

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В.М. Вишняков

*ФГУП «Российский научно-исследовательский
институт космического приборостроения»*

(ФГУП «РНИИКП»)

Москва, 111250, ул. Авиамоторная, 53,

e-mail: vishnyakov@rniikp.ru,

Доклад посвящен вопросам минимизации технико-экономических характеристик космических систем высокопериодического мониторинга Земли за счет оптимизации орбитального построения систем и перехода на микро- и нанотехнологии создания КА ДЗЗ.

В докладе приводятся результаты компьютерного моделирования низкоорбитальных многоспутниковых группировок из идентичных по параметрам целевой аппаратуры спутников ДЗЗ. Основной задачей моделирования являлось определение минимально-необходимого количества КА в группировке и оптимальных параметров их орбит при обеспечении заданных требований ТТЗ к среднесуточной периодичности наблюдений. Решались и обратные задачи – минимизация периода наблюдений для данной широты местности и/или величины зоны обзора аппаратуры наблюдения при заданном составе орбитальной группировки, который, в свою очередь, определялся технико-экономическими ограничениями (допустимым объемом финансовых затрат на создание КА и их выведение). Показано, что для решения задачи мониторинга зон чрезвычайных ситуаций на территории России с периодичностью повторных наблюдений до 10–15 раз в сутки возможно построение космической системы ДЗЗ в количестве 6–8 спутников, оснащенных широкозахватной аппаратурой наблюдения. При этом для решения так называемых «сезонных» задач (мониторинга лесных пожаров и др.) могут оказаться предпочтительными системы спутников, расположенных в неэквидистантных плоскостях орбит (т.н. нерегулярные группировки). Проведен также анализ стоимостных характеристик создания космической системы мониторинга на основе спутников различных типов и массогабаритов. Построение системы ДЗЗ на базе микро- и наноспутников (массами, соответственно, менее 100 кг и менее 10 кг) в большинстве случаев оказывается экономически выгоднее, чем построение системы ДЗЗ на базе традиционных «больших» КА (типа «Ресурс-01», SPOT, ADEOS и др.).

1. Основная проблема построения космических систем высокопериодического мониторинга Земли

Для целого ряда задач наблюдения Земли из космоса требуется достаточно высокая периодичность повторных обзоров той же местности. Диаграмма рис. 1 показывает в координатах «Период повторных наблюдений (Тповт) – Пространственное разрешение (Лэ)» основные задачи с точки зрения оперативности (высокой периодичности повторных наблюдений) их решения. Особенно высокие параметры периодичности нужны для таких экстренных задач, как мониторинг ЧС (лесные пожары, наводнения, сходы лавин и др.), а также зон вооруженных конфликтов: согласно типовым требованиям потребителей информации таких систем, требуемый период повторных наблюдений уменьшается до 1–3 часов *).

Такие высокие периодичности при одновременном требовании высокого (1–3–10 м) пространственного разрешения можно обеспечить лишь при весьма большом числе спутников ДЗЗ, располагающихся на одинаковых по высоте и наклонению низких орбитах и обладающих близкими (а лучше – идентичными) параметрами аппаратуры наблюдения.

Создание и развертывание группировок КА ДЗЗ из большого (порядка 10 и более) числа КА до сих пор никем не реализовывалось, что, прежде всего, упирается в очень высокие расходы. Если подобные группировки строить на базе обычных («крупноразмерных») КА ДЗЗ (типа SPOT, Landsat, IRS, Ресурс-01 и т.п.), то стоимость создания группировки даже из 5 КА ДЗЗ (без учета стоимости эксплуатации и восполнения) обойдется от 300 до 1500 млн. долл., что значительно превышает объем выделяемых средств по статье «Дистанционное зондирование» Федеральной космической программы России.

Особые ограничения накладывает целевая аппаратура наблюдения (ЦАН), где, с одной стороны, полоса обзора д. б. как можно шире, чтобы получить требуемую периодичность наблюдений минимальным количеством КА, а с другой стороны полоса обзора не может быть слишком большой, поскольку тогда невозможно обеспечить очень высокое пространственное разрешение. Несомненно, минимизация кол-ва КА ДЗЗ в группировке требует и

оптимизации орбитальных параметров системы – высоты, наклонения, относительного расположения отдельных КА в группировке.

Общая математическая модель определения тактико-технических и технико-экономических характеристик космической системы высокопериодического мониторинга Земли (КС ВПМЗ) состоит из трех основных блоков (рис. 2):

- модель орбитальной группировки КС ВПМЗ, определяющая оптимизированные параметры орбит спутников группировки и минимально-необходимое количество спутников, позволяющие обеспечить заданные требования к периодичности повторных наблюдений заданных зон на Земле;
- модель обнаружителя, то есть бортовой ЦАН (целевой аппаратуры наблюдения), которая обеспечивает заданные вероятности обнаружения и распознавания типовых земных объектов наблюдения. Модель, конечно, зависит от типа аппаратуры, спектральных параметров, углового пространственного разрешения и др. параметров, которые могут быть либо изначально заданными (при использовании готового прибора), либо определяться в рамках модели, если создается новая ЦАН. Основными выходными параметрами модели, используемые далее в модели группировки, являются ширина полосы обзора $d_{обз}$ ЦАН, в основном определяющая периодичность повторных наблюдений данным спутником, и максимально-допустимая высота орбиты H_{max} спутника, при которой обеспечивается вероятность обнаружения типового объекта на уровне, не ниже заданного в ТЗ;
- модель расчета стоимости всего цикла создания, развертывания в космосе и эксплуатации КС ВПМЗ. Входными данными для этой модели являются полученные в вышеуказанных моделях параметры – количество КА в орбитальной группировке, параметры орбиты (высота, наклонение), полоса обзора, пространственное разрешение и иные параметры ЦАН, а также эмпирические данные о типовых стоимостях запуска наиболее приемлемыми средствами выведения, о стоимостях работ по проектированию, производству и испытаниям КА ДЗЗ, разработке новой ЦАН или изготовлению ее серийных образцов, о стоимостях работ в наземном сегменте по управлению КС ВПМЗ и по приему и обработке информации наблюдения.

Создание и совместная работа всех трех блоков модели КС ВПМЗ позволит еще на начальном этапе осуществить сквозное проектирование системы, оптимизировать ее характеристики для получения минимально-возможных затрат на многоспутниковую группировку. Создание описанной выше общей модели КС ВПМЗ еще находится в стадии разработки, но на сегодняшний день завершено создание модели орбитальной группировки – главной составляющей общей модели, которая в основном и определяет состав КС ВПМЗ и получаемые в итоге оценки затрат на ее создание. В настоящем докладе описывается именно эта модель и приводятся результаты расчета по ней.

2. Моделирование орбитальных группировок космических систем высокопериодического мониторинга Земли

Для решения, прежде всего, задачи минимизации числа КА и, следов, общих затрат на гр-ку разработана баллистико-информационная модель гр-ки КА ДЗЗ с идентичными параметрами ЦА.

Описание модели **.

Модель орбитальной группировки (ОГ) КА ДЗЗ позволяет рассчитывать в абсолютных единицах времени (год, месяц, число, час, минута и т.д.) моменты наблюдения любой точки земной поверхности каждым спутником произвольно заданной группировки КА, оснащенных идентичной целевой аппаратурой наблюдения. Исходные данные модели:

- параметры группировки (N_{po} – число плоскостей орбит, N_{KA} - общее число КА в ОГ, N_j – число КА в каждой плоскости; H, i, e – высота, наклонение и эксцентриситет орбиты, τ_j - время прохождения j -тым спутником перицентра или восходящего узла (или L^{by}_j - долгота восходящего узла) при $e=0$);
- географические координаты (B – широта, L – долгота) наблюдаемой точки земной поверхности;
- параметры целевой аппаратуры наблюдения (ЦАН): γ - половинный угол зрения поперек подспутниковой трассы движения КА (или $d_{обз}$ – ширина полосы обзора) и α - угол зрения вдоль трассы;
- календарное время начала T_o и окончания моделирования ОГ;
- периоды усреднения результатов расчета.

Результатами расчета являются:

- временные диаграммы «контактов» (т.е. наблюдений объекта с заданной широтой местности аппаратурой наблюдения всех КА ОГ (рис. 3);
- средняя $T_{ср}$ и максимальная T_{max} продолжительности перерыва в наблюдении объекта заданном временном интервале как одним КА, так и группировкой;
- другие интересующие выходные параметры.

Основной задачей расчета было получение зависимостей от координат (прежде всего, широты) местности величин $T_{ср}$ и T_{max} для ОГ с различными количеством КА, параметрами орбит и целевой аппаратурой и сравнение их с требованиями заказчика к $T_{ср}$ (или T_{max} – в зависимости от того, какой из этих параметров задал заказчик). В

результате определялся состав системы мониторинга, необходимый для решения целевой задачи с нужной оперативностью.

Решались и обратные задачи – например, для фиксированного числа КА (N_{KA}) или фиксированной ширине полосы обзора ЦАН определялись параметры оперативности наблюдения для различных широт местности (рис.3), или решались задачи оптимизации наклонения орбит, долгот восходящего узла отдельных спутников и др.

3. Основные результаты моделирования.

Рис. 4 иллюстрирует зависимость среднего периода наблюдений на различных широтах в зависимости от числа спутников в ОГ. В данном примере принято наклонение орбиты 65 град, высота – 900 км, а $d_{obz} = 1000$ км. Показано, что для наблюдения в наиболее густонаселенном широтном поясе Российской Федерации (42...59 град) достаточно высокая периодичность (1 раз в 1,5...2 часа) достигается при сравнительно небольшом количестве КА в ОГ (7-8). Для более низких широт (например, 20-25 град – для таких «лесных» стран, как ЮАР, Австралия, Индонезия, Бразилия) требуемое количество спутников возрастает почти вдвое. Более высокие широты, естественно, наблюдаются с большей периодичностью, однако в этом случае имеются другие ограничения.

1) При выборе наклонения орбиты, меньшего широты наблюдаемой местности, периодичность наблюдений плавно уменьшается и падает до нуля, когда объект наблюдения лежит севернее, чем наклонение орбиты плюс угловая полуширина полосы обзора ЦАН. Для случая рис. 4, когда $i = 65$ град, практически не наблюдается российское Заполярье. Это неактуально для системы, основной задачей которой является мониторинг лесных пожаров, зато выбор орбиты, отличной от обычного используемой солнечно-синхронной, оправдано возрастанием периодичности благодаря «расширению» примерно в cosec (i) раз) полосы обзора вдоль параллели (как показано на рис. 6). Использование же средних и дальних ИК диапазонов в ЦАН для наблюдения высокотемпературных объектов типа очагов пожаров (см. рис.7 для случая ночного наблюдения радиометром AVHRR спутника NOAA) делает такую ЦАН не столь критичной к условиям солнечного освещения местности.

2) Другим фактором, ограничивающим эффективность наблюдений высоких широт за счет увеличения периодичности вследствие возрастающего к полюсам Земли перекрытия полос обзора спутников, расположенных на соседних орбитах, являются именно слишком частые повторные наблюдения. Когда средний период повторных наблюдений T_{cp} становится меньшим постоянной времени τ_p развития наблюдаемого процесса, повторные наблюдения несут все меньше новой информации, а лишь подтверждают информацию, полученную предыдущими спутниками. Поэтому в предложенной модели ОГ принято, что при $T_{cp} \leq 0,2 \tau_p$ два соседних наблюдения считаются за одно. Для типового лесного пожара среднего или крупного ситуаций в зоне возгорания существенно меняется примерно за 1 час, поэтому для случая рис.2 принято считать два последующих наблюдения за одно при промежутке $T_{cp} < 10$ мин. Вследствие этих двух факторов для широты наблюдаемой местности 71 град график рис.2 проходит существенно выше графиков для широт 43...59 град, а при количестве КА, большем 10-11, дальнейшее увеличение ОГ ведет даже к уменьшению эффективной периодичности наблюдений.

Влияние ширины полосы обзора d_{obz} (захвата – для мгновенного поля зрения перенацеливаемой ЦА) на периодичность наблюдений показана на рис. 3.. Результаты расчета рис. 5, в частности, показывают, что переход от сканирующих ЦАН со средними полосами обзора (200-400 км) к широким (1000 и более км) позволяет даже для низких широт (40 град и менее) получать 5-8 наблюдений в сутки, что практически полностью удовлетворяет требованиям к системам высокооперативного мониторинга ЧС, обозначенные на рис. 1. Разработка сканирующих устройств со столь широкими (20...1000 км) полосами обзора в миниатюрном исполнении является насущной, но весьма непростой задачей.

3) Необходимо также согласовывать ширину полосы обзора с величиной элемента разрешения, чтобы возрастание количества пикселей в кадре и пропорциональная ему суммарная скорость потока информации V_{inf} (Мбит/с), сбрасываемой с борта КА на наземный пункт приема, не привело к превышению возможностей бортовых радиолиний в режиме непосредственной передачи (НП) данных ДЗЗ. Для строчно-кадровых сканеров (типа МСУ-СК и т.п.) ограничение допустимой скорости потока информации в режиме НП:

$$V_{inf} \approx (n_{kan} n_p V_{orb} d_{obz} k_{sk}) / \delta_3^2$$

(где n_{kan} – число спектральных каналов, n_p – разрядность слова, $V_{orb} \approx$ орбитальная скорость КА, δ_3 – линейный размер пикселя, k_{sk} – коэффициент сжатия данных при передаче) иллюстрируется графиком рис. 11.

Кроме того, модель позволяет рассчитывать так называемые «нерегулярные группировки», в которых угловой разнос между соседними плоскостями орбит КА неравномерен за счет того, что число плоскостей орбит (N_{no}) превышает – общее число КА в ОГ (N_{KA}) (см. рис. 8). Такие группировки применимы для сезонных задач (например, лесные пожары в России), когда допустимы разные периоды наблюдения зимой-летом или весной-осенью. Например, можно построить нерегулярную ОГ, «настроенную» на максимальную периодичность наблюдений (т.е. максимальную «скученность» орбит соседних КА) над определенными долготами в летний период, характеризующийся повышенной пожароопасностью в России (см. рис. 9). Благодаря этому возможно уменьшить общее количество КА в ОГ, и тем самым снизить затраты

на построение и эксплуатацию системы мониторинга. Рис. 10 показывает, что в области «среднероссийских» широт (54...60 град сев. ш.) переход от регулярных группировок из 6 или 7 КА к группировкам типа «8 плоскостей – 6 (или 7) КА» может позволить снизить период повторных наблюдений на 20-25%, что для регулярной группировки достигается лишь добавлением в ОГ 1 или даже 2 дополнительных спутников.

4. Минимизация стоимостных характеристик создания космической системы высокопериодического мониторинга Земли (КС ВПМЗ) за счет применения микро- и нанотехнологий.

Основные затраты на создание многоспутниковой КС ВПМЗ складываются из:

- 1) стоимости НИОКР
- 2) стоимости изготовления серийных КА
- 3) общей стоимости выведения гр-ки и ее последующего восполнения

В табл. 1 проанализированы возможности существенного снижения затрат на КС ВПМЗ для всех 3-х этапов. Понятно, что миниатюризация КА Д33 позволяет существенно снизить все три слагаемых, но особенно – стоимость выведения (при условии либо кластерного, попутного запусков микро- или наноспутников, либо применения более дешевых средств выведения – малых РН, средств авиационного и подводного старта). Кроме того, дополнительное снижение затрат на НИОКР и на изготовление штатных КА достижимо благодаря минимизации стоимости целевой аппаратуры, отказа от ее многофункциональности (по сравнению с «Ресурс-0», «Монитор», SPOT и др. КА Д33). Переход к монофункциональности целевой аппаратуры наблюдения (ЦАН) (и даже к ограничению состава ЦАН единственным прибором наблюдения) допустима, например, для задачи мониторинга зон чрезвычайных ситуаций (ЧС). Ввиду особого социально-экономического значения этой задачи для любой страны (и, в особенности, для России как занимающей огромные территории, с многими малодоступными регионами) государство или группа государств могут позволить себе «раскошелиться» на такую монофункциональную систему космического мониторинга.

В табл. 2 приведены затраты (общие и удельные – в долл. на 1 кг нагрузки) на выведение малых КА Д33 различными средствами: РН «Рокот» (попутно), РН «Космос-3М», РН «Волна» и «Штиль» (старт с БРПЛ), авиационно-космический старт. В настоящее время выведение морскими ракетами типа «Волна» и особенно «Штиль» представляется экономически более выгодным, хотя, с точки зрения надежности, отработанности предпочтительнее на сегодняшний день выглядит попутное выведение микро- и наноспутников на РН «Космос-3М».

На рис. 12 между собой сравниваются стоимостные характеристики создания и выведения гипотетических многоспутниковых КС Д33, если бы они были построены на базе или ныне используемых отечественных («Ресурс-01») и зарубежных («SPOT») КА Д33, или на базе разрабатываемых в России микро- и наноспутников Д33. Сравнение производится для равного числа КА в ОГ (по 6 КА) для системы на «крупных» КА и системы на базе микроспутников. Для системы на наноспутниках, в силу понятных ограничений на массу и, следовательно, полосу обзора ЦАН принято, что равные с другими системами параметры обзора можно достичь при утроенном числе КА в группировке (18 наноспутников). Тем не менее, последний вариант представляется наименее дорогостоящим (не более 6 млн. долл.), что от 3 до 400 раз дешевле КС ВПМЗ, построенных на других типах КА. (См. также ***).

На рис. 13 и 14 приведены параметры технологических наноспутников ТНС-0 и ТНС-1, разработанных во ФГУП «РНИИ КП», летные испытания которых будут проведены в 2004-2005 гг. Наноспутник ТНС-1, оснащенный аппаратурой Д33 (цифровыми видеокамерами), является прообразом КА Д33, которые в будущем составят орбитальную группировку наноспутников Д33 со стоимостными характеристиками, показанными на диаграмме рис. 12.

Выводы

1. Необходимость создания и длительной эксплуатации низкоорбитальных многоспутниковых систем высокопериодического (до нескольких раз в сутки и более) наблюдения Земли (например, в целях мониторинга зон чрезвычайных ситуаций, вооруженных конфликтов и т.п.) требует тщательной оптимизации состава и орбитальных параметров группировки космических аппаратов Д33, а также переходу к построению КА Д33 на базе микро- и нанотехнологий.

2. Математическая модель орбитальной группировки (ОГ) космической системы высокопериодического мониторинга Земли (КС ВПМЗ), состоящей из $N_{КА}$ спутников, оснащенных идентичной целевой аппаратурой наблюдения (ЦАН), позволяет проводить оптимизацию состава и орбитальных параметров ОГ для обеспечения заданного среднего $T_{ср}$ (минимального, максимального и т.д.) периода повторных наблюдений минимально-возможным количеством спутников. Дополнительные возможности по уменьшению количества $N_{КА}$ появляются при решении некоторых целевых задач, при решении которых допустимы разные значения $T_{ср}$ для разных сезо-

нов, а также для дневного и ночного периодов (в частности, задачи мониторинга лесных пожаров). В этом случае необходимое число N_{KA} существенно уменьшается при выборе наклонений орбит, меньших наклонения солнечно-синхронной орбиты, а также при использовании «нерегулярных» ОГ с неэквидистантным расположением плоскостей орбит спутников.

3. Анализ стоимостных характеристик создания и развертывания многоспутниковых группировок для КС ВПМЗ показал, что только переход к миниатюризации спутников до масштаба микро- иnanoспутников, а также выбор наиболее экономичных легких РН может обеспечить создание многоспутниковой ($N_{KA} = 5\dots10$ и более КА в ОГ) КС ВПМЗ, в десятки –сотни раз менее затратной, чем КС ВПМЗ на базе традиционных средств ДЗЗ. Создание монофункциональной КС ВПМЗ на базе новых отечественных разработок микро- и nanoКА ДЗЗ, а также использование таких эффективных, малозатратных отечественных средств выведения, как авиационно-космического старта и морских ракет типа «Волна» и «Штиль», позволит осуществить создание и развертывание КС ВПМЗ с периодичностью повторных наблюдений, достаточных для решения весьма оперативных задач (типа мониторинга ЧС) в масштабах затрат порядка 10…30 млн. долл.

Литература

1. *Вишняков В.М. и др.* «Исследование и разработка перспективных методов и средств для низкоорбитального космического лесопожарного мониторинга и оповещения о лесных пожарах и сходных чрезвычайных ситуациях». Отчет по НИР «НОМОС», этап II, книга 1. Москва, Конструкторское бюро «Салют», 1994 г. 101 с.
2. *Вишняков В.М., Ефимов В.А., Афанасьев А.А., Карпова Е.В., Новиков М.В., Гершензон В.Е., Копик А.Г.* «Перспективы развития космических систем высокопериодического контроля за экологической обстановкой и чрезвычайными ситуациями». Сборник тезисов XXV академических (королевских) чтений по космонавтике. Москва, 2001 г. С.43– 44.
3. *Sweeting M.N.* «Nano- & micro-Satellites for Space Training». Surrey Satellite Technology Ltd., UK. 2000.

Табл. 1. Возможности снижения стоимости разработки, создания и эксплуатации многоспутниковых систем ДЗЗ

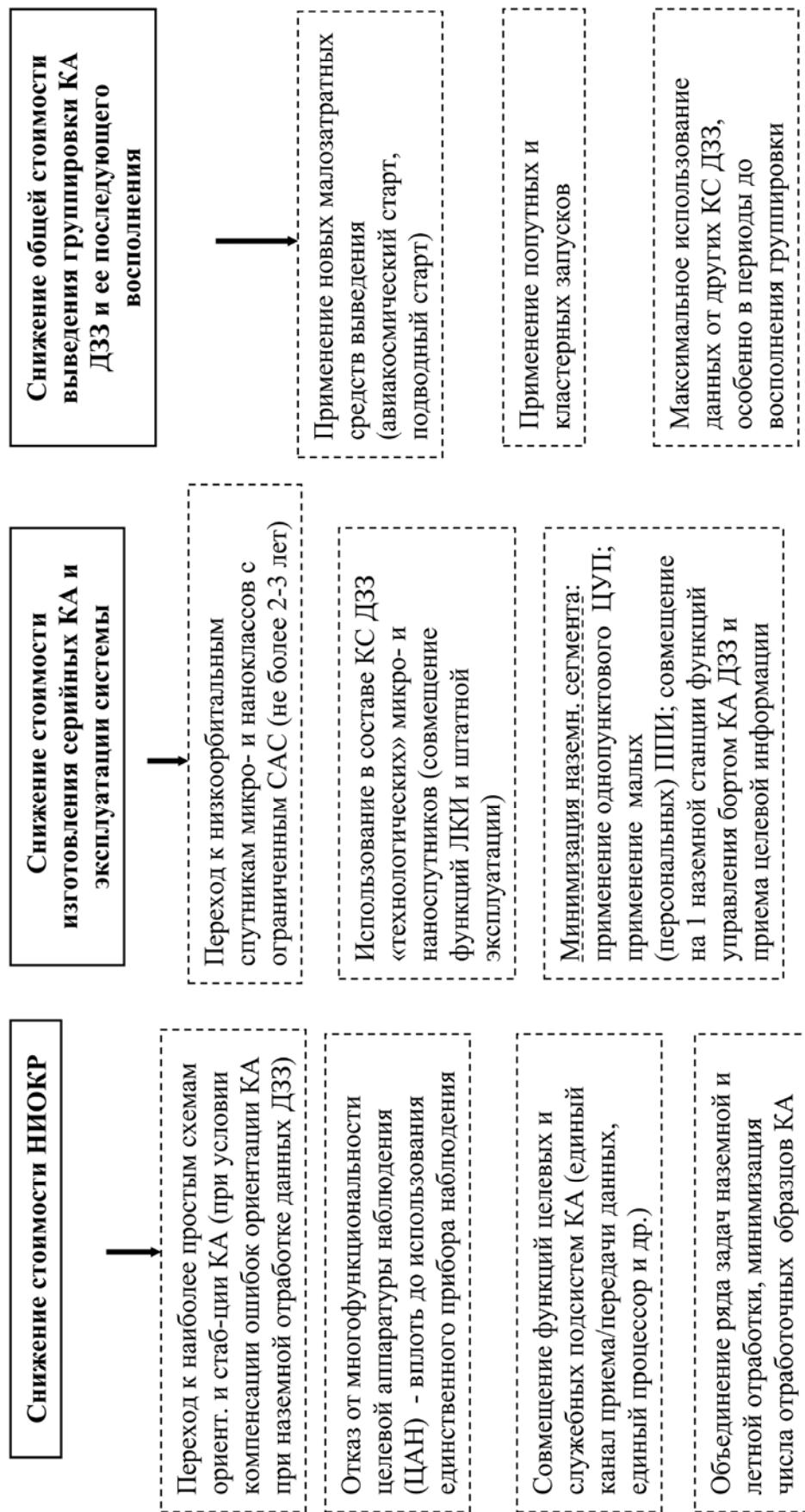


Таблица 2. Затраты на развертывание КА Д33 различными средствами выводения

Тип РН, полигон запуска	Орбиты	Выводимые массы (наклонение орбиты)	Стоимость пуска (долл.)		Район запуска
			Общая (долл.)	Удельная (долл./кг)	
«Рокот», Плесецк, Байконур	Низкие	750 кг (ССО)	10 млн.	≈ 15 тыс.	
«Космос-3М», Плесецк	Низкие (до 800 км)			10 тыс.	
«Волна», БРПЛ	Низкие (до 800 км)	110 (53 град) 80 (79 град) 55 (на ССО)	1000 тыс. 1000 тыс. 1100 тыс.	≈ 9 тыс. 12,5 тыс. 18 тыс.	Тихий океан Баренцево море Охотское море
«Штиль», БРПЛ	Низкие (до 800 км)	80 (79 град) 50 (на ССО)	600 тыс. 800 тыс.	7,5 тыс. 16 тыс.	Баренцево море Норвежское море
МиГ-31Д + модерниз. крылатая ракета РН-С	Низкие (до 800 км)	40-200 кг		0,25-0,3 тыс. долл. (суборбит. полет), 1,5-2 тыс. долл. (орбит. полет)	

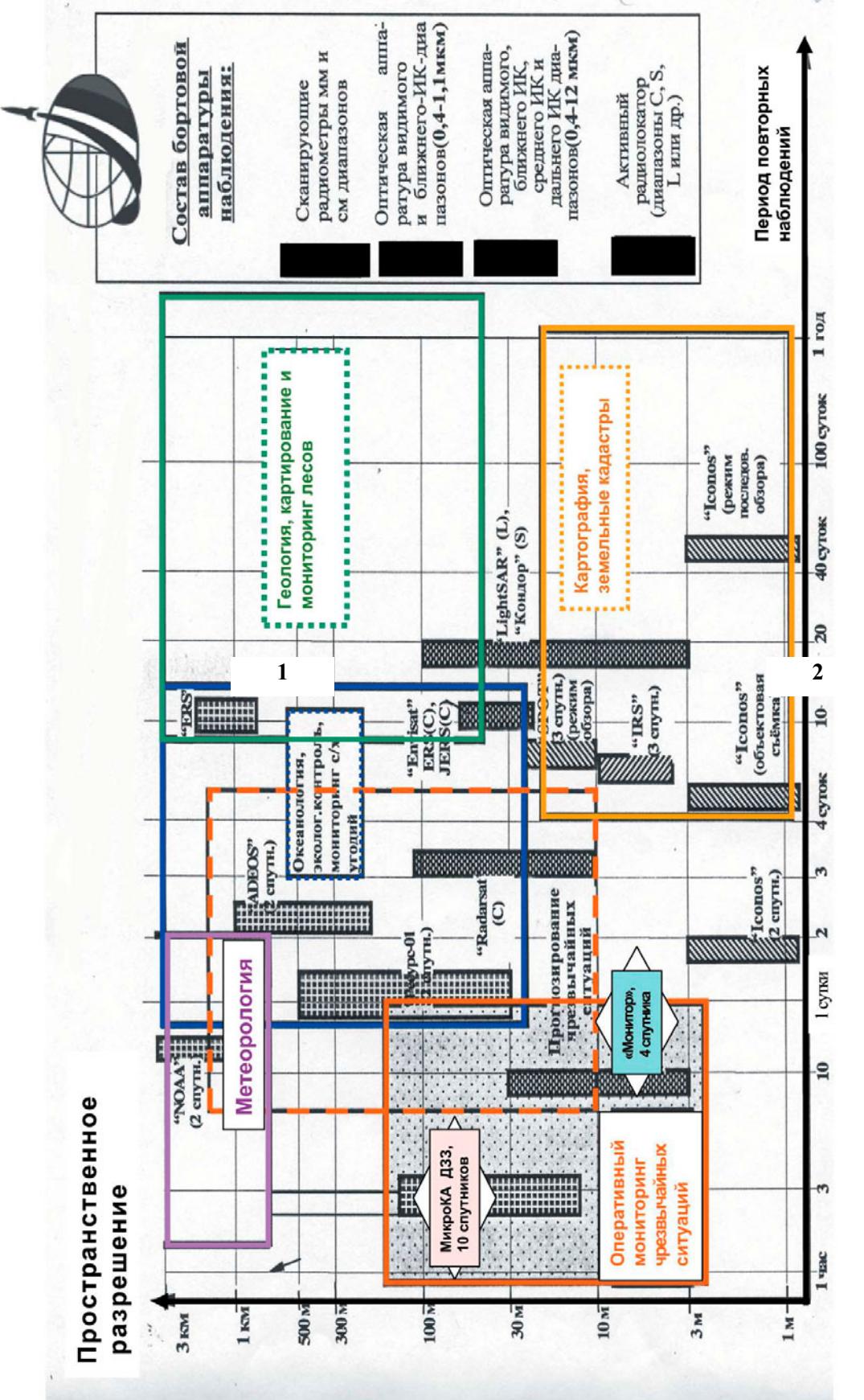


Рис.1 - Характеристика областей применения существующих и перспективных КА ДЗЗ и параметры оперативности наблюдения

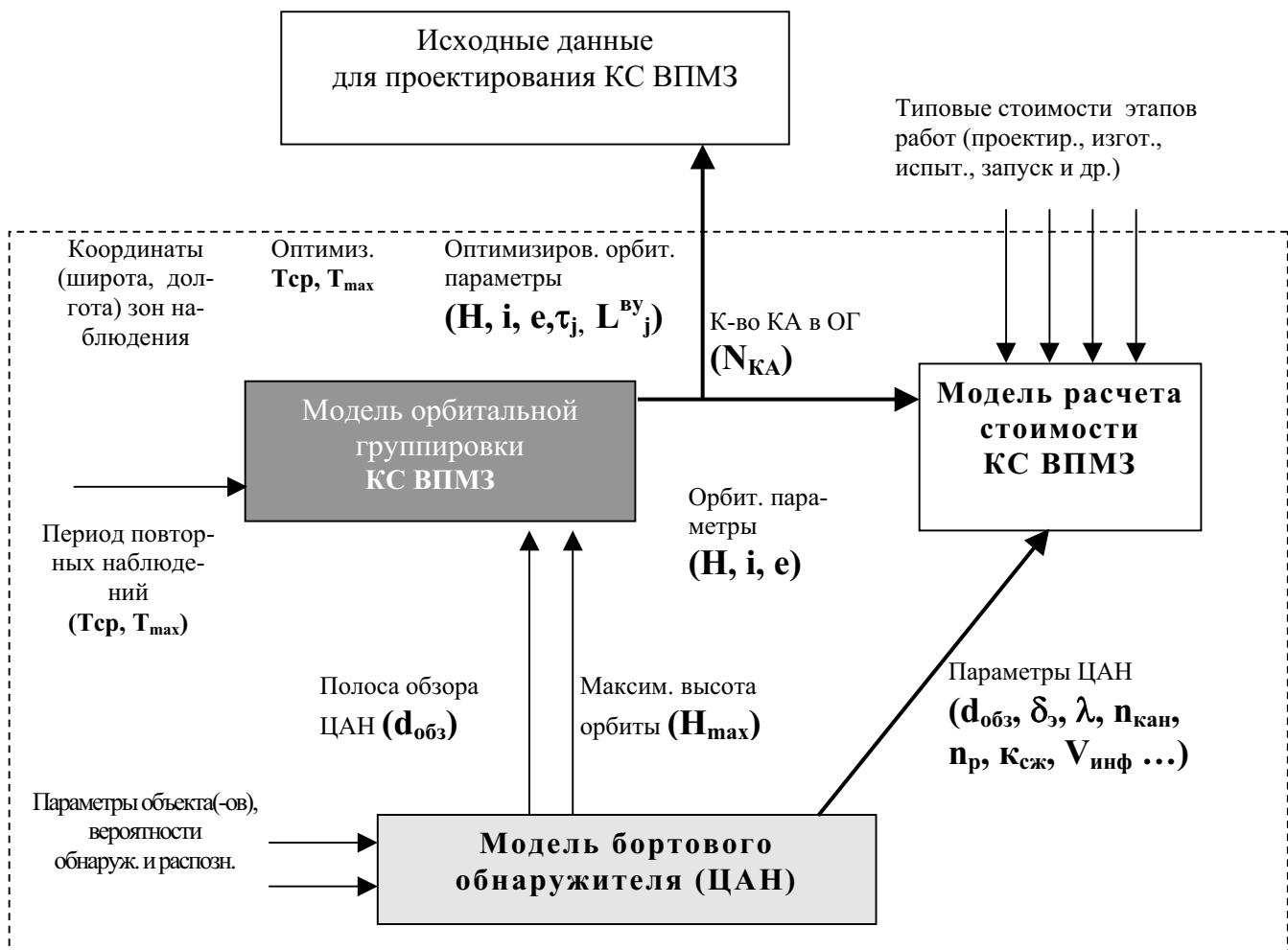


Рис. 2. Общая математическая модель определения тактико-технических и технико-экономических характеристик космической системы высокопериодического мониторинга Земли (КС ВПМЗ)

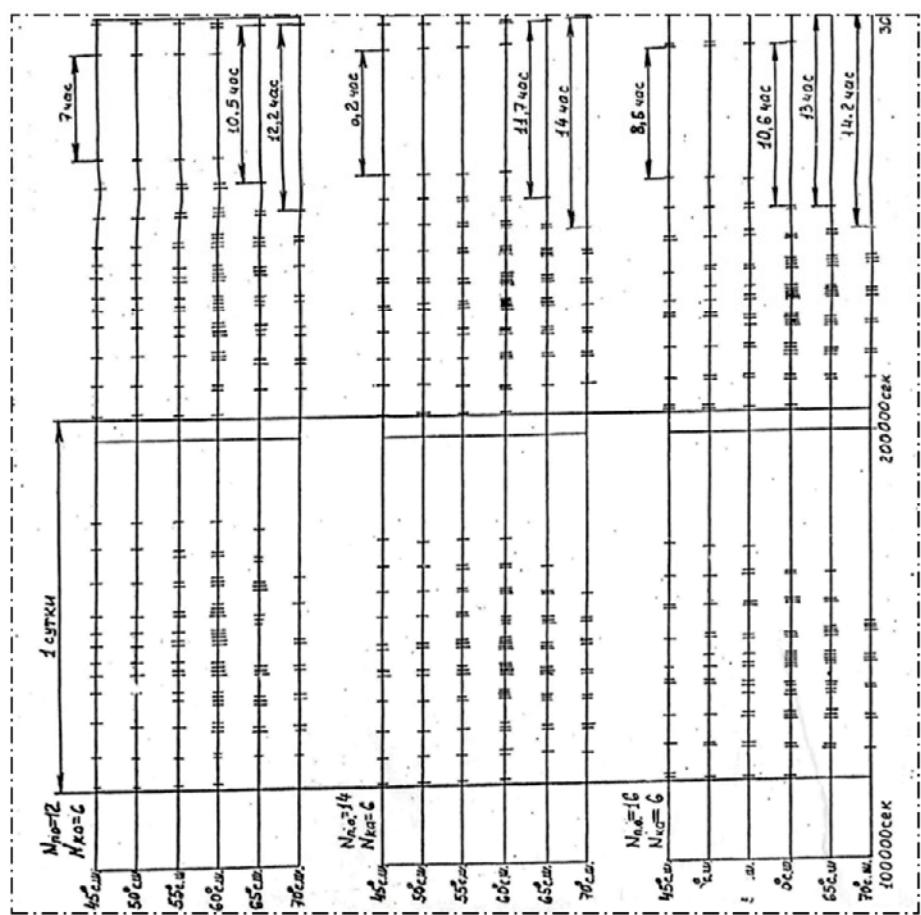
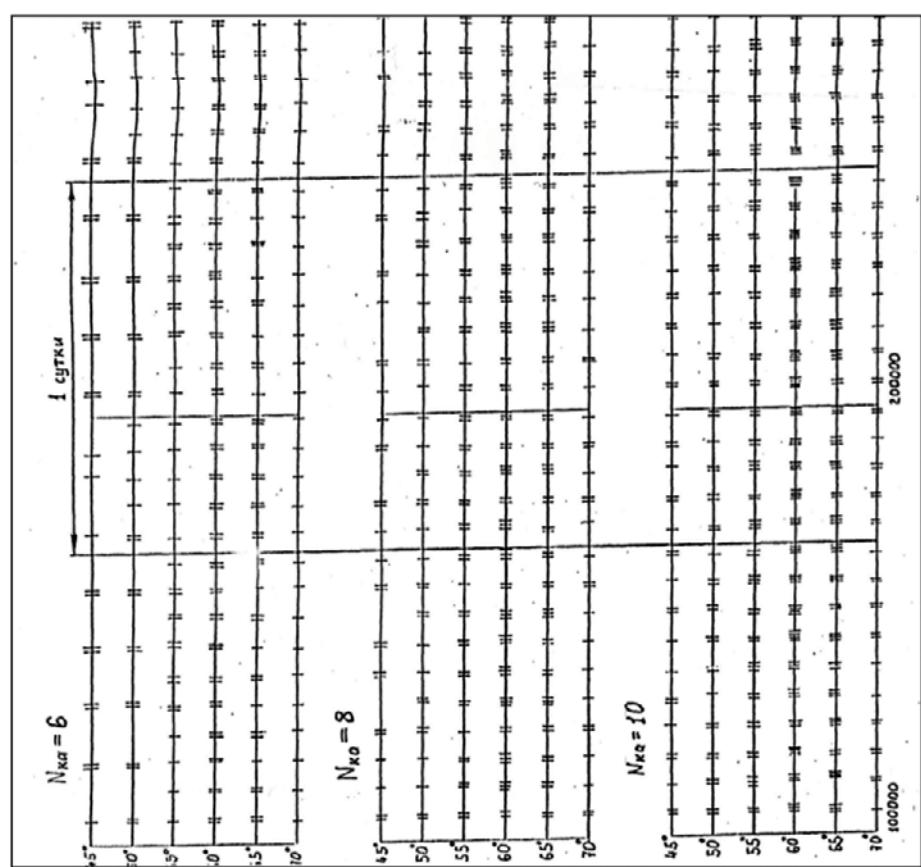


Рис. 3. Временная диаграмма сеансов наблюдений орбитальной группировкой КА ДЗЗ по различным широтам

А) Регулярная группировка ($N_{\text{По}}=N_{\text{Ka}}$)

Б) Нерегулярная группировка ($N_{\text{По}} > N_{\text{Ka}}$)

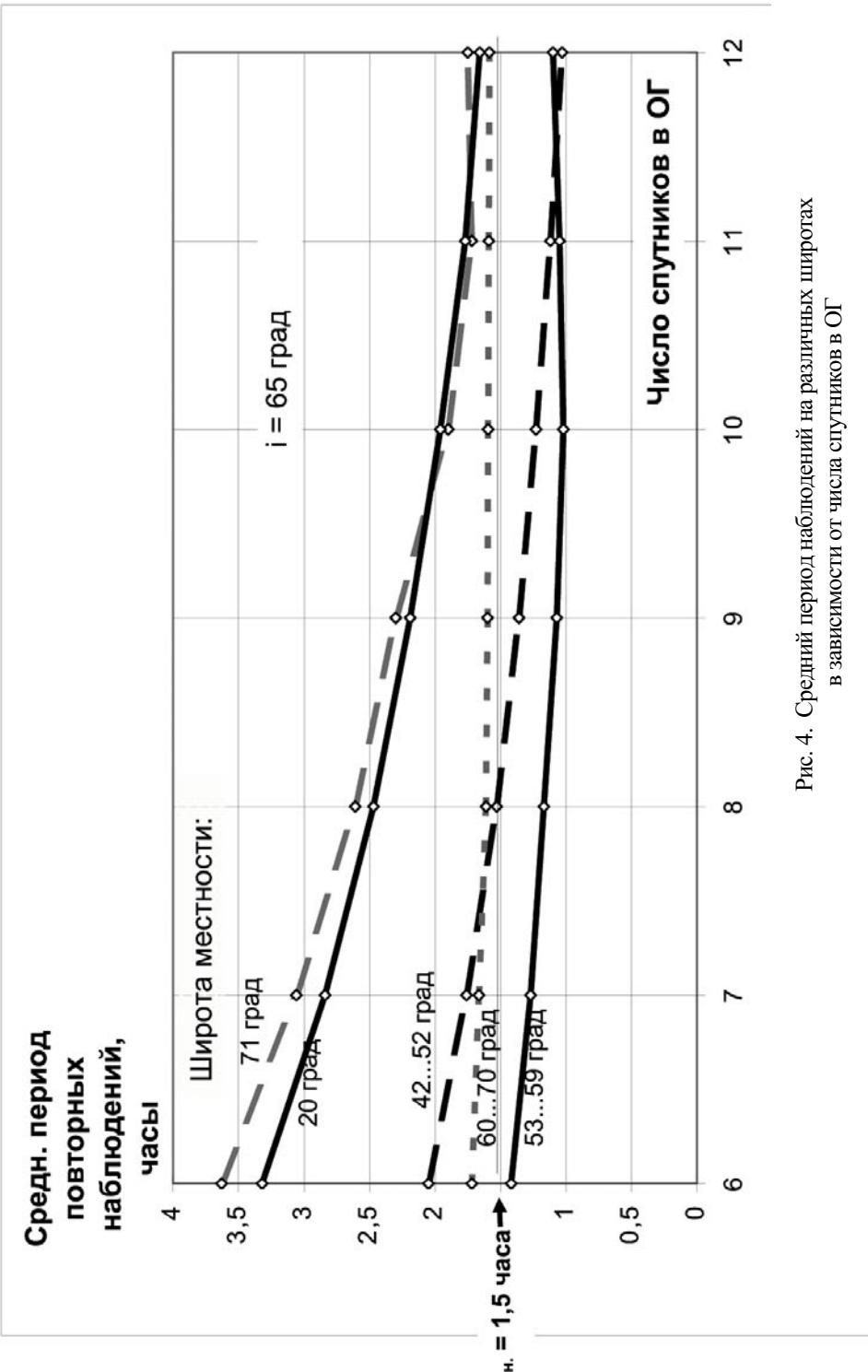


Рис. 4. Средний период наблюдений на различных широтах в зависимости от числа спутников в ОГ

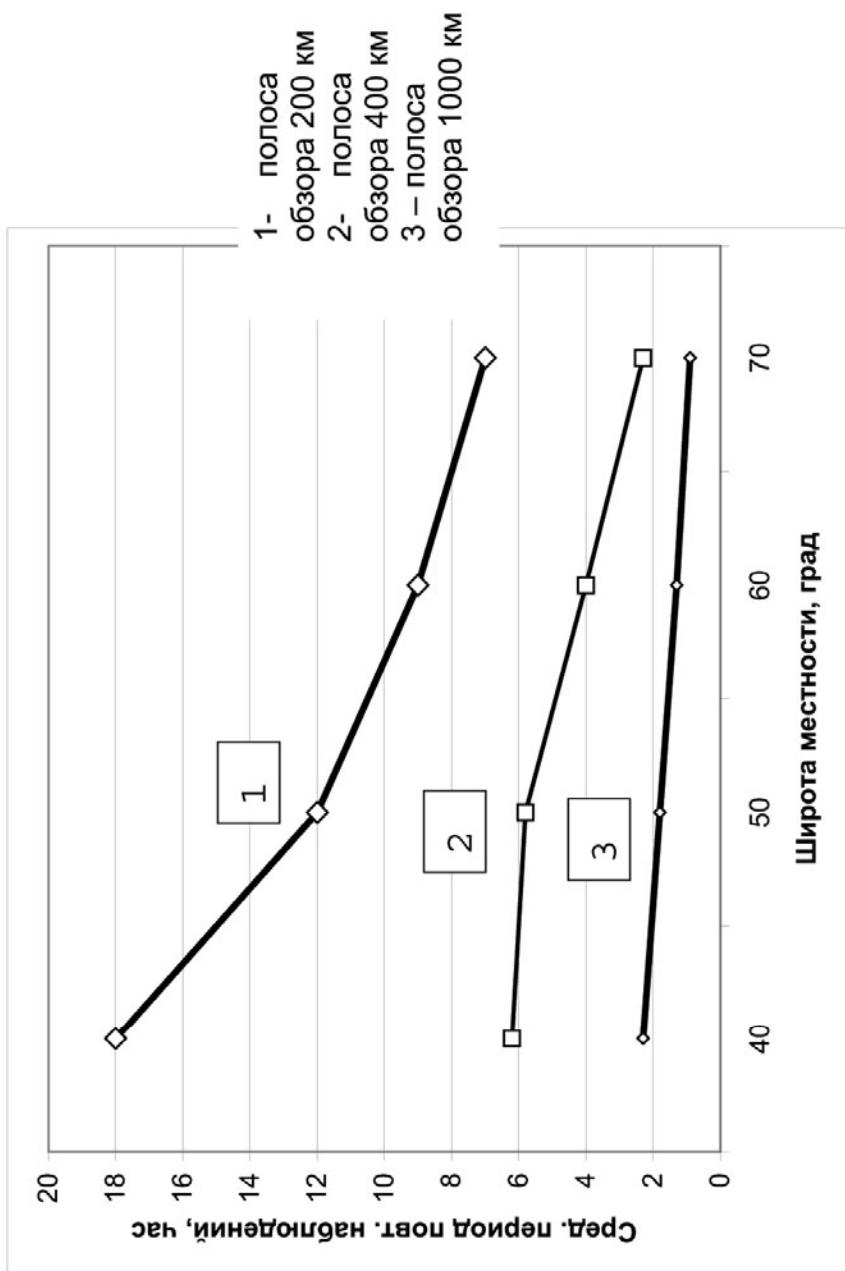


Рис. 5. Графики зависимости среднего периода повторных наблюдений системой из 10 микроКА ДЗЗ от широты местности при различных полосах обзора целевой аппаратуры

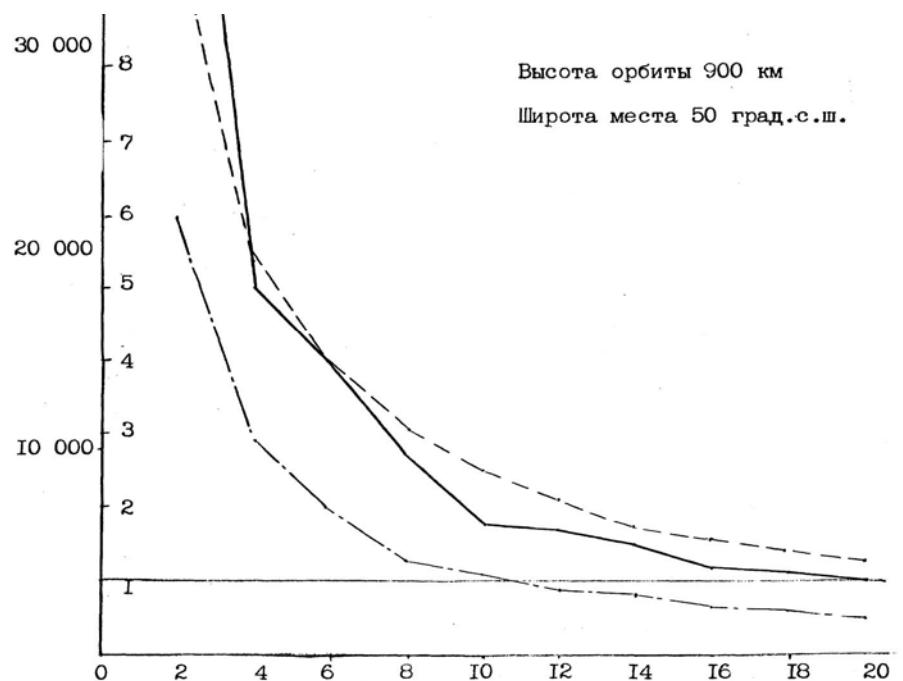


Рис. 6. Влияние наклонения орбиты на периодичность наблюдения в средних широтах

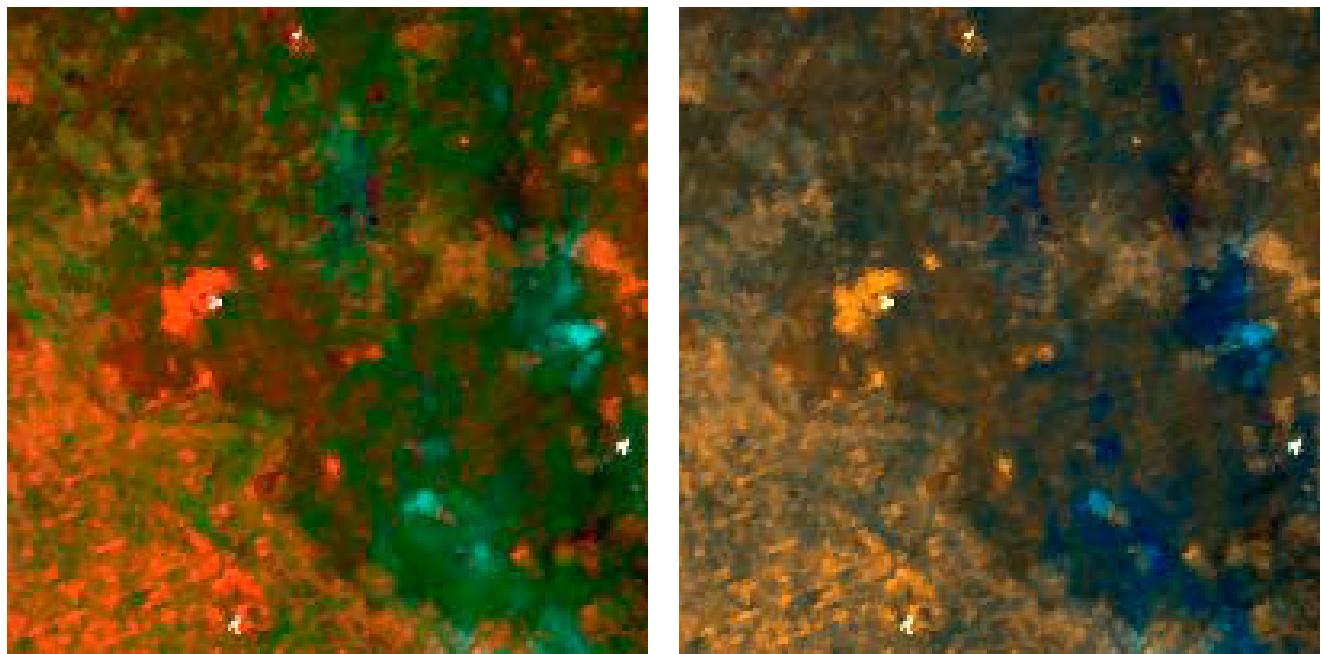


Рис. 7. Наблюдение очагов торфяных пожаров в ночное время радиометром AVHRR спутника NOAA в среднем ИК (1) и тепловом ИК (2) диапазонах

Вид со стороны полюса
П.О. – плоскость орбиты j-того КА

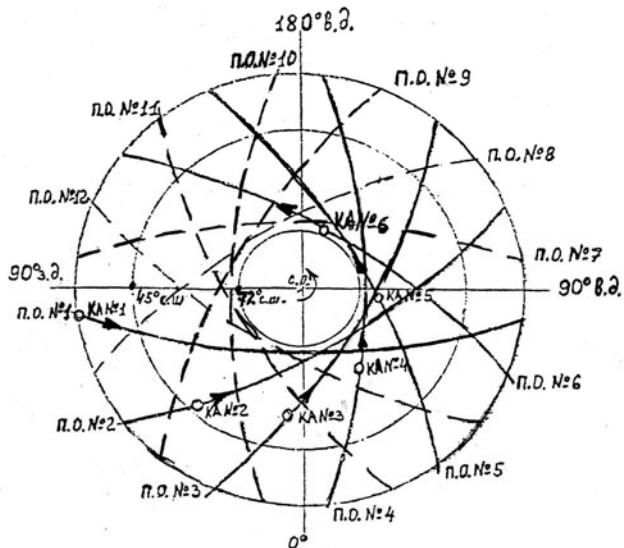


Рис. 8. Принцип формирования нерегулярной орбитальной группировки КА ДЗ3

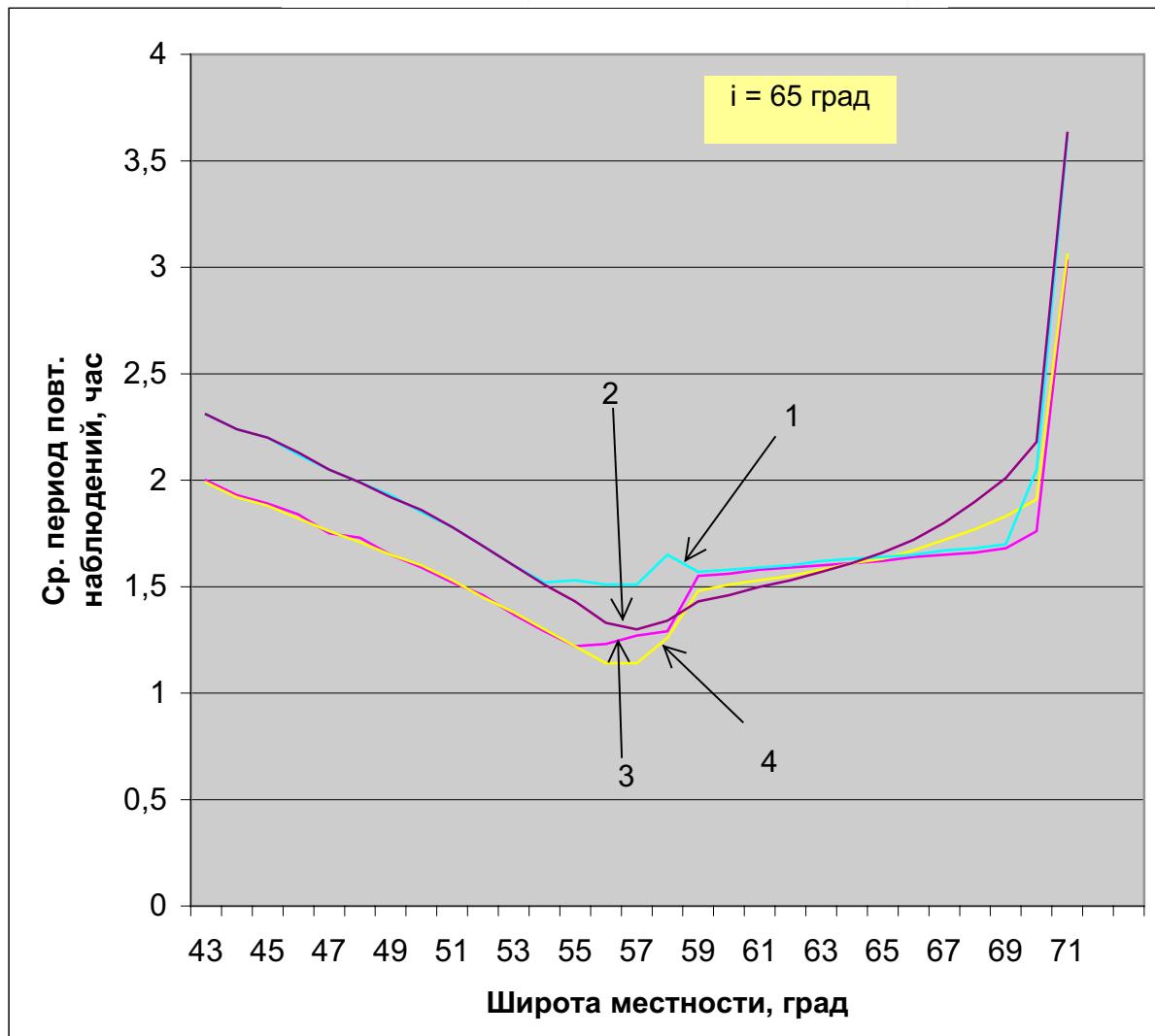


Рис.10. Сравнение периодичности наблюдения регулярной (1,3) и нерегулярной (2,4) орбитальными группировками КА ДЗ3
Графики 1,2 - 6 КА в ОГ,
графики 3,4 - 7 КА в ОГ.

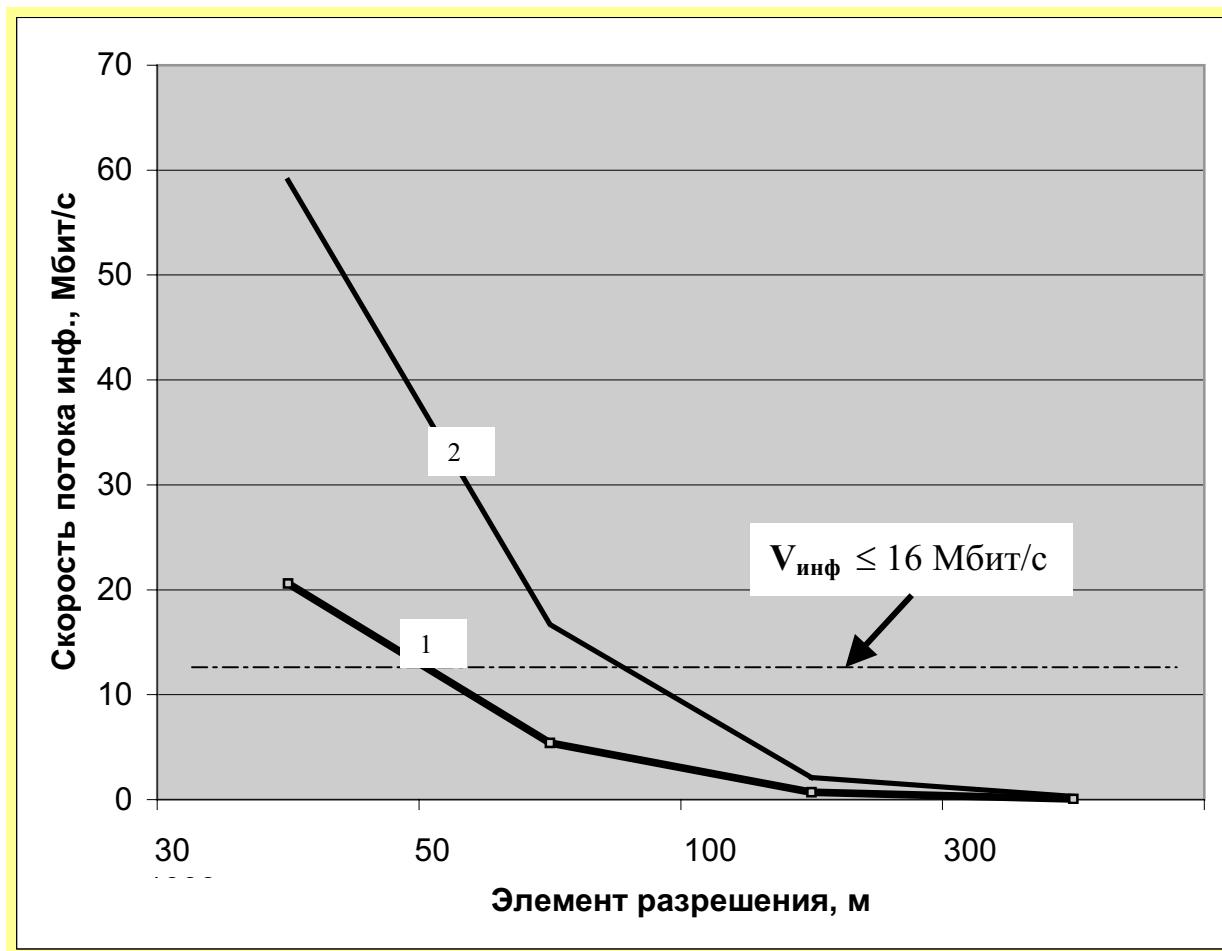


Рис. 11. Ограничение на скорость потока информации со строчного сканера микроКА Д33

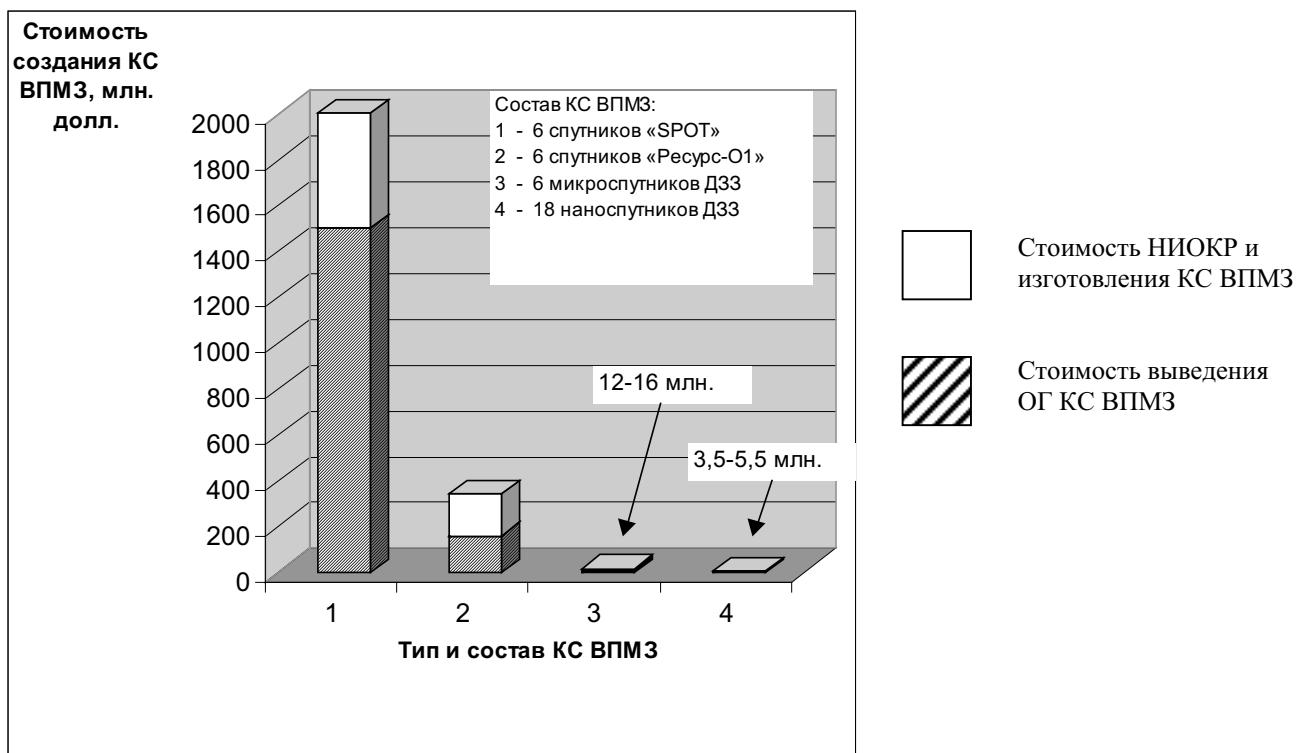


Рис.12. Стоимость создания КС высокопериодического мониторинга Земли (ВПМЗ), построенных на спутниках различного типа



Рис. 13. Технологический наноспутник минимальной комплектации **ТНС- 0**

Основные характеристики ТНС-0

- орбита	полярная, 400-1000 км
- масса	4.5 кг
- габариты	Ш150мм x 250мм
- ориентация	одноосная, магнитная
- электропитание	литиевая батарея 10 А-час
- терморегулирование	пассивное
- срок службы	3 месяца

Основная задача – отработка в натурных условиях:

- технологии управления спутником через систему ГЛОБАЛСТАР/ ИНТЕРНЕТ
- метода контроля за работой КА с помощью аварийного радиобуя КОСПАС-САРСАТ
- элементов интегрированной бортовой информационной системы (ИБИС)
- экспериментальных датчиков солнца и горизонта
- литиевых батарей системы СТОРОЖ
- конструкции спутника на основе сотовой панели

Основные характеристики:

- орбита	солнечно-синхронная, 650 км
- масса КА	7.5 кг
- ориентация и стабилизация	одноосная, вращением
- мощность электропитания	24 Вт (макс)
- пространственное разрешение/полоса захвата	100 м/250 км
- скорость передачи данных ДЗЗ	0,66 Мбит/с
- несущая частота передачи данных ДЗЗ	1,7 ГГц
- управление КА и телеметрия	ГЛОБАЛСТАР / ИНТЕРНЕТ / сотовая телефония бортовой аппаратуры:

- интегрированная бортовая информационная система (ИБИС)
- телевизионная система (2 видеокамеры SONY, режим RGB)
- модем системы ГЛОБАЛСТАР
- система магнитной ориентации и стабилизации



Рис. 14. Технологический наноспутник ДЗЗ **ТНС-1**

Основная задача – отработка в натурных условиях:

- интегрированной бортовой информационной системы (ИБИС)
- новых технологий управления через мировые системы связи
- новых принципов получения информации ДЗЗ
- новых элементов системы ориентации и стабилизации
- базовой платформы для перспективных космических систем