус Земли  $R_l=6378$  км, скорость спутника  $V=28260$  км/час, то в одном периоде длина траектории полета спутника определена как  $C_{or} \approx 2\pi((H_{pe}+H_{ap})/2+R_l)$ , время потраченное для каждого периода  $C_{or}/28260$ , число периодов за сутки  $(24 \cdot 28260):C_{or}$



Для значений 50, 100, 150, ... ,800 км ширины полосы захвата вычислены время, требуемое для полного охвата съемки Земной поверхности, общее число периодов, площадь съемки за сутки.

Аналогично, число периодов, требуемых для осуществления полной съемки территории Азербайджана было вычислено в зависимости от ширины полосы захвата. С учетом масштаба охвата локальных экологических задач, ширину полосы захвата было целесообразно выбрать из интервала  $B \in [8; 150 \text{ км}]$ . Срок активной съемки ( $T_1, T_2$ ) и число съемочных трасс для каждого условно принятого направления определена как  $N_1=500/B$  и  $N_2=400/B$  (табл.1).

Таблица 1. Количество двунаправленных периодов и требуемое время, обеспечивающее полную съемку территории Азербайджана

$B, \text{ км}$	8	16	30	60	90	110	130	150
$N_1=500/B$	62,5	31,3	16,7	8,3	5,3	4,5	3,8	3,3
$N_2=400/B$	50,0	25,0	13,3	6,7	4,4	3,6	3,1	2,7
$T_1, \text{ мин.}$	54,0	27,0	14,4	7,2	4,8	3,8	3,3	2,9
$T_2, \text{ мин.}$	52,5	26,3	14,0	7,0	4,5	3,7	3,2	2,8

**Во второй главе** решением уравнений связей основных характеристик вычислены значения весовых-габаритных показателей -  $m_i$  ( $i=1,2,\dots,7$ ) отдельных элементов конструкции. Аналитические зависимости между общей массой спутника -  $m_0$  и  $m_i$  систематизированы на основе данных, взятых из разных источников и их значения в интервале  $m_0 \in [400; 1000 \text{ кг}]$  вычислены в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 29,3 + 0,11 \cdot m_0 - 0,000021 \cdot m_0^2, & m_5 &= 10,7 + 0,09 \cdot m_0 + 0,0000128 \cdot m_0^2, \\
 m_2 &= -2,22 + 0,37 \cdot m_0 - 0,000085 \cdot m_0^2, & m_6 &= -12,7 + 0,25 \cdot m_0 - 0,000104 \cdot m_0^2, \\
 m_3 &= 19,95 + 0,0067 \cdot m_0 + 0,0000148 \cdot m_0^2, & m_7 &= -4,42 + 0,12 \cdot m_0 - 0,00003 \cdot m_0^2, \\
 m_4 &= -26,31 + 0,21 \cdot m_0 - 0,0000415 \cdot m_0^2,
 \end{aligned}$$

Сложив эти системы уравнений и решив уравнение

$$0,0002539 \cdot m_0^2 - 0,1567 \cdot m_0 - 14,3 = 0 \quad (1)$$

стало ясно, что при  $m_0 = 700 \text{ кг}$ , сумма масс отдельных элементов конструкции принимала значение очень близкое к этой цифре ( $m_0 \approx 697,87 \text{ кг}$ ).

При  $m_0 < 400 \text{ кг}$  определены экстремальные точки параболы  $y(m_0) = 0,0002539 m_0^2 - 0,1567 m_0 - 14,3$ . При условии  $dy(m_0)/dm_0 = 0$  вычислено, что  $m_0' \approx 308,60$ ,  $y(m_0') \approx -38,48$  и учитывая, что точки пересечения с осью  $\overline{om_0}$   $m_{01} = 697,87$  и  $m_{02} = -80,7$ , получено графическое представление (рис.2).

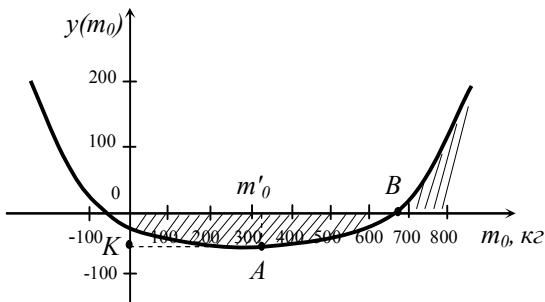


Рис.2. Схематическое представление различия суммы масс конструктивных элементов от общей массы спутника (A – вершина параболы)

Далее в этой главе дана методика оценки вероятности правильного распознавания объектов и процессов в зависимости от пространственного разрешения космических съемочных систем. Поскольку в общем виде правильное наблюдение природных процессов и объектов хорошо аппроксимируются с законом логарифмическо-нормального распределения, в зависимости от значений  $R$ , функция вероятности выражена как

$$P(u_i) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u_i} e^{-t^2/2} dt. \quad (2)$$

Здесь  $u_i = (\lg R_i - \overline{\lg R}) / \sigma \lg R$ ,  $\overline{\lg R}$  - математическое ожидание возможных размерностей объектов и процессов,  $\sigma \overline{\lg R}$  - среднее квадратическое отклонение  $\lg R$ ,  $i=1, \dots, N$  - количество объектов и процессов различных протяженностей.

Для обеспечения наглядности рассматриваемой задачи, объекты и процессы разделены на 6 интервалов, таких как  $R_1 \in [2; 18 \text{ м}]$ ,  $R_2 \in [5; 45 \text{ м}]$ ,  $R_3 \in [15; 100 \text{ м}]$ ,  $R_4 \in [50; 450 \text{ м}]$ ,  $R_5 \in [100; 550 \text{ м}]$ ,  $R_6 \in [1000; 5000 \text{ м}]$  и данные включены в процедуры вычисления. Составлен алгоритм вычисления вероятности правильного распознавания объектов, характерных для Азербайджана (рис.3).

В расчётных процедурах  $R_i (i=1, \dots, 6)$  - протяженность характерных объектов серии  $i$ ;  $\Phi_2(u_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{u_i} e^{-t^2/2} dt$  - значения интеграла вероятности, взятые из базы данных,  $P(u_i)$  - вычисленные значения вероятности распознавания объектов (рис.3). В графическом представлении отражены только систематизированные конечные значения результатов вычислений  $u_{ij}$  и  $P(u_{ij})$  (рис.4).

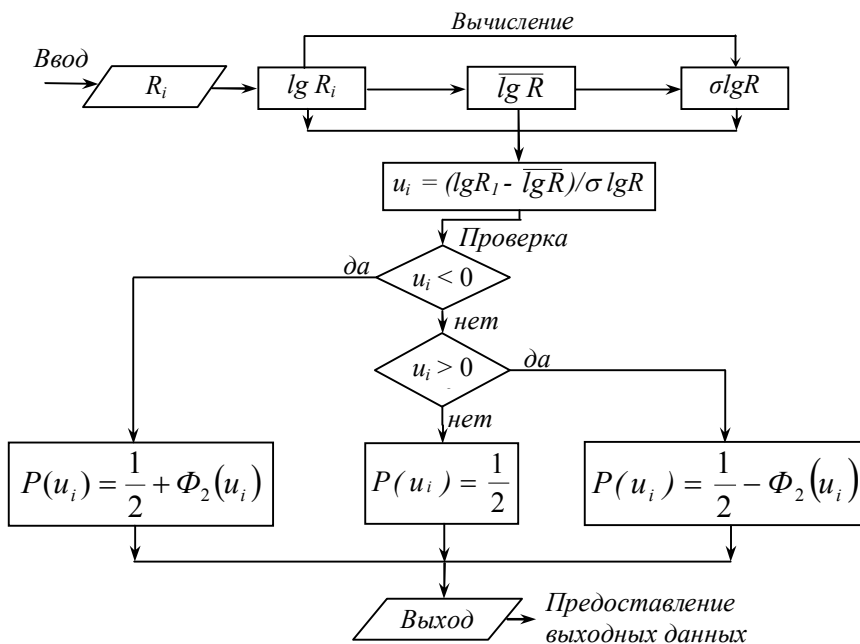


Рис.3. Алгоритм вычисления вероятности правильного распознавания объектов и процессов различной протяженности

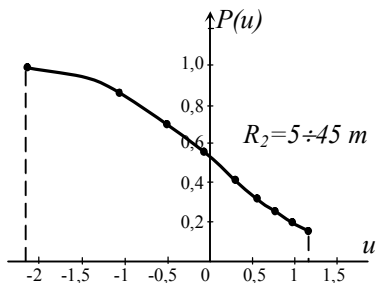


Рис.4. Тенденция изменения вероятности правильного распознавания природных объектов и процессов в различных интервалах изменения их протяженностей при условии  $R_a < R_i$ :  
 $u \approx -2,14 \div 1,14$ ;  
 $P(u) \approx 0,984 \div 0,127$ .

Таким образом, проведена классификация объектов, соответствующих максимуму и минимуму значений функции  $P(u)$ .

Затем предложена процедура вычисления количества суток -  $N$ , требуемых для полного охвата Земной поверхности в зависимости от ширины полосы захвата -  $B$  и высоты полёта -  $H$ . В первую очередь определена закономерность размещения в плоскости  $ROT$  протяженности объекта -  $R$  и периодичности наблюдения -  $T$  для каждой задачи (рис.5).

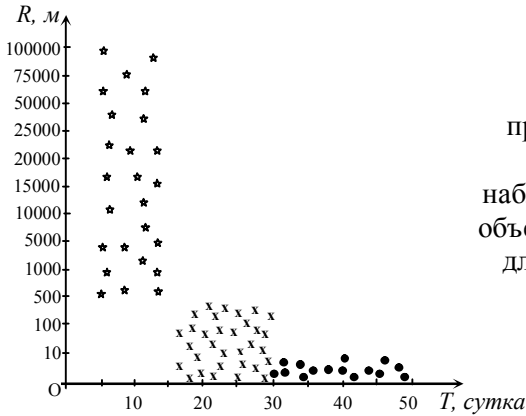


Рис.5. Схематическое представление зависимости между периодичностью наблюдений и протяженностью объекта в решении характерных задач ДЗ для Азербайджана:

- \* - 1-й тип, x - 2-й тип,
- - 3-й тип задач.

Приблизительное выражение зависимости между величинами  $N$ ,  $B$  и  $H$  аналитически представлено в следующем виде:

$$N = 200 \cdot B^{-3/4} \cdot H^{1/5}. \quad (3)$$

Для проверки точности уравнения (3) процедура вычисления при значениях  $B = b_i : 10, 80, 100, 150, 180, 200, 250, 300$  км;  $H = h_j : 200, 350, 400, 600, 700, 850, 900, 1000, 1200$  км выполнена с помощью программного обеспечения EXCEL (рис.6).

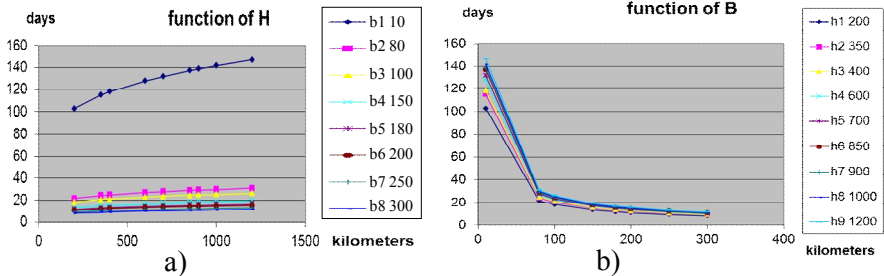


Рис.6. Зависимость количества суток, требуемых для полной съемки от высоты полёта спутника (а) и от ширины полосы захвата (б)

**В третьей главе** рассмотрена методика оценки технических показателей комплектации съемочных систем, обеспечивающих решение практических задач ДЗ для Азербайджана. Дано систематическое представление спектральных диапазонов, которые могут применены в решении практических задач ДЗ, характерных для нашей Республики. Общее число спектральных интервалов по 20 спектрофотометрическим измерительным системам, произведенных в различных странах составило  $M = 98$ . Для всех измерительных систем было про-

ведено разделение спектральных диапазонов по минимальным -  $\lambda_{min}$  и максимальным значениям -  $\lambda_{max}$  длины волны, также определено количество каналов -  $m_i$  попадающих на каждый случайный интервал.

Сложность измерений -  $T$  в зависимости от количества спектральных диапазонов -  $S$  и от количества -  $K$  объектов, включенных в классификацию выражена формулой  $T=K^S$ . В первую очередь, проведено разделение спектральных диапазонов измерительных систем, определено количество каналов -  $m_i$ , попадающих в каждый интервал и вычислена гистограмма в виде  $h_i=(m_i/M) \cdot 100\%$  (рис.7).

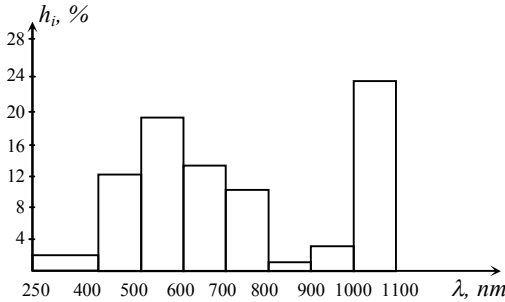


Рис.7. Гистограмма распределения спектральных диапазонов (каналов) по длине волны

Если вместо параметра  $K$  взять количество решаемых задач, тогда степень сложности измерений для  $S=2$  и  $S=S_{max}$  вычислена следующим образом:

$$\text{Если } K=2, \quad T=2^2, \quad T_{max}=2^{S_{max}}, \quad L_2=2^{S_{max}-2},$$

$$\text{Если } K=4, \quad T=4^2, \quad T_{max}=4^{S_{max}}, \quad L_4=4^{S_{max}-2}.$$

Полученные результаты вычислений показали, что значения  $L_4$  достаточно высоки по сравнению со значениями  $L_2$  и для съемочных систем, в которых число спектральных диапазонов больше, эта разница увеличилась ещё больше (табл.2). Таким образом комплектация типов съемочных систем, обеспечивающих решение задач АКМОС считалась более целесообразной (рис.8).

Также в этом разделе на примере почвенно-растительных (П-Р) объектов проведен корреляционный анализ между количественными показателями факторов и спектральными образами, выбраны информативные спектральные каналы.

В видимой области спектра ( $\lambda_i \in [425; 775 \text{ nm}]$ ) коэффициенты корреляций между показателями спектральной яркости -  $D$  участка посева зерна и фактическими измерениями -  $x$  вычислены следующим образом:

$$\bar{x} = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} x_i ; \quad \bar{D} = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} D_i ; \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} (x_i - \bar{x})^2} ;$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} (D_i - \bar{D})^2} ; \quad r(x, D) = \frac{\sum_{i=1}^{16} (x_i - \bar{x})(D_i - \bar{D})}{16 \cdot \sigma_x \cdot \sigma_D} .$$

Для каждого спектрального канала индикационные особенности параметров растений представлены в наглядной форме, и в результате вычислений отобраны только коэффициенты корреляции с высокими абсолютными значениями.

Таблица 2

Степень сложности используемых диапазонов спектрофото-метрических измерительных систем относительно двух диапазонов

Название съёмочной системы	$S_{max}$	Сложность классификации для всех каналов, $T$		Степень сложности относительно 2-х диапазонов, $L$	
		$K=2$	$K=4$	$K=2$	$K=4$
Камера <i>HRG</i> ; Тематический картограф <i>TM</i> ; Радиометр <i>ATSR</i>	7	$2^7$	$4^7$	32	1024
Радиометр <i>VGT</i> ; Камеры <i>LISS-1,2,3</i> ; Сканер <i>MSS-2</i> ; Камера <i>HRVIR</i>	4	$2^4$	$4^4$	4	16
Радиометр <i>AVNIR</i> ; Камера <i>CCD</i> ; Сканер <i>MCY-CK</i>	5	$2^5$	$4^5$	8	64
Спектрометр <i>ILAS</i> , Сканер <i>MCY-Э</i> , Сканер <i>MSS</i> ; Спектрометр <i>GOMOS</i>	3	$2^3$	$4^3$	2	4
Камера <i>WFI</i>	2	$2^2$	$4^2$	1	1
Спектрометр <i>SCIAMACNY</i>	8	$2^8$	$4^8$	64	4096

**Примечание:** В случае 2-х тематических слоев сложность измерения для 2-х диапазонов вычисляется как  $T=2^2$ , а если число слоев составляет 4, сложность измерения вычислены как  $T = 4^2 = 16$



Рис.8. Схема оптимальной комплектации многозональных съёмочных систем, обеспечивающих решение задач АКМОС

В четвёртой главе решены ряд практических задач АКМОС и полученные результаты представлены в электронно-картографическом виде. В первую очередь на примере акватории Мингечаурского водохранилища на фоне изменений экзогенных геологических процессов и антропогенных факторов, проведена классификация основных элементов, определяющих геоэкологические условия с использованием космических снимков и топографических карт (рис.9, рис.10).

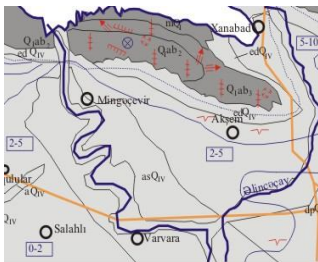


Рис.9. Гидрогеологическая карта-схема исследуемой территории



Рис.10. Космическое изображение исследуемой территории (Digital Globe, 2009)

Проведена классификация уровня испарения по сезонам, которая имеет особую роль в формировании гидрометеорологического режима Каспийского моря. Обнаружено, что разница между количеством годового испарения для северного, среднего и южного Каспия составляет не больше 5-7%. На основе данных ДЗ предложена методика оценки параметров состояния прибрежной зоны. В качестве критерия устойчивости окружающей среды использован коэффициент чувствительности со значением, полученным по 20-ти балльной шкале:

$$ESI = CC + SG + CR + IP. \quad (5)$$

Здесь  $ESI$  - сумарный коэффициент чувствительности окружающей среды (1-20);  $CC$  - характерный коэффициент прибрежной зоны (1-5);  $SG$  - коэффициент, показывающий уровень покрытия побережья водной зарослью (1-5);  $CR$  - коэффициент уровня загрязнения побережья органическим углеродом (1-5);  $IP$  - коэффициент, характеризующий уровень важности рассматриваемой территории (1-5).

Проведена классификация лесов и других ландшафтных типов с выполнением процессов обработки улучшения фотометрического качества пикселей космических изображений. Данные, полученные с гистограммного преобразования, введены в таблицу *Look Up Table (LUT)* и использованы для генерации изображения и определены изменения яркостных значений пикселей (рис.11).



Рис.11. Результаты инструментальной обработки улучшения фотометрического качества космических изображений Шеки-Закатальского региона:

- a) Исходное космическое изображение в масштабе 1: 1 млн.;
- b) Качественно улучшенное изображение с помощью таблицы LUT

Также нашло свое отражение оценка ситуаций половодья и наводнения, все чаще возникающих за последние годы в нашей Республике. Для визуальной оценки территорий наводнения проведено сравнение космических изображений *Terra MODIS* (синтезированный в соотношении *RGB 2:1:3* и приведенной на пространственное разрешение 250 м), полученных до и после событий (рис.12). Определены координаты точек расположения защитных дамб, границы и площади территории наводнения, составлена тематическая электронная карта, характеризующая динамику затопленных площадей (рис.13).

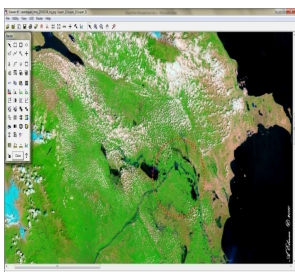


Рис.12. Изображение *Terra MODIS* исследуемой территории после селевых явлений (14.05.2010, *RGB 2:1:3*, разрешение 250 м)

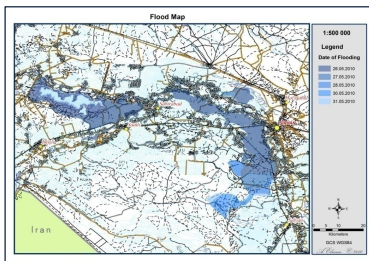


Рис.13. Электронная карта динамики затопленных территорий вдоль реки Кура

Для достижения более точного решения рассмотренной задачи рекомендовалось использование мультиспектральных и периодических космических данных высокого разрешения, которым отведено особое место в программе создания и развитии космической промышленности Азербайджана.



## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Определены среднестатистические связи между периодичностью наблюдений и протяженностей объектов исследования в значениях пространственного разрешения съемочных систем, изменяющихся в интервале  $0,5 \div 1000$  м, для характерных задач АКМОС Азербайджана.

2. Получены аналитические выражения определения требуемого времени для полной съемки, количество периодов и площадей съемки в заданных значениях ширины полосы захвата спутника ДЗ от 50 км до 800 км с шагом 50 км.

3. Предложен метод определения количества периодов двунаправленных съемок и требуемого времени по прямоугольному контуру 400 км x 500 км территории Азербайджана в соответствии с дискретным значением ширины полосы захвата системы космического зондирования в промежутке 8-150 км.

4. Дана геометрическая интерпретация параболических зависимостей между массами конструктивных элементов спутника ДЗ, в том числе целевых аппаратур и общей массой, изменяющейся в интервале  $400 \div 1000$  кг и по результатам модельных вычислений показано, что общая масса ближе к 700 кг является наиболее реальной.

5. Разработана методика логарифмическо-нормальной оценки вероятности правильного распознавания ( $P$ ) для 6 групп объектов, размерностью от 2 м до 5000 м с учетом пространственного разрешения съемочных систем и по результатам реализации соответствующего алгоритма определены  $P_{max} \approx 0,984$ ;  $P_{min} \approx 0,04$ .

6. Проведены модельные расчёты количества суток для полного захвата земной поверхности в значениях ширины полосы захвата  $10 \div 300$  км космических аппаратов, высота полета которых меняется в интервале от  $200 \div 1200$  км.

7. Разработана методика комплектации целевых аппаратур, обеспечивающих эффективное решение задач аэрокосмического мониторинга, характерных для Азербайджана на основе гистограммы распределения спектральных диапазонов в интервале  $400 \div 1100$  нм и корреляционных связей собственных параметров.

8. Решены некоторые практические задачи АКМОС и реализованы процедуры улучшения фотометрических качеств разномасштабных космических снимков на основе существующих возможностей космической инфраструктуры Азербайджана.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Сулейманов Т.И., Мамедалиева В.М., Дарьябариджавад Д.Г. Улучшение распознаваемости растрового изображения лесной растительности южного склона Большого Кавказа // Известия АНАКА, 2008, том 11, № 2 (11), с.20-25

2. Нагиев П.Ю., Талыбова С.С., Дарьябариджавад Д.Г., Азимова С.Р. История развития дистанционных исследований Земли и картирование природных ресурсов на основе обработки аэрокосмических фотоизображений // Известия АНАКА, 2008, том 11, № 3 (11), с.33-35

3. Сулейманов Т.И., Агаев Ф.Г., Саттаров Н.А., Дарьябариджавад Д.Г. Космические средства, используемые при мониторинге земли: спутники, микроспутники, наноспутники // Известия АНАКА, 2008, том 11, № 4(11), с.10-18

4. Керимов И.Д., Тахмазов Г.Х., Дарьябариджавад Д.Г., Алиева Г.С. Анализ системы контроля за состоянием питьевой воды в южном регионе Азербайджана // Известия АНАКА, 2009, том 12, № 1(12), с.30-33

5. Дарьябариджавад Дж.Г., Сулейманова Е.Д. Оценка влияния теневого эффекта в задачах тематической обработки спектрофотометрической информации // Известия АНАКА, 2009, том 12, № 4(12), с.20-24

6. Азизов Б.М., Дарьябариджавад Д.Г., Сулейманов Т.И. Принципы создания системы подспутникового и авиакосмического экологического контроля // Известия АНАКА, 2009, том 12, № 4(12), с.3-12

7. Омарова Г.Д., Абакаров А.М., Дарьябариджавад Д.Г. Изменение уровня испарения на Каспийском море и обуславливающие его факторы // Известия АНАКА, 2009, том 12, № 4(12), с.35-39

8. Дарьябариджавад Дж.Г. Исследование технико-экономических показателей при создании системы экологического мониторинга дистанционного зондирования // Известия АНАКА, 2010, том 13, № 1(13), с.17-21

9. Дарьябариджавад Дж.Г., Сулейманова Е.Дж. Основные принципы комплектации съёмочных систем для решения практических задач дистанционного зондирования // Известия АНАКА, 2010, том 13, № 2-3(13), с.22-29

10. Дарьябариджавад Дж.Г. Выбор спектральных диапазонов систем спектрофотометрических измерений в задачах аэрокосмичес-

кого мониторинга // Известия АНАКА, 2010, том 13, № 4(13), с.9-16

11. Мехтиев А.Ш., Сулейманов Т.И., Дарьябариджавад Дж.Г. Статистическая оценка индикационных особенностей собственных параметров растительных объектов по спектральным каналам // Известия АНАКА, 2011, том 14, № 2(14), с.18-24

12. Мехтиев А.Ш., Сулейманов Т.И., Дарьябариджавад Д.Г. Основные принципы комплектации измерительных приборов, обеспечивающих решение задач аэрокосмического мониторинга окружающей среды // Известия АНАКА, 2011, том 14, № 3(14), с.3-10

13. Сулейманов Т.И., Дарьябариджавад Дж.Г. Методика оценки вероятности правильного распознавания объектов и процессов в зависимости от пространственной разрешающей способности космических съемочных систем // Известия АНАКА, 2011, том 14, № 4(14), с.18-27

14. Гахраманова М.Р., Дарьябариджавад Д.Г., Годжаева Л.Ш., Мамедов А.Я. Об одном методе радиационного расчета с учетом многослойной модели атмосферы // Альтернативная энергетика и экология, НТЦ «ТАТА», 2012, № 01 (105), с.130-132

15. Райи А.П., Дарьябариджавад Д.Г., Сулейманова С.А., Мамедов А.Я. Методика оценки коэффициента чувствительности окружающей среды береговых зон с использованием спутниковых данных // Альтернативная энергетика и экология, НТЦ «ТАТА», 2012, № 01(105), с.127-129

16. Рагимов Р.М., Ширин-заде А.А., Дарьябариджавад Д.Г. Применение ГИС и космических снимков высокого разрешения для оперативного мониторинга чрезвычайных ситуаций / Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS & IT'11», «Физматлит», 2011, том 1, с.301-303

17. Пашаева М.М., Алескеров Э.Р., Дарьябариджавад Дж.Г., Мутталибова Ш.Ф. Оценка динамики развития наземных компонентов городской инфраструктуры на основе обработки космических снимков // Известия АНАКА, 2015, том 18, № 1(18), с.3-9

**ƏTRAF MÜHİTİN AEROKOSMİK MONİTORİNQİ  
MƏSƏLƏLƏRİNDƏ BORT-ÖLÇÜ SİSTEMLƏRİNİN  
KOMPLEKTLƏŞDİRİLMƏSİNİN SƏMƏRƏLİ PRİNSİPLƏRİ**

**XÜLASƏ**

Azərbaycanda kosmik sənayenin yaradılması və inkişafı üzrə Dövlət Proqramı çərçivəsində ətraf mühitin aerokosmik monitorinqi (ƏMAKM) sisteminin yaradılmasının müxtəlif praktiki məsələləri analiz edilmişdir. Bort-ölçü komplekslərinin səmərəli kompleksləşdirmə prinsiplərinin seçilməsi əsasında onların informasiya xarakteristikalarının qiymətləndirilməsi metodikası işlənmişdir. Yer səthinin tam çəkilişi üçün tələb olunan vaxtın, fraqmentlərin sayının, sahələrin təyini üçün analitik ifadələr alınmış, model hesablamaları əsasında onların qarşılıqlı əlaqələrinin dəyişmə tendensiyası qiymətləndirilmişdir. Azərbaycan üçün tipik aerokosmik monitorinq məsələlərindən asılı olaraq əhatə zolağının müxtəlif enlərində və ixtiyari istiqamətdə ayrı-ayrı çəkiliş kompleksləri nümunəsində obyektlərin ölçüləri ilə müşahidənin dövriliyi arasındakı qanunauyğunluq müəyyən edilmişdir.

Azərbaycan üçün xarakterik obyekt və proseslərin düzgün tanınma ehtimalının riyazi-statistik qiymətləndirmə prosedurası təklif olunmuş, realizə edilmiş alqoritmın nəticələrinə əsasən hər bir tip obyekt üçün ehtimal funksiyasının oxşarlıq qanunauyğunluğu müəyyənləşdirilmişdir.

Tədqiq edilən obyektlərin məxsusi parametrlərinin maksimum indikasiyasını və distansion spektrofotometrik sistemlərin layihələndirilməsinin operativliyini təmin edən faktor-diapazon korrelyasiya əlaqələri müəyyənləşdirilmiş, informativ spektral kanalların seçilməsi metodikası təklif edilmişdir.

Ekoloji monitorinq sisteminin yaradılmasının iqtisadi səmərəsini müəyyənləşdirən əsas parametrlər nəzərə alınmaqla məsafədən zondlamanın peyk kompleksinin sistemli layihələndirmə strukturu təklif edilmişdir.

ƏMAKM-in bir sıra tətbiqi məsələləri həll edilmiş, kosmik məlumatların avtomatlaşdırılmış emal nəticələrinə görə yaradılmış çoxlaylı tematik elektron xəritələr ekzogen proseslərin qiymətləndirilməsinə, subasmaların sərhədlərinin müəyyənləşdirilməsinə və meşə bitkilərinin inventarlaşdırılmasına imkan vermişdir.

**J.G.Daryabarijavad**

**EFFECTIVE INTEGRATION PRINCIPLES  
OF ONBOARD MEASURING SYSTEMS IN PROBLEMS OF  
AEROSPACE MONITORING OF ENVIRONMENT**

**SUMMARY**

Within the Government Program on creation and development of the space industry in Azerbaijan the practical problems of creation of the system for aerospace monitoring of environment (SASME) are analysed. On the basis of a choice of effective principles of an integration for onboard measuring complexes the technique of an estimation for their information characteristics is developed.

Analytical expressions for definition of area, quantity of fragments and required time for full shooting of the Earth surface are received, and on the basis of modelling calculations the tendency of their interrelation is estimated. Depending on the aerospace monitoring problems typical for Azerbaijan the law between extent of objects and periodicity of observation of various shooting complexes in arbitrary directions and for various width of a coverage zone is defined.

Procedures of a mathematical-statistical estimation of probability of correct recognition of objects and processes characteristic for Azerbaijan are offered, the algorithm for revealing of the law of the similarity of the probability function changing for each type of objects are realised.

The technique for choice of informative spectral channels is offered, and also the factor-range correlation relations providing the maximum indication of own parameters of investigated objects and efficiency of designing for remote spectrofotometric systems are defined.

Taking into account the key parameters defining economic efficiency of creation of ecological monitoring system, the structure of factors for system designing of a remote sensing satellite complex is offered.

Some applied problems of creation SASME are solved, the multilayer thematic electron maps are obtained on the basis of the results of automated processing of the of the various resolution space information. These maps allow to estimate exogenous processes, to study dynamics and to define borders of distribution of flooding, to carry out the inventory of forest plants.

---

Подписано в печать  
Тираж    Формат

---

Типография

**«AZƏRBAYCAN HAVA YOLLARI»  
QAPALI SƏHMDAR CƏMİYYƏTİ  
MİLLİ AVİASIYA AKADEMİYASI**

---

*Əlyazması hüququnda*

**CAVİD QURBANƏLİ OĞLU DARYABARİCAVAD**

**ƏTRAF MÜHİTİN AEROKOSMİK MONİTORİNQİ  
MƏSƏLƏLƏRİNDƏ BORT - ÖLÇÜ SİSTEMLƏRİNİN  
KOMPLEKTLƏŞDİRİLMƏSİNİN SƏMƏRƏLİ PRİNSİPLƏRİ**

3324.07 – məsafədən aerokosmik tədqiqatlar

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

**A V T O R E F E R A T I**

**BAKİ – 2016**