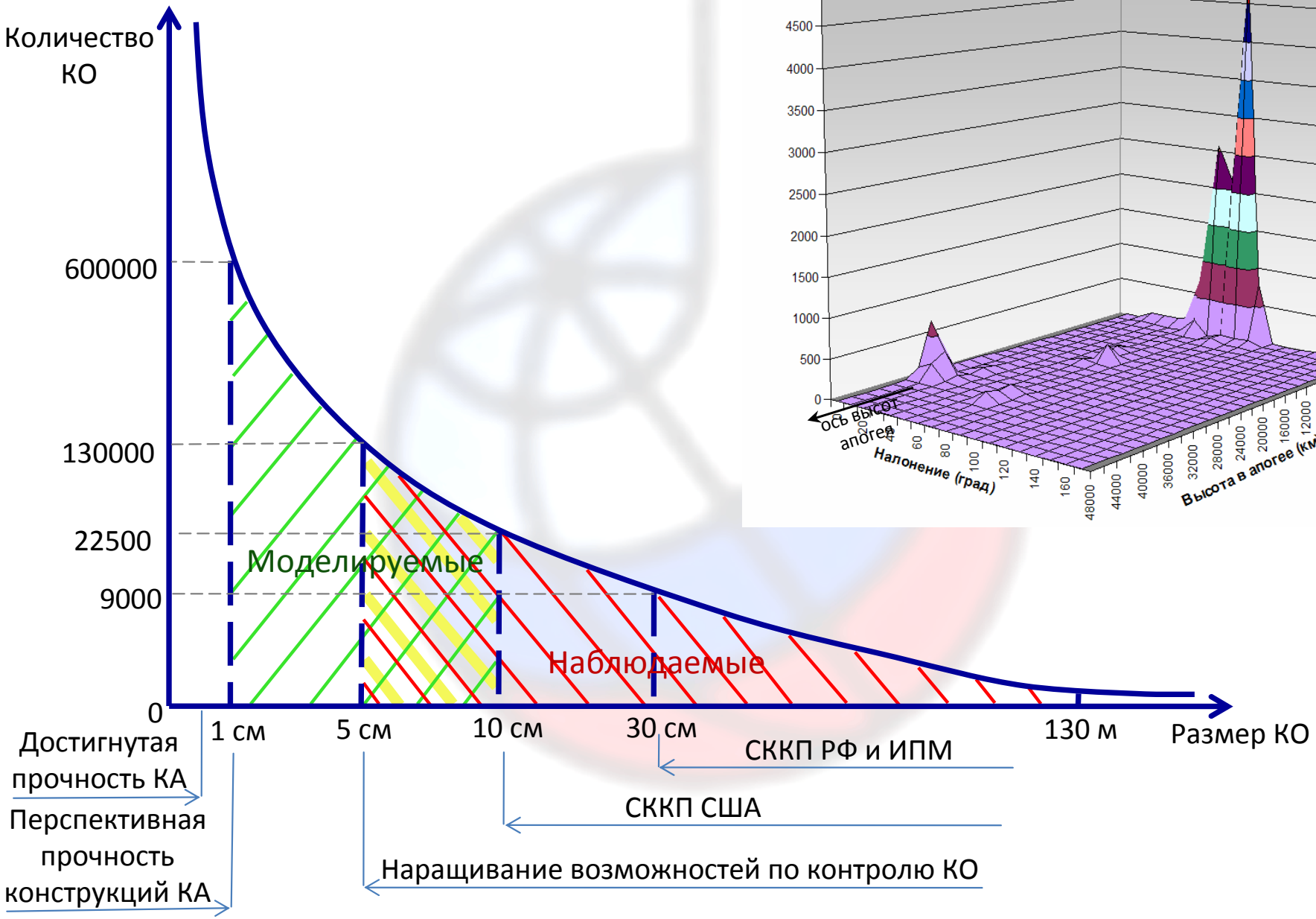
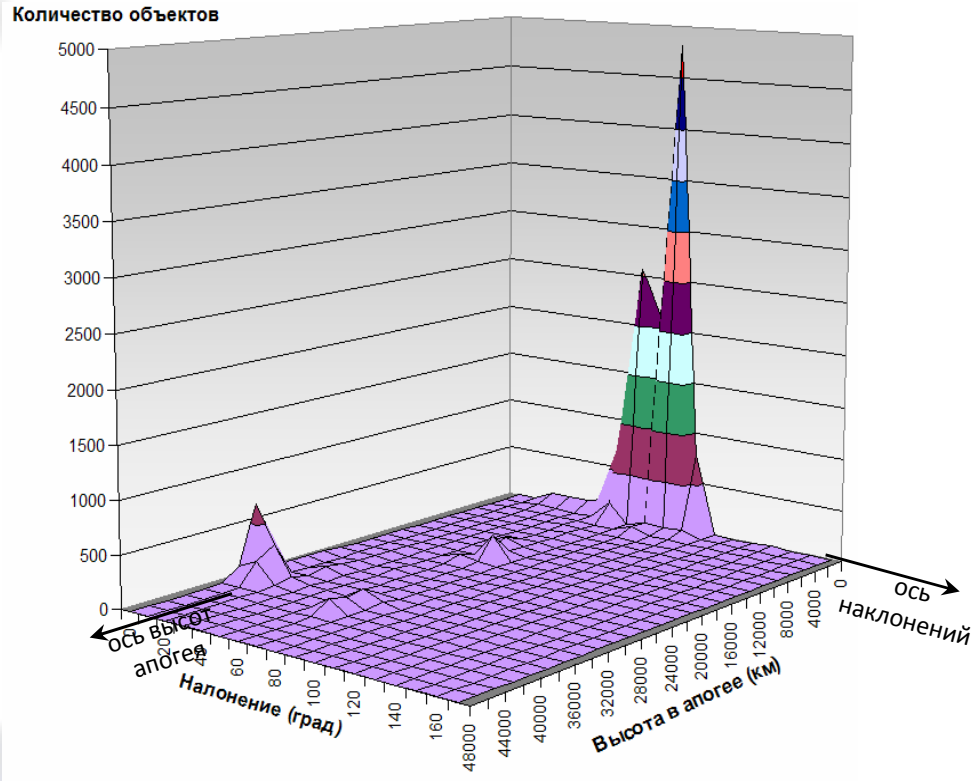
Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве

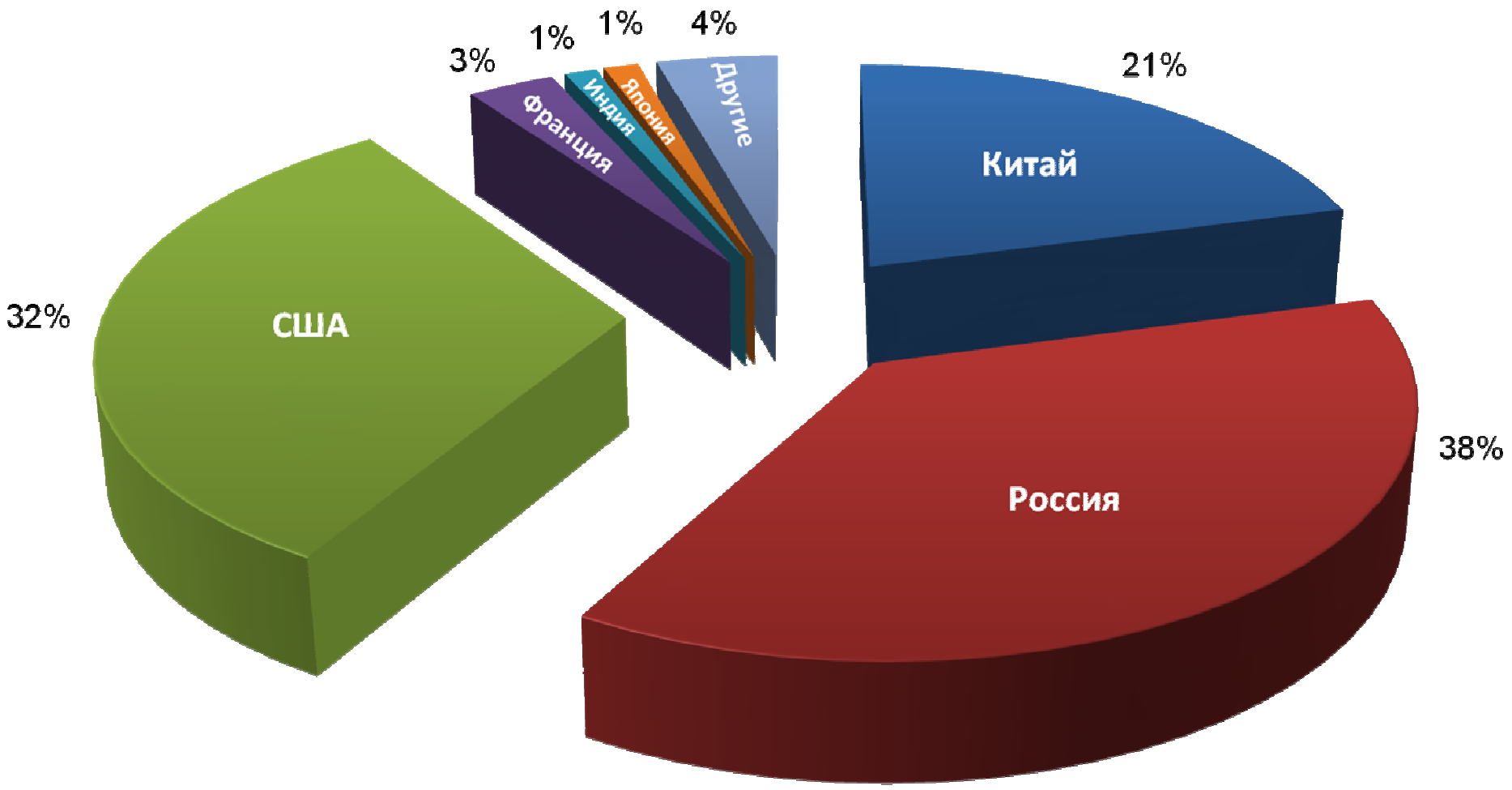
В.Г. Лаврентьев
И.И. Олейников

Общая характеристика техногенной обстановки в ОКП





Национальная принадлежность космических объектов
(по состоянию на начало 2011 года)



Примеры имевших место опасных событий

- Падение КА *«Космос-954»* с ядерным источником энергии на территорию Канады
- Столкновение и полное разрушение КА *«Iridium-33»* и КА *«Космос- 2251»*
- Падение вследствие неудачного запуска межпланетной космической станции *«Марс-96»* массой ~5 *тонн*, с радиоактивными элементами вблизи Чили
- Опасные сближения объектов космического мусора с *МКС*
- Столкновение французского спутника *«CERISE»* с фрагментом РН *«Ariane»*
- Сход с орбиты в неуправляемом режиме орбитальной станции *«Скайлэб»* (масса ~ 77 *тонн*)
- Неуправляемый сход с орбиты и падение на территорию Южной Америки ОС *«Салют-7»* (масса ~ 40 *тонн*)

Федеральная космическая программа – 2015. АСПОС ОКП

Цель. Разработка комплексов АСПОС ОКП для:

- Постоянного контроля за полетами КО техногенного и естественного происхождения, опасных для пилотируемых и автоматических КА;
- Выявления и прогноза развития опасных ситуаций в ОКП (сближения, сходы с орбиты и т.д.);
- Контроля мероприятий по уводу отработавших РН, РБ, КА в зоны захоронения;
- Информационного обеспечения участия России в международных проектах по проблеме КМ.

Этапы проведения работ:

- Разработаны основополагающие проектные документы;
- Разработаны базовые комплексы, организована разработка сегментов системы;
- Создана коммуникационная подсистема;
- Проводится экспериментальная эксплуатация комплексов системы.

Общая характеристика ОКР «АСПОС ОКП»

• *Основание для выполнения ОКР*:
Государственный контракт №851-5704/09 от 04.03.2009 г.

•*Цель ОКР*:

Разработка комплексов отраслевой АСПОС ОКП при эксперимен-тальной эксплуатации первой очереди автоматизированной системы.

Доработка АСПОС ОКП первой очереди и подготовка к вводу в опытную эксплуатацию.

•*Кооперация исполнителей*:

- ЦНИИмаш (головной исполнитель)
- ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
- АНО «МИИР»
- ИСЗФ СО РАН
- ОАО «МАК «Вымпел»
- ИЗМИРАН
- ОАО «НПК «СПП»

•*Сроки выполнения*: 01.2009 г. – 12.2011 г.

Состав и структура АСПОС ОКП

Схема связи Центрального ядра с сегментом сопровождения КО и поставки информации из ЦККП

(аппаратные средства)

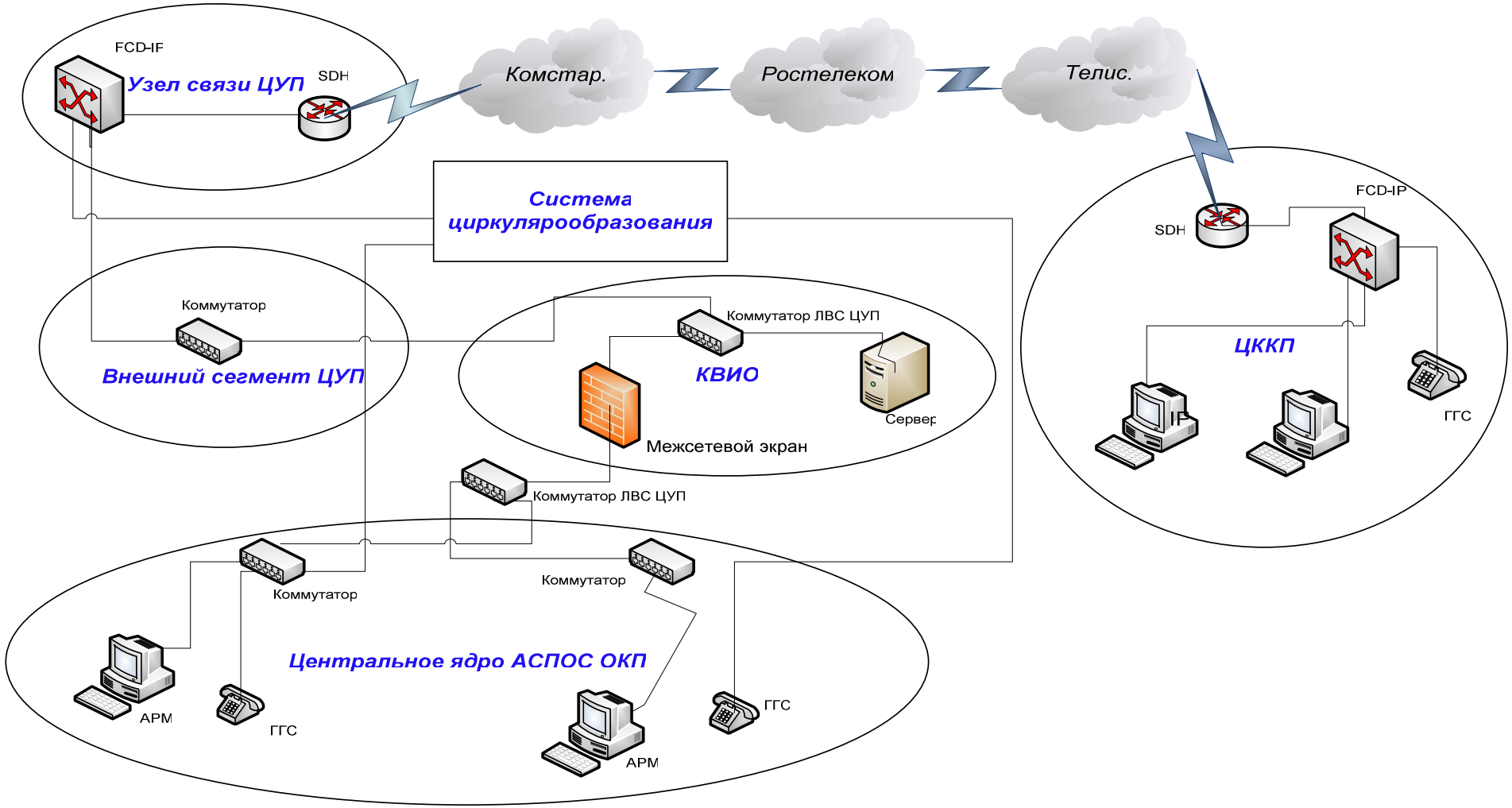


Схема связи Центрального ядра с сегментом ИПМ

(аппаратные средства)

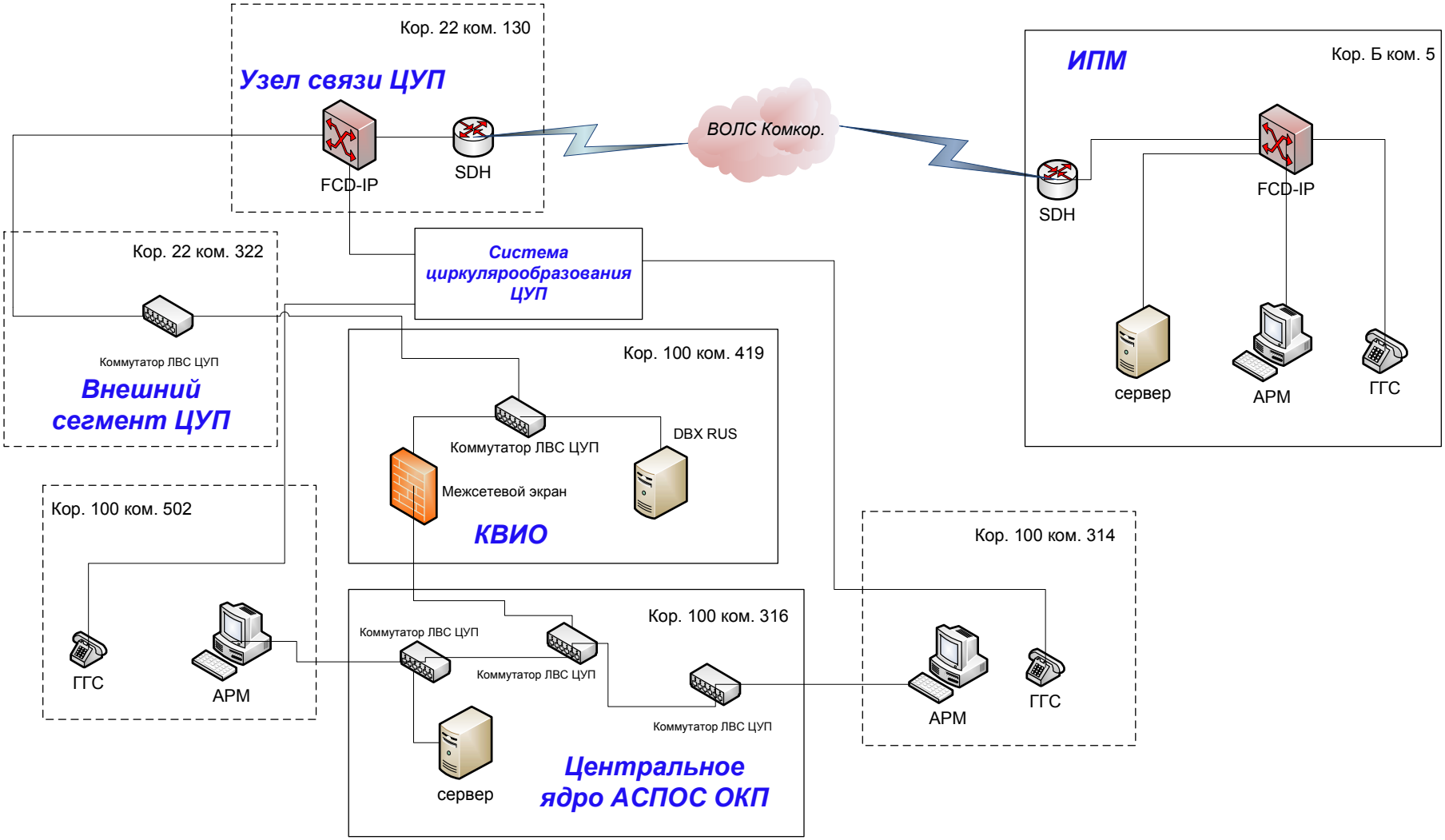


Схема взаимодействия АСПОС ОКП

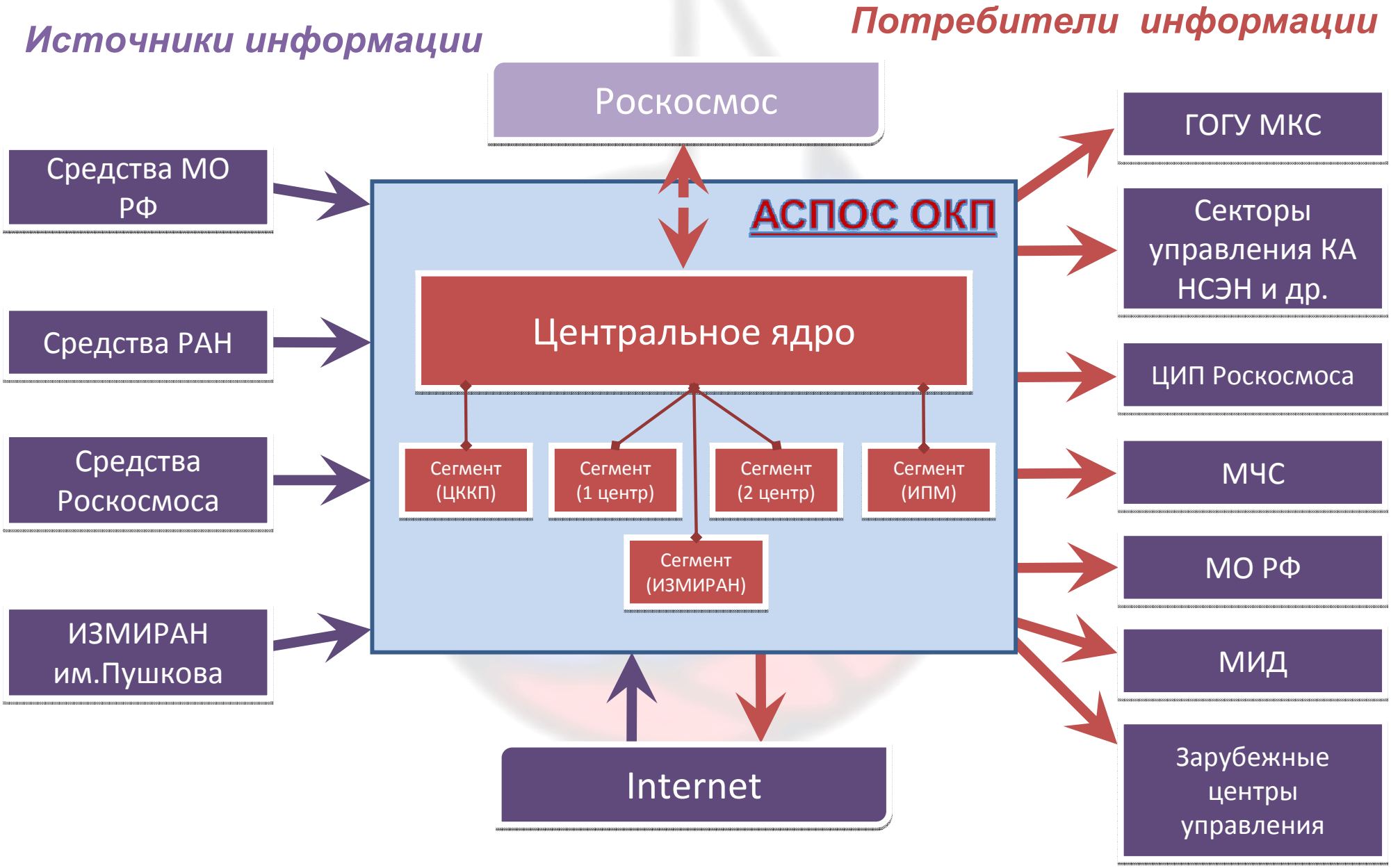


Схема функционирования АСПОС ОКП

1. Контроль за полетами КО, анализ обстановки в ОКП, планирование и координация работы сегментов (ЦЯ)
2. Получение и предварительная обработка результатов измерений (сегменты)
3. Выявление, анализ и прогнозирование развития опасных ситуаций (ЦЯ)
4. Сопровождение опасных ситуаций, выдача предупреждений и рекомендаций по парированию (ЦЯ)

Общая характеристика опасных сближений МКС с космическим мусором в 2009-2011гг.

Зафиксировано более 200 опасных сближений.

Ежемесячно выявляется 6-10 опасных сближений.

Данные за март 2011 года

Дата	Время	Наименование КМ	Вероятность столкновения
09.03	12:55:18	SL-12 (РФ)	$4{,}1_{10}$-6
14.03	00:02:48	Космос 2251 (РФ)	$2{,}6_{10}$-5
14.03	14:18:57	Fengyun (Китай)	$8{,}3_{10}$-6
22.03	03:40:13	Fengyun (Китай)	$1{,}2_{10}$-5
24.03	19:25:31	CRRES (США)	$3{,}4_{10}$-6
04.04	02:20:07	SL-3 R/B (Россия)	$7{,}7_{10}$-6

Опасные сближения МКС с космическим мусором в 2009-2011гг.

В 11 случаях выявлены нарушения зоны безопасности станции.

Выполнено 4 маневра уклонения.

Дата	Время	Наименование КМ	Вероятность столкновения	Примечание
12.03.09	16:39:41	Фрагмент РБ (США)	$2,34_{10}$-4	Экипаж эвак. в «Союз»
17.03.09	07:14:11	Фрагмент КА (РФ)	$2,63_{10}$-4	Красный порог
23.03.09	19:25:03	Chend Zhend (Китай)	$1,7_{10}$-4	Уклонение
21.05.09	12:11:18	Fengyun (Китай)	$4,7_{10}$-4	Красный порог
18.07.09	09:11:25	Не каталогизирован	$7,5_{10}$-4	Уклонение
19.09.09	17:27:58	Космос 2251 (РФ)	$1,47_{10}$-4	Красный порог
07.11.09	02:17:35	Не каталогизирован	$7,1_{10}$-3	Красный порог
30.04.10	04:02:09	Fengyun (Китай)	$1,85_{10}$-4	Красный порог
26.10.10	12:41:43	Uars (США)	$2,64_{10}$-4	Уклонение
02.04.11	06:35:50	Космос 2251 (РФ)	2.1_{10}-4	Уклонение
05.04.11	20:21:29	Fengyun (Китай)	$3,7_{10}$-3	Красный порог

Опасные сближения автоматических КА с космическим мусором в 2009-2011гг.

Выявлено более 500 сближений КМ с КА «Ресурс-ДК», «Коронас-Ф», «Стерх», ГЛОНАСС, КА в области ГСО.

Данные об опасных сближениях «Ресурс-ДК» в марте 2011 года

Дата	Время	Наименование КМ	Вероятность столкновения
12.03	11:35:56	Космос 1908 (РФ)	$2,9_{10}$-5
09.03	08:46:07	Fengyun (Китай)	$4,1_{10}$-6
12.03	04:06:53	OICETS (Япония)	$3,2_{10}$-5
19.03	09:13:18	Fengyun (Китай)	$1,8_{10}$-5
24.03	19:47:29	CZ-2D DEB (Китай)	$9,3_{10}$-6
28.03	01:38:53	PSLV DEB Индия	$7,6_{10}$-6
31.03	18:30:13	COSMOS 249 DEB Россия	$1,1_{10}$-5

УЧАСТИЕ В МЕЖДУНАРОДНЫХ ТЕСТОВЫХ КАМПАНИЯХ

Тестовая кампания МККМ в 2010г. Сопровождение схода с орбиты верхней ступени РН «Восток-2М».

№ п/п	Участники работ	Количество измерений	Ошибка прогноза (мин.)
1.	Англия/BNSC	-	+44
2.	Германия/DLR	-	+11
3.	ЕКА	4	+9
4.	Индия/ISRO	-	+6
5.	Италия/ASI	-	+5
6.	Китай/CNSA	-	-54
7.	Россия/Роскосмос	93	+2
8.	США/NASA	117	+10
9.	Франция/CNES	1	-24
10.	Япония/JAXA	4	+37

Падение: 04.30.2010 г., 16:54 UTC. φ = 10,4°s, λ=219,3°e

Направления развития АСПОС ОКП

1. Совершенствование технологии, средств и методов получения, обработки и предоставления информации АСПОС ОКП

2. Расширение перечня «защищаемых» КА

3. Интеграция информационных ресурсов Министерства обороны, Российской Академии наук и Роскосмоса на основе предоставления необходимой для АСПОС информации

4. Создание средств наблюдения за техногенной обстановкой в ОКП на территории РФ и за её пределами

5. Развитие международного сотрудничества. Разработка и реализация организационных и технических процедур взаимодействия АСПОС ОКП с аналогичными системами США, Западной Европы и других государств

Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве

В.Г. Лаврентьев
И.И. Олейников

Результаты выполненных этапов работ

- Разработаны и выпущены Аванпроект и Эскизный проект
- Созданы Центральное ядро и сегменты системы
- Создана система передачи данных между Центральным ядром, сегментами системы и внешними абонентами
- Разработано уникальное программно-математическое обеспечение решения целевых задач АСПОС ОКП
- Создан выносной терминал в ЦИП Роскосмоса. Ежесуточно выдаются сообщения о текущей техногенной обстановке в ОКП
- Создана оперативная группа мониторинга техногенной обстановки в ОКП
- Развернуты работы по созданию пунктов наблюдения за ОКП на территории РФ и за рубежом
- Обеспечено участие РФ в международных тестовых кампаниях по сопровождению схода с орбиты «падающих» КО
- Разработана КД и ЭД на отдельные комплексы и системы

Международная тестовая кампания 2010-1 (сопровождение схода с орбиты верхней ступени РН «Восток-2М»)

- **Окончательный прогноз времени и места прекращения существования РН, соответствующий центральной точке окна неопределенности, полученный Российской стороной:**

  Дата: 2010/30/04, 16:52 UTC
  Координаты: 10.4° ю.ш., 219.3° в.д.

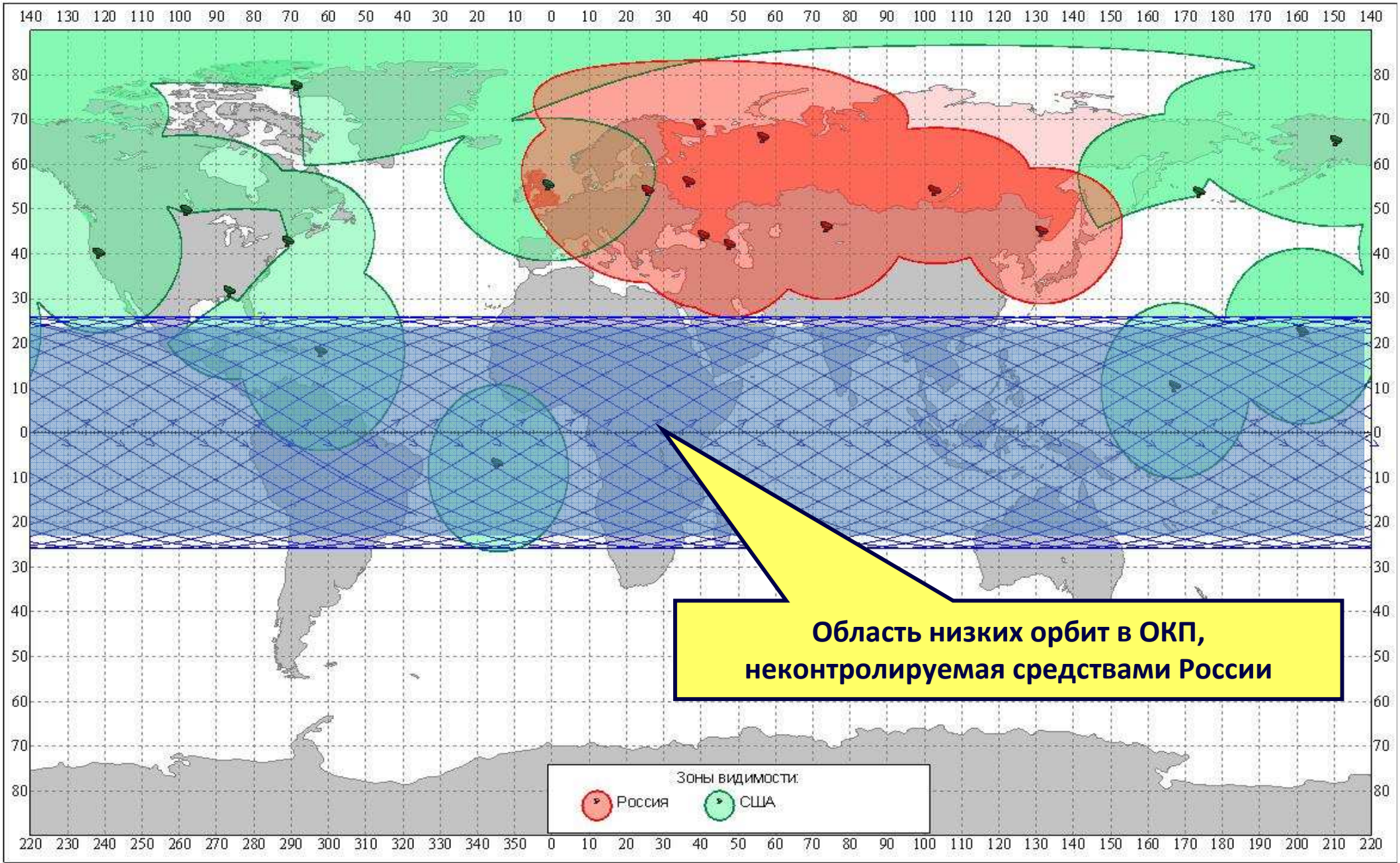
- **Официально принятое время падения РН:** ***2010/30/04, 16:54 UTC***

№ п/п	Участник работ	Кол-во представленных измерений	Кол-во представленных решений по прогнозу падения		Ошибка окончательного прогноза $\Delta t = t_{офиц} - t_{прогн}$
			всего	в последние сутки	
1.	Англия / BNSC (Herridge)	-	11	4	+44 мин
2.	Германия / DLR (Wiedemann)	-	7	4	+11 мин
3.	ЕКА (Klinkrad)	4	11	4	+9 мин
4.	Индия / ISRO (Ganeshan)	-	17	6	+6 мин
5.	Италия / ASI (Pardini)	-	22	7	+5 мин
6.	Китай / CNSA (Xiong)	-	25	4	-54 мин
7.	Россия / Роскосмос (Иванов)	93	22	9	+2 мин
8.	США / NASA (Johnson)	117	7	4	+10 мин
9.	Франция / CNES (Laporte)	1	7	3	-24 мин
10.	Япония / JAXA (Hirose)	4	7	1	+37 мин

Перспективы развития АСПОС ОКП

- Расширение международного сотрудничества в интересах обеспечения безопасности полетов КА
- Оказание информационно-баллистической поддержки операторам (государственным и негосударственным):
  - предупреждения о прогнозируемых опасных сближениях КА с космическим мусором
  - рекомендации о проведении маневров уклонения
- Расширение сети пунктов наблюдения за объектами и событиями в ОКП с размещением, как на территории России, так и за ее пределами
- Ситуационный анализ, координация и планирование работы российских и зарубежных наблюдательных пунктов
- Разработка предложений по принципам и организационным процедурам взаимодействия АСПОС ОКП с международными организациями

Необходимость наращивания возможностей АСПОС ОКП



Результаты ОКР «АСПОС ОКП» в 2010 г. (этап 9)

- Этап 9. Проведение работ в обеспечение международных обязательств России по проблеме космического мусора…

ЦНИИмаш - 9000 тыс. руб.

ИПМ им. М.В.Келдыша РАН - 2000 тыс. руб.

- Подготовлены материалы в обеспечение участия Роскосмоса в 28-й сессии МККМ;
- Подготовлены материалы в обеспечение участия российской делегации в 47-й сессии НТПК ООН;
- Подготовлены материалы для участия МИД в российско-американской дискуссии;
- Подготовлены материалы в обеспечение участия Роскосмоса в международных симпозиумах и семинарах;
- Выполнен комплекс мероприятий по подготовке и участию российской стороны в 12-й тестовой кампании.

Экспериментальная эксплуатация АСПОС ОКП (январь 2009 - апрель 2011 гг.)

- Выявлено более **500** сближений фрагментов космического мусора с российскими КА «Ресурс-ДК», «Коронас-Ф», «Стерх», КА группировки ГЛОНАСС и КА, функционирующих в области ГСО. **22** сближения оказались наиболее опасными (математическое ожидание промаха менее 1 км)
- Осуществлено оперативное баллистико-информационное сопровождение сходов с орбиты более **50** космических объектов с определением времени и района их падения
- Продолжаются оперативные работы по контролю схода с орбиты и прогнозу времени и района падения **10** КО риска (включая **2** верхние ступени РН)

Результаты применения АСПОС ОКП (2009 - 2011)

- Осуществлен контроль за 64 опасными сближениями МКС с фрагментами космического мусора.
  В 8 случаях была нарушена зона безопасности станции.
  Выполнено 4 маневра уклонения.

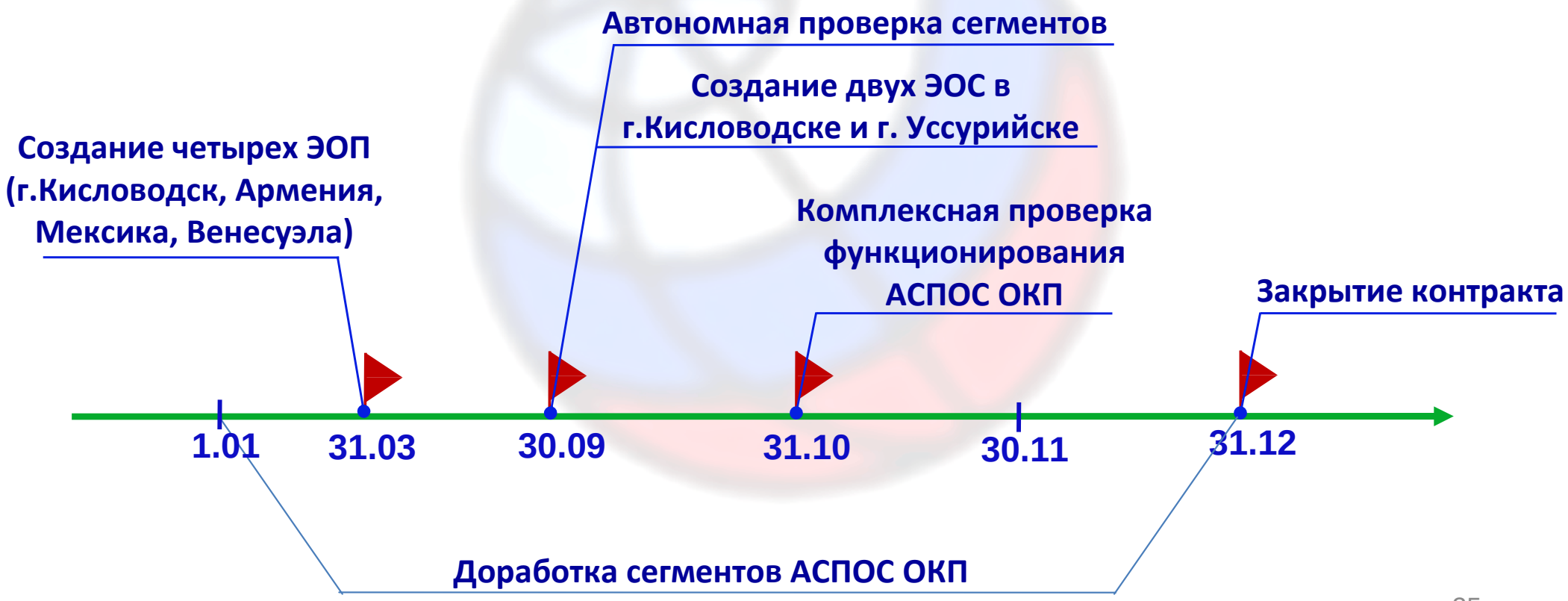
- Выявлено более 300 сближений фрагментов космического мусора с российскими КА «Ресурс-ДК», «Коронас-Фотон», «Стерх», КА ГЛОНАСС и КА в области ГСО.

- Осуществлено оперативное баллистико-информационное сопровождение сходов с орбиты 38 космических объектов с определением времени и района их падения.

- Обеспечено участие РФ в 2 международных тестовых кампаниях по сопровождению схода с орбиты «падающих» КО.

Работы 2011 года

- Завершение формирования структуры 1-ой очереди АСПОС ОКП
- Проведение работ по предоставлению информации потребителям в экспериментальном режиме
- Создание двух ЭОС в г.Кисловодске и г.Уссурийске



Работы 2012-2015 годов

- Опытная эксплуатация и наращивание информационно-аналитических возможностей 1-й очереди АСПОС ОКП
- Расширение информационного взаимодействия с потребителями и источниками информации
- Приемо-сдаточные испытания и ввод 1-й очереди АСПОС ОКП в штатную эксплуатацию

Основные характеристики АСПОС ОКП

Относительное число сопровождаемых КО (N) - отношение количества КО, сопровождаемых в ЦЯ АСПОС ОКП к общему числу зарегистрированных и находящихся в ОКП КО с размерами 10 см и более

Количество одновременно сопровождаемых опасных ситуаций (К) - пропускная способность, характеризующая возможности ЦЯ АСПОС ОКП уточнять параметры прогнозируемых опасных ситуаций и выдавать предупреждения по ним

Требуемые значения характеристик АСПОС ОКП

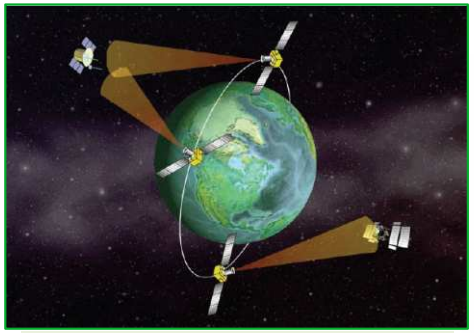
	НО	ГСО	СВО	ВЭО
N	100%	100%	100%	100%
$K_C^{cp} / K_C^{\max}$	3/100	1/30	1/30	1/20
$K_П^{cp} / K_П^{\max}$	10/50	—	—	1/5

Прогнозируемая эффективность 1-ой очереди АСПОС ОКП (экспертная оценка)

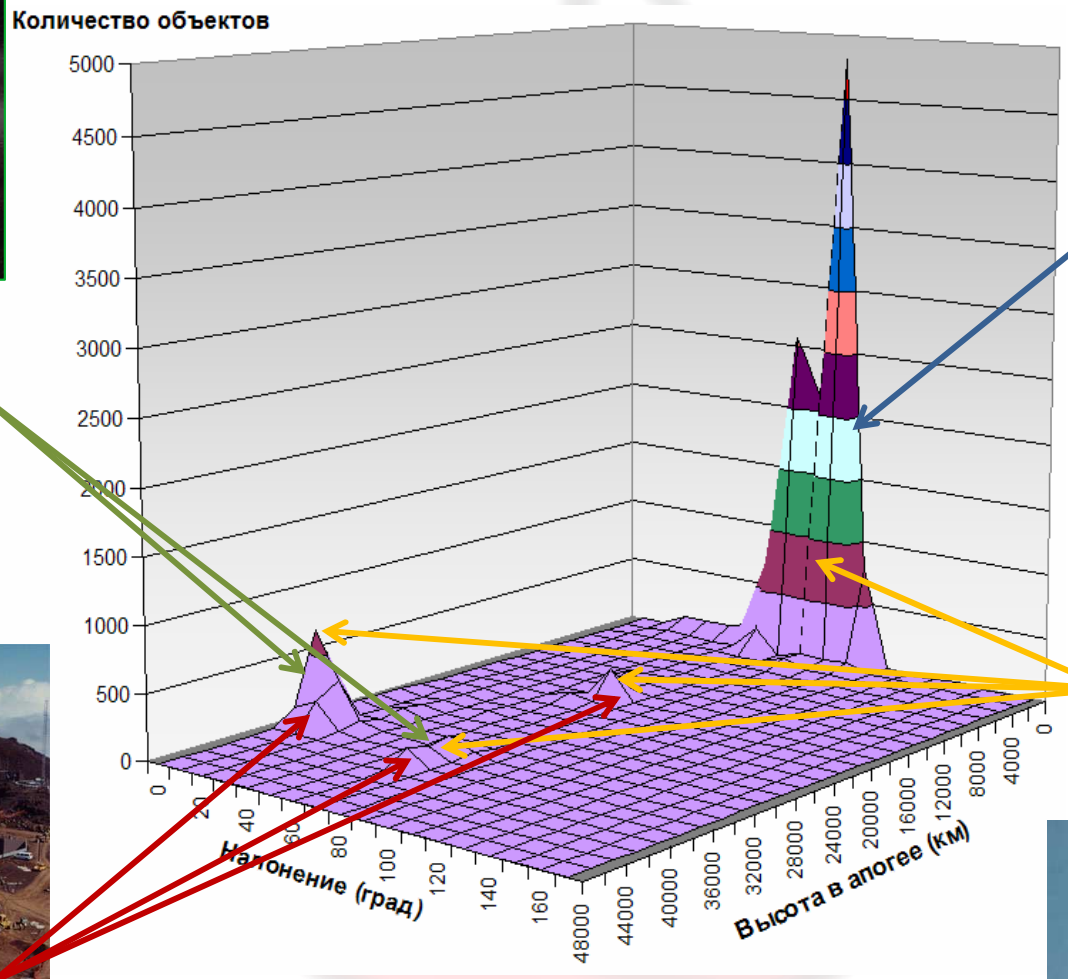
2010 год	НО	ГСО	СВО	ВЭО
Кол-во объектов (≥ 10 см)	15000	2000	500	5000
СККП РФ	40% (6000)	20% (400)	40% (200)	2% (100)
НСОИ АФН	-	75% (1500)	6% (30)	4% (200)
ЦЯ АСПОС (по измерениям от сегментов)	0% (2)	0% (2)	6% (30)	0% (0)
ЦЯ АСПОС (по TLE)	75% (12000)	50% (1000)	60% (300)	10% (500)
Количество сопровождаемых опасных ситуаций	1 - 2			

2015 год	НО	ГСО	СВО	ВЭО
Кол-во объектов (≥ 10 см)	-	-	-	-
СККП РФ	55-60%	25%	50%	10%
НСОИ АФН	5%	95%	95%	95%
ЦЯ АСПОС (по измерениям от сегментов)	60%	95%	95%	95%
ЦЯ АСПОС (по TLE)	75%	50%	60%	10%
Количество сопровождаемых опасных ситуаций	2 - 4	2	2	2

Технология получения измерительной информации

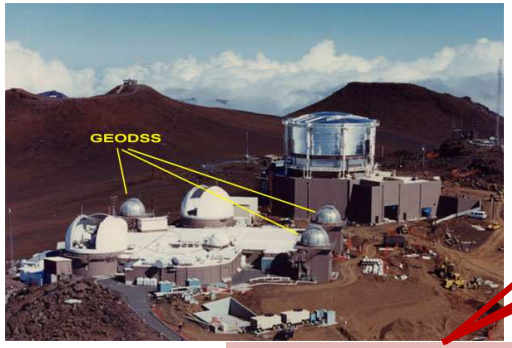


Области ОКП, контролируемые космическими средствами



Область ОКП, контролируемая РЛС

Возможная область ОКП, контролируемая морским комплексом обнаружения и сопровождения



Области ОКП, контролируемые оптико-электронными средствами

Вариант уточнения планов работ по АСПОС ОКП

Создание информационных средств Роскосмоса необходимо проводить по прямым контрактам специализированных организаций с Роскосмосом.

ФГУП ЦНИИмаш – головная организация по научному сопровождению (определение требований, экспертиза проектных материалов, организация информационного взаимодействия с Центральным ядром, организация испытаний и оценка основных тактико-технических характеристик).

Требуемое финансирование работ (тыс.руб.)

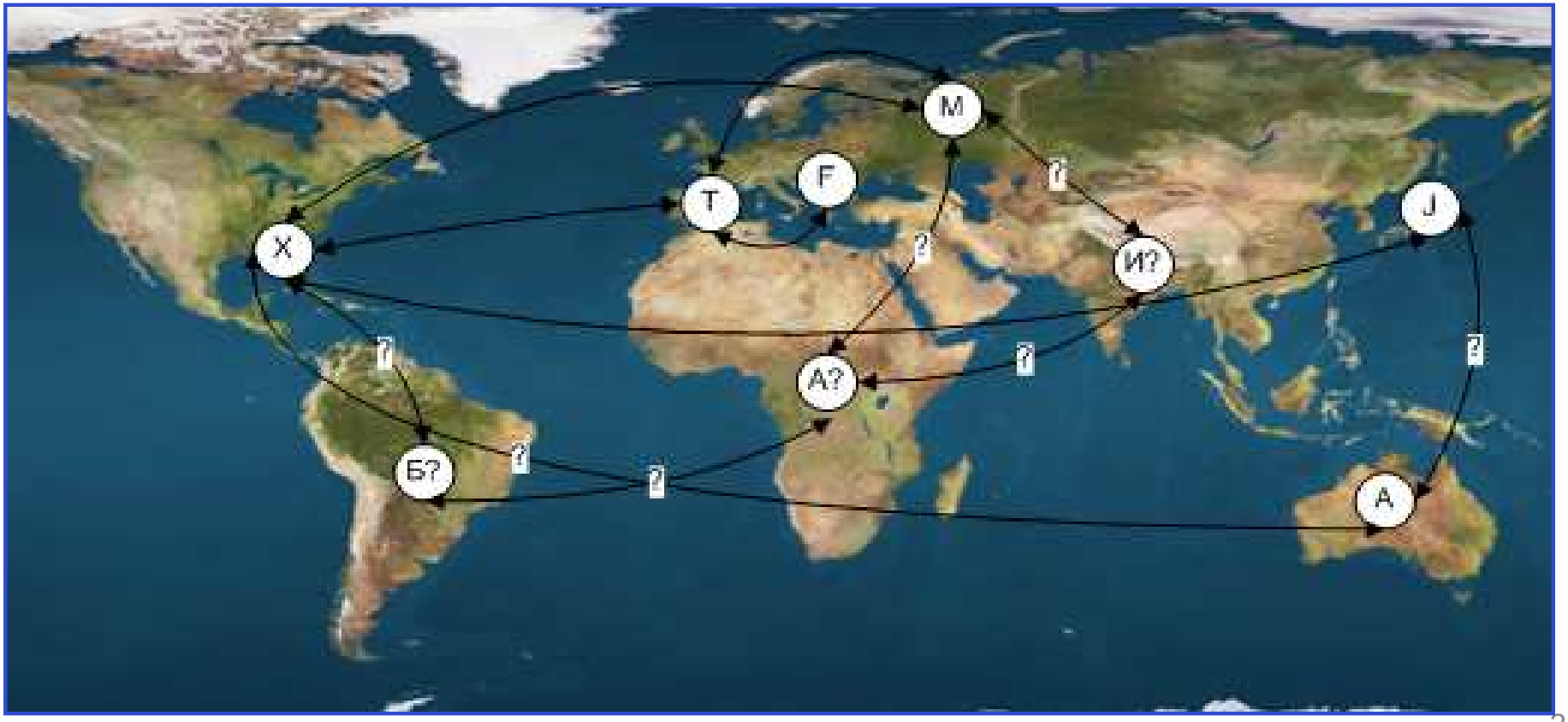
№ п/п	Шифр работы	Всего	2012г.		2013г.		2014г.	
				Работа ЦНИИмаш		Работа ЦНИИмаш		Работа ЦНИИмаш
1	НИР «Перспектива АСПОС»	149000,0	47000,0	37500,0	56000,0	52500,0	46000,0	41000,0
2	ОКР «АСПОС ОКП»	580000,0	180000,0	120000,0	190000,0	140000,0	210000,0	155000,0
3	ОКР «АСПОС ОКП-2020»	150000,0	100000,0	50000,0	50000,0	20000,0		
4	ОКР «РЛС АСПОС ОКП»	220000,0	100000,0	20000,0	50000,0	5000,0	70000,0	10000,0
5	ОКР «КС АСПОС ОКП»	280000,0			80000,0	30000,0	200000,0	50000,0
6	ОКР «МКОС АСПОС ОКП»	190000,0			90000,0	30000,0	100000,0	30000,0
7	ОКР «РЛС-О АСПОС ОКП»	180000,0			80000,0	30000,0	100000,0	30000,0
8	ОКР «РЛС-С АСПОС ОКП»	180000,0			80000,0	30000,0	100000,0	30000,0
	Всего		427000,0	227500,0	676000,0	337500,0	826000,0	346000,0
	Планируется		355000,0		390000,0		490000,0	

Направления международного сотрудничества

1. Регулярный обмен каталогами космических объектов и анализ результатов их сравнения

2. Совместное проведение оперативных работ по входящим в плотные слои атмосферы крупногабаритным КО, а так же аварийным КА

3. Совместный анализ сложных космических ситуаций



Выводы

1. Работы по созданию АСПОС ОКП осуществляются в соответствии с учрежденной ФКП-2015, Эскизным проектом и решениями Заказчика.
2. При организации работ на период до 2015 года необходимо решить следующие проблемные вопросы:

- Определение системных характеристик АСПОС ОКП;
- Практическая отработка взаимодействия сегментов АСПОС ОКП;
- Интеграция информационных ресурсов Министерства обороны, Российской Академии наук и Роскосмоса на основе предоставления необходимой для АСПОС ОКП информации;
- Развитие международного сотрудничества. Разработка и реализация организационных и технических процедур взаимодействия АСПОС ОКП с аналогичными системами США, Западной Европы и других государств;
- Проведение работ по созданию средств наблюдения за техногенной обстановкой в ОКП.

Спасибо за внимание!

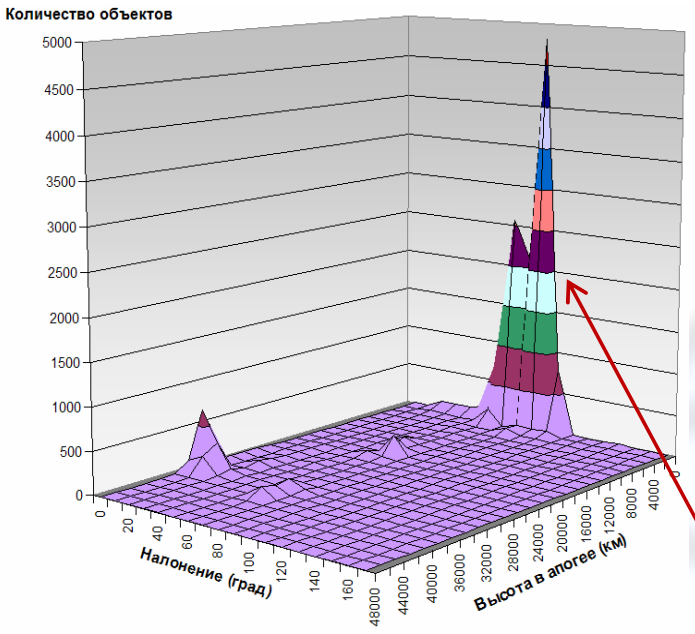
Перечень ОКР, необходимых для АСПОС ОКП

1. «Разработка комплексов отраслевой автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве» в 2012-2015 годах (ШИФР ОКР: «АСПОС ОКП»)
2. «Разработка комплексов отраслевой автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве в части создания космического сегмента мониторинга околоземного космического пространства» в 2013-2014 годах (ШИФР ОКР «КС АСПОС ОКП»)
3. «Разработка комплексов отраслевой автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве в части создания морского комплекса обнаружения и сопровождения космических объектов» в 2013-2014 годах (ШИФР ОКР «МКОС АСПОС ОКП»)
4. «Разработка имитационной модели в обеспечение прогноза возникновения чрезвычайных ситуаций космического характера в условиях техногенного и естественного засорения околоземного космического пространства» (ШИФР ОКР «Модель обстановки в ОКП»)

Перечень ОКР, необходимых для АСПОС ОКП

5. «Разработка комплексов отраслевой автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве в части создания комплекса радиолокационного наблюдения космических объектов на базе радиотелескопов ТНА-1500» в 2012 – 2014 годах (ШИФР ОКР: «РЛС АСПОС ОКП»)
6. «Разработка комплексов отраслевой автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве в части создания специализированной радиолокационной станции обнаружения малоразмерных космических объектов» в 2013-2014 годах (ШИФР ОКР: «РЛС-О АСПОС ОКП»)
7. «Разработка комплексов отраслевой автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве в части создания специализированной радиолокационной станции сопровождения космических объектов риска» в 2013-2014 годах (ШИФР ОКР: «РЛС-С АСПОС ОКП»)
8. «Разработка комплексов отраслевой автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве в части системного проектирования АСПОС ОКП на период до 2020 года» (ШИФР ОКР: «АСПОС ОКП-2020»)

Радиолокационные средства



РЛС AN/FPS-85

Область ОКП, контролируемая РЛС

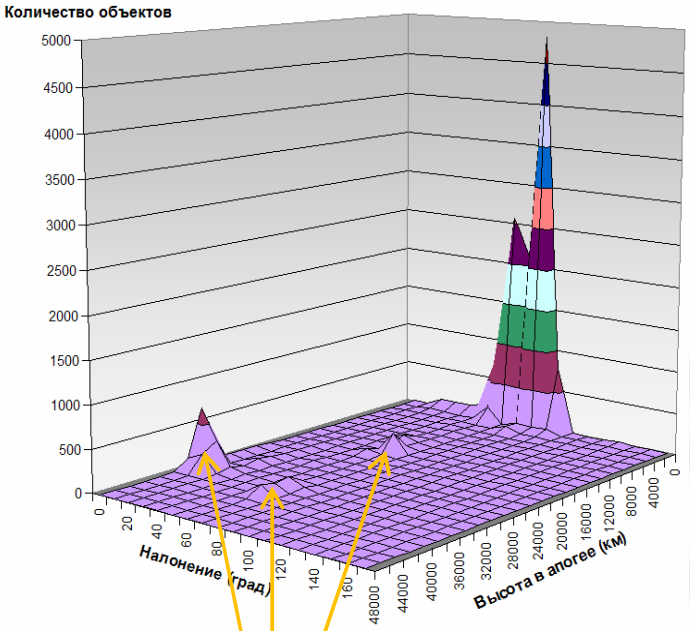
РЛС Haystack в разрезе

Кобальт-РЛС

РЛС Воронеж ДМ

РЛС TIRA

Оптические информационные средства

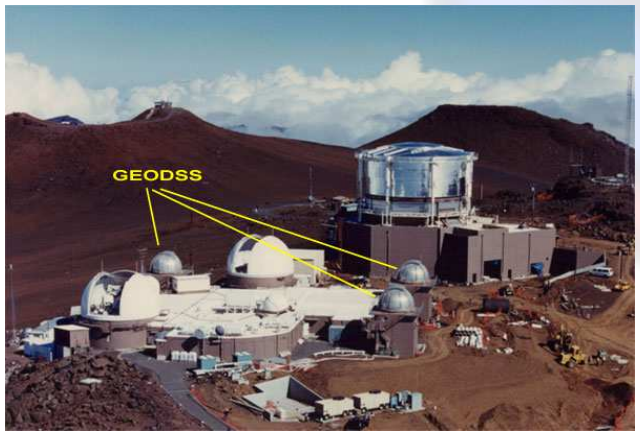


Алтайский оптико-лазерный центр (АОЛЦ)

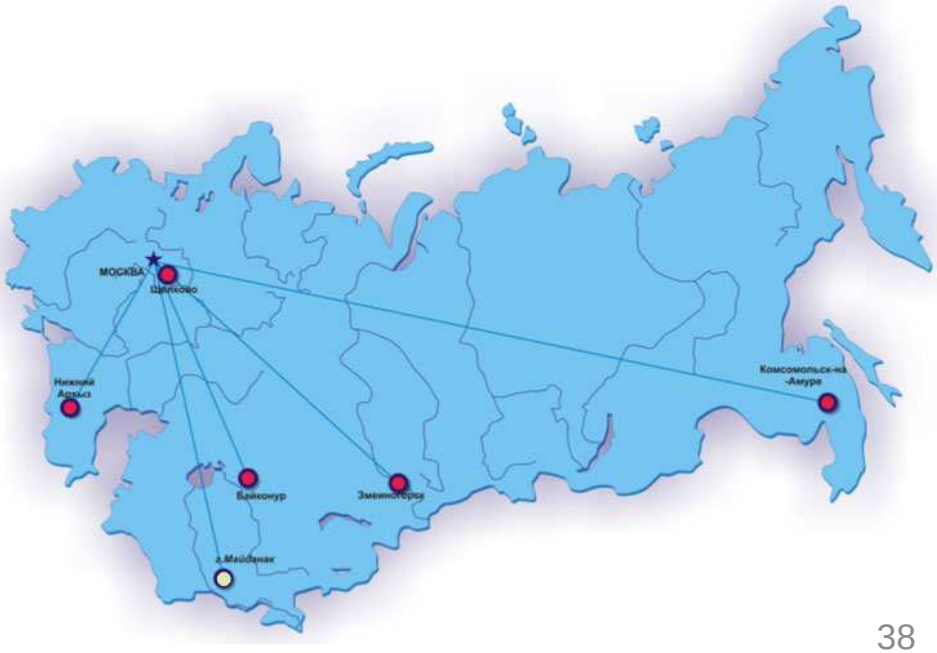
1. Наземная оптико-лазерная система.
2. Телескоп траекторных измерений (НОЛС ТТИ)

Алтайского оптико-лазерного центра (АОЛЦ)

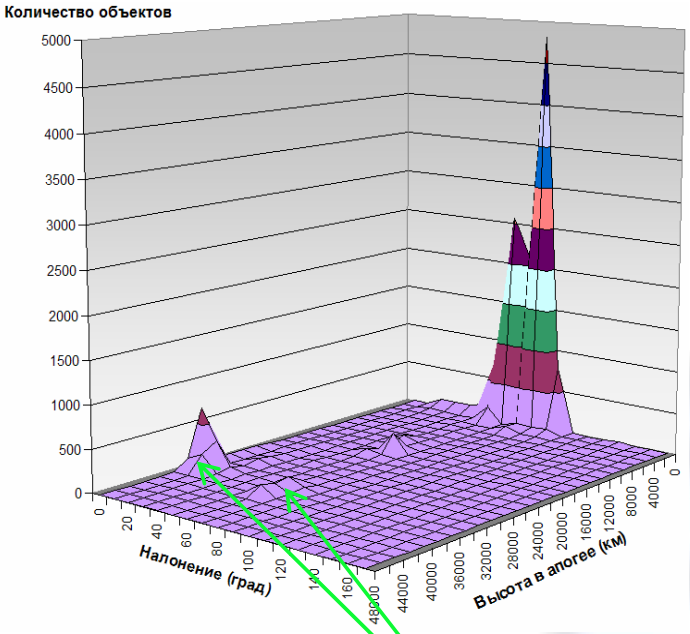
Области ОКП, контролируемые оптико-электронными средствами

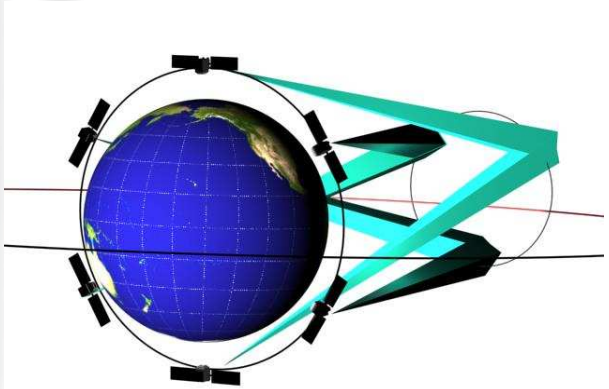


Станция GEODSS на о. Мауи



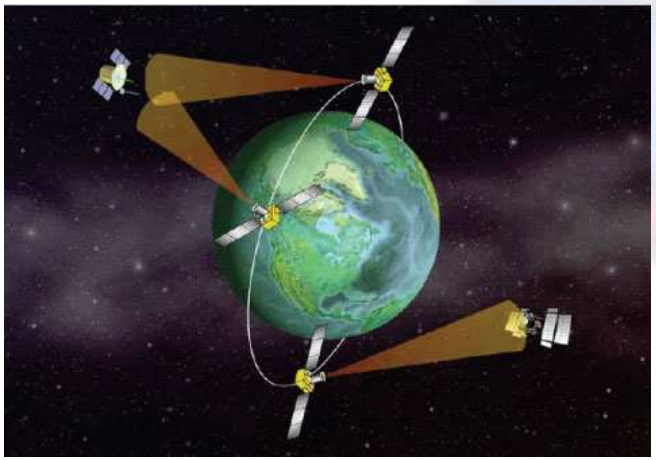
Космические средства



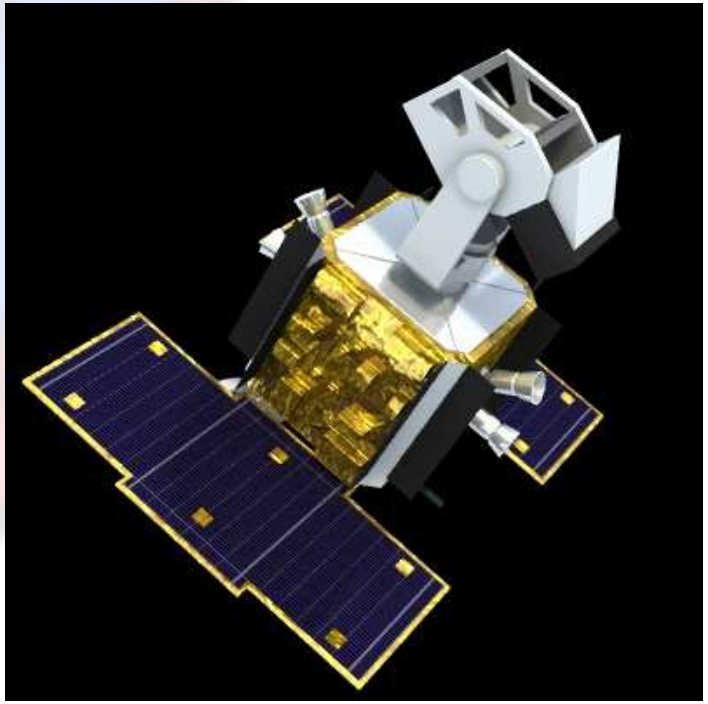


Контроль геостационарных космических объектов (ГСКО) и ВЭО

Области ОКП, контролируемые космическими средствами

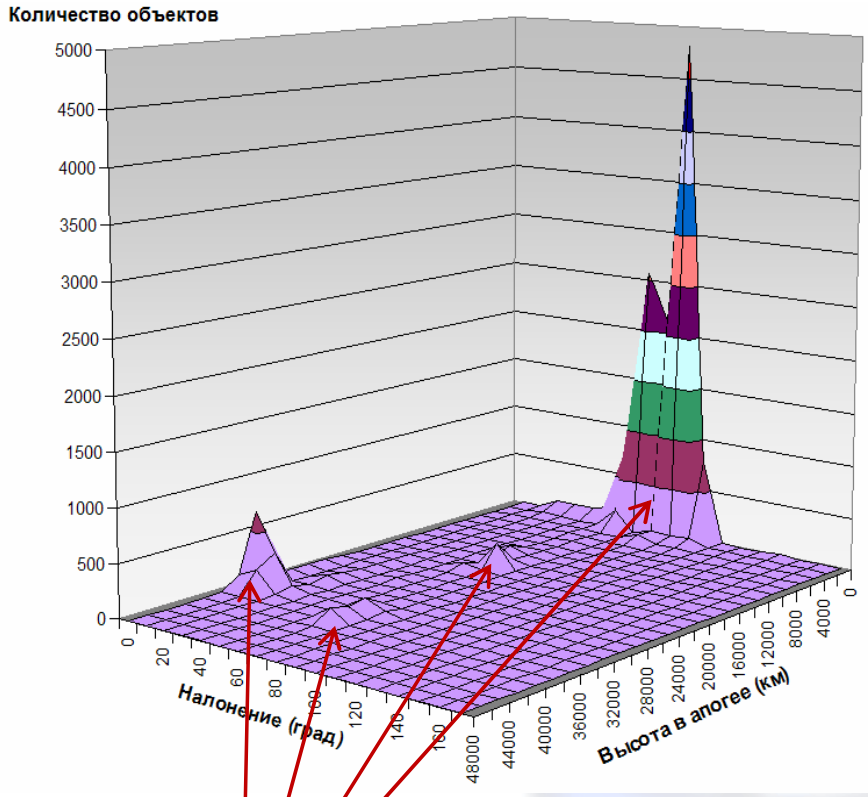


MSX



КА SBSS

Морские средства



Области ОКП, контролируемые морскими средствами

Ракетно-космический комплекс морского базирования «Морской старт»

РЛС Sea-Based X-band Radar (SBX-1)

Прогнозируемая эффективность 1-ой очереди АСПОС ОКП (экспертная оценка)

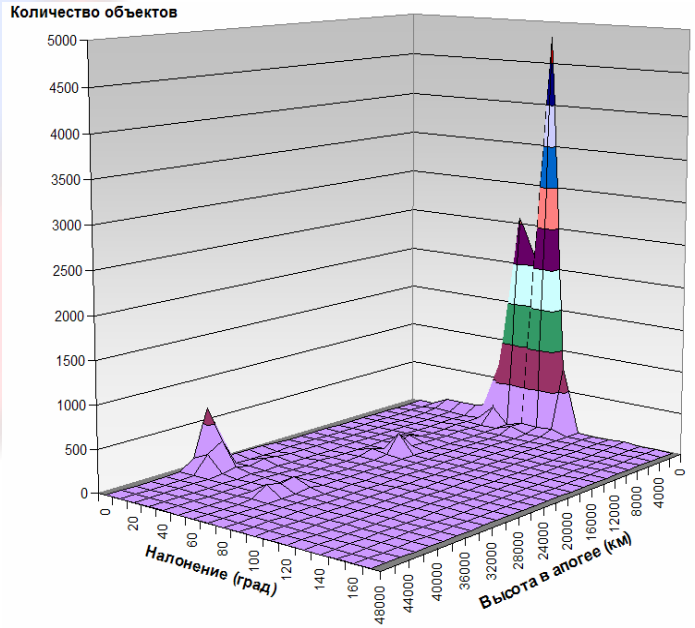
Критерий эффективности 1-ой очереди АСПОС ОКП – доля КО, за полетом которых система способна осуществлять постоянный контроль

2010 год	НО	ГСО	СВО	ВЭО
Сегмент ЦККП	0%			
Сегмент ИПМ		75%	0%	0%
ЦЯ АСПОС ОКП	0%	0%	0%	0%

2015 год	НО	ГСО	СВО	ВЭО
Сегмент ЦККП	~50%			5%
Сегмент ИПМ		80%	20%	10%
ЦЯ АСПОС ОКП	50%	80%	20%	15%

Количество сопровождаемых объектов

2010 год	НО	ГСО	СВО	ВЭО
СККП США (NORAD)	~15000	~2000	~500	~5000
СККП РФ	~6000	~400	~200	~100
НСОИ АФН		~1500	~0	~0
Средства Роскосмоса	?	?	?	?



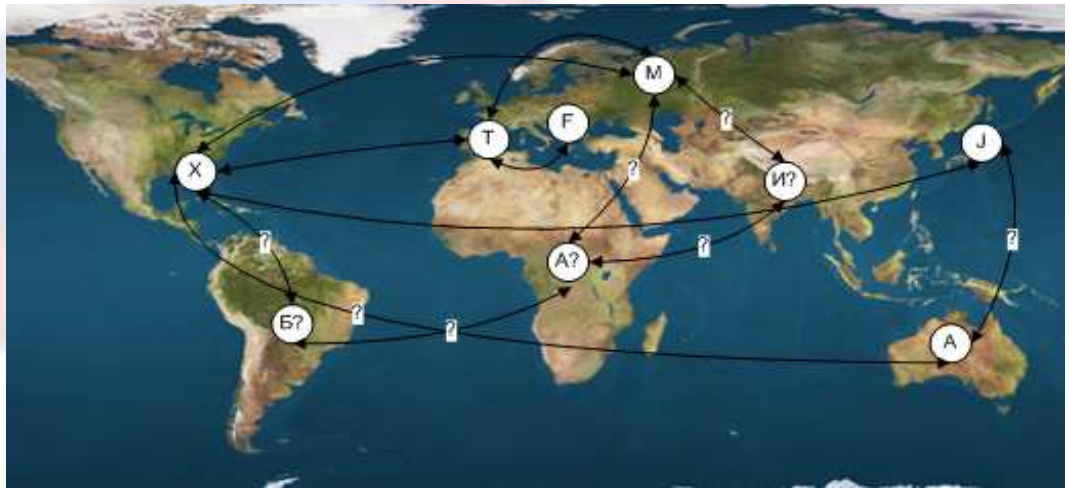
Прогнозируемая эффективность 2-ой очереди АСПОС ОКП к 2020 году

Вследствие собственной эффективности:

2020 год	НО	ГСО	СВО	ВЭО
Сегмент ЦККП	+			+
Сегмент ИПМ		+	+	+
РЛС Роскосмоса	+	+	+	+
Оптика Роскосмоса		+	+	+
Космический сегмент		+		+
Морской комплекс	+	+	+	+
	~100%	~100%	~100%	~100%

Вследствие международного сотрудничества:

1. Регулярный обмен каталогами космических объектов и анализ результатов их сравнения
2. Совместное проведение оперативных работ по входящим в плотные слои атмосферы крупногабаритным КО, а так же аварийным КА
3. Совместный анализ сложных космических ситуаций



Состав и структура сегмента сопровождения КО и поставки информации из ЦККП

Назначение:

- Обеспечение ЦЯ АСПОС ОКП данными о КО из Главного каталога ЦККП;
- Прогнозирование опасных ситуаций в НОО, выдача результатов в ЦЯ АСПОС ОКП.

Хронология создания СККП

Заказчик	Заказчик	Заказчик	Заказчик	Заказчик	Заказчик	Содержание работ
ЦНИИ МО	ЦНИИ МО	ЦНИИ МО	ЦНИИ МО	ЦНИИ МО	ЦНИИ МО	Обоснование сопровождения испытания Статья расходов-НИР
		МАК «Вымпел»	МАК «Вымпел» КМЗ	МАК «Вымпел» КМЗ НИИДАР	МАК «Вымпел» КМЗ НИИДАР	1)Разработка СМО и технологической аппаратуры; 2)Исследования для разработки СМО и технологической аппаратуры; Статья расходов-НИОКР 1-2 млрд/год
	ЦККП	ЦККП	ЦККП Окно	ЦККП Окно Крона Крона-Н	ЦККП Окно Крона Крона-Н Прицел	Строительство и эксплуатация ~8млрд/год
1962-1965	1965г.	1974г.	1979г.	1980г.	2005г.	