



Исследование геометрической точности снимков, полученных съемочной системой «Аврора» космического аппарата «Аист-2Д».

Авторы:

Ахметов Равиль Нургалиевич

Первый заместитель генерального директора - генеральный конструктор - начальник ЦСКБ АО"РКЦ "Прогресс" г. Самара

Лавров Виктор Викторович

генеральный директор ООО "Геоинформационное агентство "Иннотер" г. Москва

Сторож Александр Дмитриевич

первый заместитель генерального конструктора ЦСКБ АО"РКЦ "Прогресс" г. Самара

Стратилатов Николай Ремирович

главный конструктор - начальник отделения проектных и научно-исследовательских разработок КК и КА, ЦСКБ АО"РКЦ "Прогрес" г. Самара

Рашупкин Анатолий
Владимирович

начальник научно-производственного отдела тематической обработки и распространения информации ДЗЗ, ЦСКБ АО"РКЦ "Прогресс" г. Самара

Федосеев Александр Андреевич
Демидюк Дмитрий Алексеевич

начальник сектора, ЦСКБ АО"РКЦ "Прогресс" г. Самара
инженер-фотограмметрист ООО "Иннотер" г. Москва

Введение

Опытно-технологический малый космический аппарат «Аист-2Д» был запущен **28 апреля 2016г.** с космодрома **«Восточный» РН «Союз-2»** этапа 1а с БВ «Волга» совместно с космическим аппаратом «Ломоносов» (разработчик – ОАО «Корпорация ВНИИЭМ») и автономным модулем научно-технологической аппаратуры «Контакт - Наноспутник» (разработчик – СГАУ им. академика С.П. Королева).



Технические характеристики

Основные характеристики ОТ МКА «Аист-2Д»

Наименование характеристики	Значение
Параметры рабочей орбиты	
- тип орбиты	солнечно-синхронная
- высота, км	490
Срок активного существования	не менее 3 лет
Разрешение (проекция пикселя) для высоты орбиты 490 км, м	
- в панхроматическом диапазоне	<u>не хуже 1,6</u>
- в мультиспектральном диапазоне	не хуже 4,5
- в инфракрасном диапазоне	не хуже 122
Полоса захвата для аппаратуры видимого диапазона, км	<u>39</u>
Полоса захвата для аппаратуры инфракрасного диапазона, км	47
Скорость передачи целевой информации на наземный пункт приёма, Мбит/с	150
Масса МКА, кг	<u>531</u>
Масса целевой и научной аппаратуры, кг	150



Цели и задачи программы

Задачи, решаемые малым космическим аппаратом:

- получение информации дистанционного зондирования Земли, отработка целевой аппаратуры, наземных средств управления, приёма и обработки информации и методов обработки информации ДЗЗ с высоким разрешением;
- отработка методов съёмки в ИК-диапазоне с использованием микроболометрической матрицы;
- отработка программно-технических средств малой космической платформы;
- проведение летной сертификации в условиях космического пространства экспериментальных фотоэлектрических преобразователей на основе наноструктурированного кремния;
- отработка методов радиолокационного наблюдения земной поверхности и подповерхностных структур в УКВ диапазоне частот;
- проведение экспериментов по прохождению сверхширокополосных УКВ-радиосигналов через ионосферу Земли;
- экспериментальное определение деградации образцов поверхностных элементов космического аппарата под воздействием потоков высокоскоростных частиц, потоков фотонов, ультрафиолета, а также собственной атмосферы МКА;
- отработка аппаратуры для контроля и компенсации бортовых микроускорений в низкочастотной части спектра;
- оценка влияния состава собственной внешней атмосферы МКА на качество научных и технологических экспериментов;
- комплексные испытания экспериментальной сенсорной системы на базе интегральных и волоконно-оптических преобразователей физических величин;
- измерение параметров микрометеоритов и частиц космического мусора в околоземном пространстве.

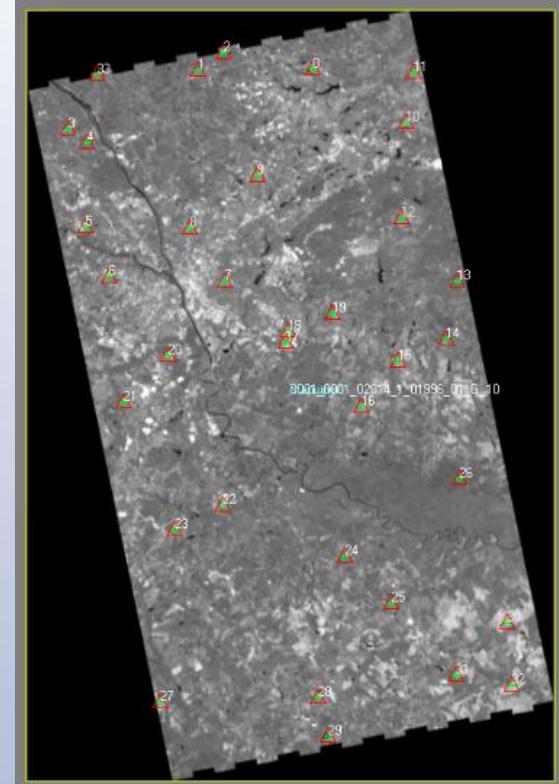
Геометрическая оценка точности

Схемы уравнивания, применявшиеся в различных экспериментах

№ схемы	Число опорных точек	Геометрическая модель	Цель эксперимента
1	0	RPC	Оценка точности исходных RPC
2	1	RPC+сдвиг	Оценка точности, достижимой с использованием RPC по единственной опорной точке
3	4	RPC+сдвиг	Сравнение сдвига и аффинной поправки в RPC при использовании одного набора опорных точек
4	4	RPC+аффинная поправка	Оценка точности, достижимой с использованием RPC по минимально-избыточному набору опорных точек с введением аффинной поправки
5	4	Универсальная аффинная	Оценка точности аффинной универсальной модели при использовании минимального достаточного набора опорных точек, и сравнения с точностью ориентирования по RPC
6	5	RPC+сдвиг	Выяснение целесообразности увеличения опорных точек при использовании поправки типа сдвиг
7	5	RPC+аффинная поправка	Выяснение целесообразности увеличения опорных точек при использовании аффинной поправки
8	10	RPC+сдвиг	Выяснение целесообразности увеличения опорных точек при использовании поправки типа сдвиг
9	10	RPC+аффинная поправка	Выяснение целесообразности увеличения опорных точек при использовании аффинной поправки
10	все	RPC+сдвиг	Оценка наилучшей достижимой точности при использовании RPC и поправки типа сдвиг
11	все	RPC+аффинная поправка	Оценка наилучшей достижимой точности при использовании RPC и аффинной поправки
12	10	Универсальная аффинная	Оценка точности различных универсальных моделей, и сравнения с точностью ориентирования по RPC
13	10	Параллельно-перспективная	
14	10	DLT	

Результаты обработки

№ схемы	Количество опорных точек	Геометрическая модель	СКО по опорным точкам, м	Максимальное отклонение по опорным точкам, м	Количество контролльных точек	СКО по контрольным точкам, м	Максимальное отклонение по контрольным точкам, м
1	0	RPC	-	-	34	6,457	13,629
2	1	RPC+сдвиг	0,037	0,037	33	5,428	12,036
3	4	RPC+сдвиг	3,173	4,887	30	6,822	13,635
4	4	RPC+аффинная поправка	0,556	0,578	30	6,588	15,333
5	4	Универсальная аффинная	0,000	0,000	30	7,147	16,934
6	5	RPC+сдвиг	3,938	6,281	29	5,911	12,505
7	5	RPC+аффинная поправка	2,656	5,211	29	5,737	14,317
8	10	RPC+сдвиг	4,980	8,182	24	4,967	11,206
9	10	RPC+аффинная поправка	4,562	6,857	24	4,720	12,011
10	34	RPC+сдвиг	4,774	10,041	0	-	-
11	34	RPC+аффинная поправка	4,442	10,789	0	-	-
12	10	Универсальная аффинная	3,883	7,418	24	5,633	11,419
13	10	Параллельно-перспективная	3,826	7,127	24	6,055	13,654
14	10	DLT	3,269	6,332	24	5,817	14,096

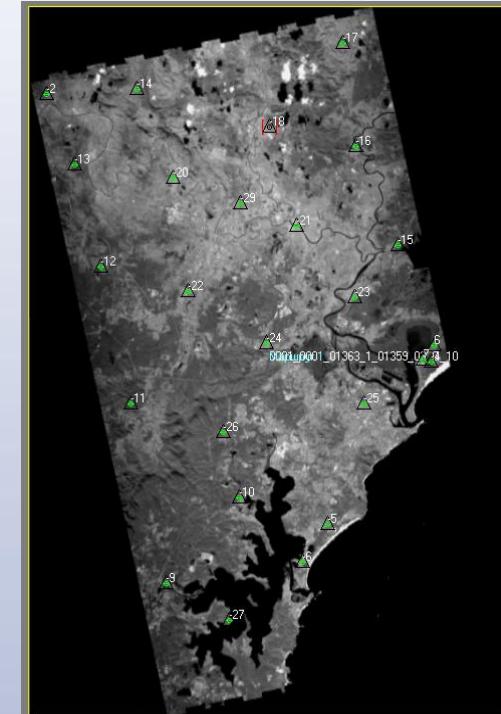


г. Колумбия, США
Август 2016 года

Точность опорных точек	
В плане	1 м
По высоте	12 м
Размер пикселя	1,461 м

Результаты обработки

№ схемы	Количество опорных точек	Геометрическая модель	СКО по опорным точкам, м	Максимальное отклонение по опорным точкам, м	Количество контрольных точек	СКО по контрольным точкам, м	Максимальное отклонение по контрольным точкам, м
1	0	RPC	-	-	25	9,429	20,803
2	1	RPC+сдвиг	0,033	0,033	24	9,397	20,144
3	4	RPC+сдвиг	10,955	14,602	21	8,533	17,258
4	4	RPC+аффинная поправка	2,200	2,705	21	4,168	9,326
5	4	Универсальная аффинная	0,000	0,000	21	38,930	110,349
6	5	RPC+сдвиг	9,893	14,001	20	8,641	17,771
7	5	RPC+аффинная поправка	2,394	3,688	20	3,964	8,956
8	10	RPC+сдвиг	8,683	13,624	15	8,991	18,016
9	10	RPC+аффинная поправка	2,961	5,882	15	4,153	9,006
10	25	RPC+сдвиг	8,798	17,429	0	-	-
11	25	RPC+аффинная поправка	3,419	7,709	0	-	-
12	10	Универсальная аффинная	3,093	6,216	15	4,603	9,276
13	10	Параллельно-перспективная	2,356	3,979	15	4,401	10,354
14	10	DLT	2,620	4,533	15	4,752	8,527

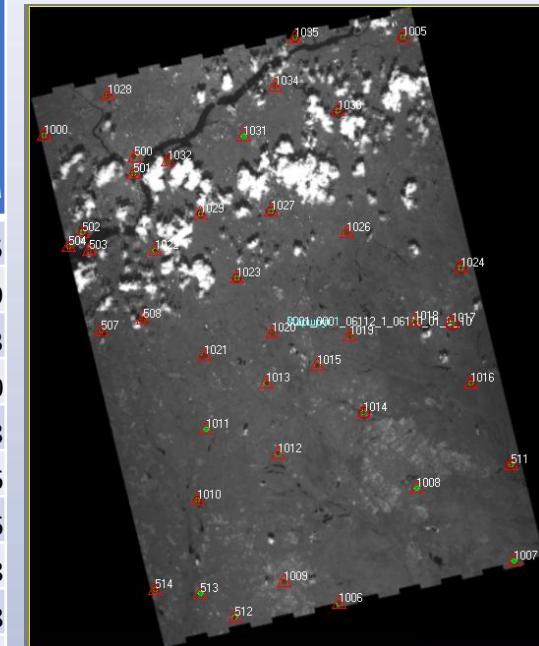


г. Ньюкасл, США
Август 2016 года

Точность опорных точек	
В плане	1 м
По высоте	12 м
Размер пикселя	1,439 м ⁷

Результаты обработки

№ схемы	Количество опорных точек	Геометрическая модель	СКО по опорным точкам, м	Максимальное отклонение по опорным точкам, м	Количество контрольных точек	СКО по контрольным точкам, м	Максимальное отклонение по контрольным точкам, м
1	0	RPC	-	-	42	13,955	19,605
2	1	RPC+сдвиг	0,027	0,027	41	4,399	8,199
3	4	RPC+сдвиг	1,521	1,913	38	3,881	7,663
4	4	RPC+аффинная поправка	0,410	0,561	38	3,994	6,870
5	4	Универсальная аффинная	0,000	0,000	38	12,749	29,498
6	5	RPC+сдвиг	1,558	1,992	37	3,977	7,476
7	5	RPC+аффинная поправка	0,813	1,430	37	4,086	7,056
8	10	RPC+сдвиг	2,995	5,109	32	3,961	6,828
9	10	RPC+аффинная поправка	2,586	4,410	32	3,940	7,158
10	42	RPC+сдвиг	3,648	7,266	0	0,000	0,000
11	42	RPC+аффинная поправка	3,366	5,875	0	0,000	0,000
12	10	Универсальная аффинная	4,570	8,651	32	7,117	23,731
13	10	Параллельно-перспективная	4,144	8,031	32	7,473	25,400
14	10	DLT	4,255	8,037	32	7,533	24,312

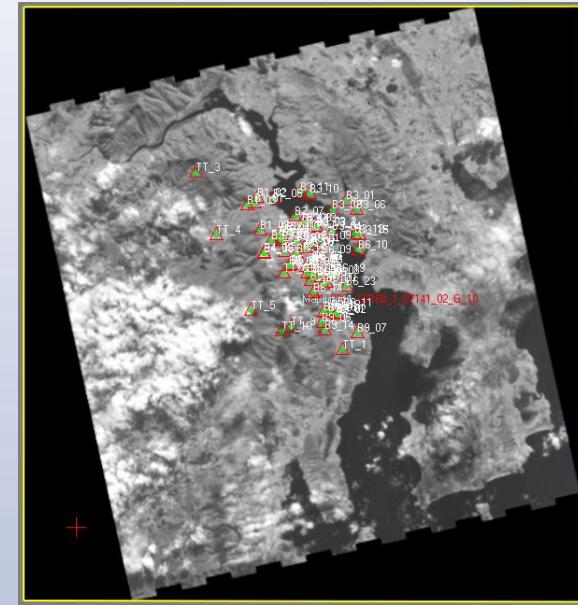


г. Филадельфия, США
Июнь 2017 года

Точность опорных точек	
В плане	1 м
По высоте	12 м
Размер пикселя	1,603 м

Результаты обработки

№ схемы	Количество опорных точек	Геометрическая модель	СКО по опорным точкам, м	Максимальное отклонение по опорным точкам, м	Количество контролльных точек	СКО по контролльным точкам, м	Максимальное отклонение по контролльным точкам, м
1	0	RPC	-	-	72	8,153	12,844
2	1	RPC+сдвиг	0,033	0,033	71	2,179	4,483
3	4	RPC+сдвиг	1,426	1,972	68	2,430	5,147
4	4	RPC+аффинная поправка	0,495	0,638	68	1,664	4,066
5	4	Универсальная аффинная	0,000	0,000	68	1,729	6,094
6	5	RPC+сдвиг	1,666	2,205	67	2,230	4,648
7	5	RPC+аффинная поправка	0,461	0,626	67	1,645	4,035
8	10	RPC+сдвиг	2,224	3,564	62	2,185	4,534
9	10	RPC+аффинная поправка	0,980	1,476	62	1,609	4,125
10	72	RPC+сдвиг	2,125	4,109	0	0,000	0,000
11	72	RPC+аффинная поправка	1,208	4,202	0	0,000	0,000
12	10	Универсальная аффинная	0,679	1,135	62	1,813	4,431
13	10	Параллельно-перспективная	0,644	0,967	62	1,785	4,688
14	10	DLT	0,568	0,718	62	1,634	4,241

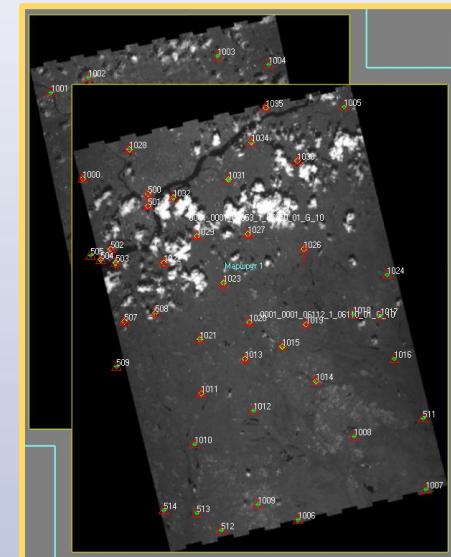


г. Хобарт, Австралия
Август 2017 года

Точность опорных точек	
В плане	0,2 м
По высоте	0,3 м
Размер пикселя	1,450 м

Результаты обработки псевдостереосъемки

№ схемы	Количество опорных точек	Геометрическая модель	СКО по связующим точкам, м	СКО по опорным точкам в плане, м	СКО по опорным точкам по высоте, м	СКО по контрольным точкам в плане, м	СКО по контрольным точкам по высоте, м
1	0	RPC	4,370	-	-	6,780	25,800
2	1	RPC+сдвиг	4,363	0,268	2,230	3,384	6,070
3	4	RPC+сдвиг	4,369	1,897	3,310	2,838	9,440
4	4	RPC+аффинная поправка	0,965	1,962	1,820	5,763	8,150
5	4	Универсальная аффинная	1,015	0,015	0,333	4,951	93,000
6	5	RPC+сдвиг	4,365	1,743	2,630	2,843	9,220
7	5	RPC+аффинная поправка	0,982	2,249	1,220	4,281	7,670
8	10	RPC+сдвиг	1,066	2,902	18,800	3,075	21,800
9	10	RPC+аффинная поправка	1,001	2,822	3,330	3,444	6,840
10	42	RPC+сдвиг	4,366	2,709	5,710	0,000	0,000
11	42	RPC+аффинная поправка	1,275	2,653	5,410	0,000	0,000
12	10	Универсальная аффинная	1,093	3,043	20,200	2,637	23,300
13	10	Параллельно-перспективная	1,425	3,269	18,300	3,128	31,800
14	10	DLT	1,066	2,902	18,800	3,075	21,800



г. Филадельфия, США

15 Мая 2017 года

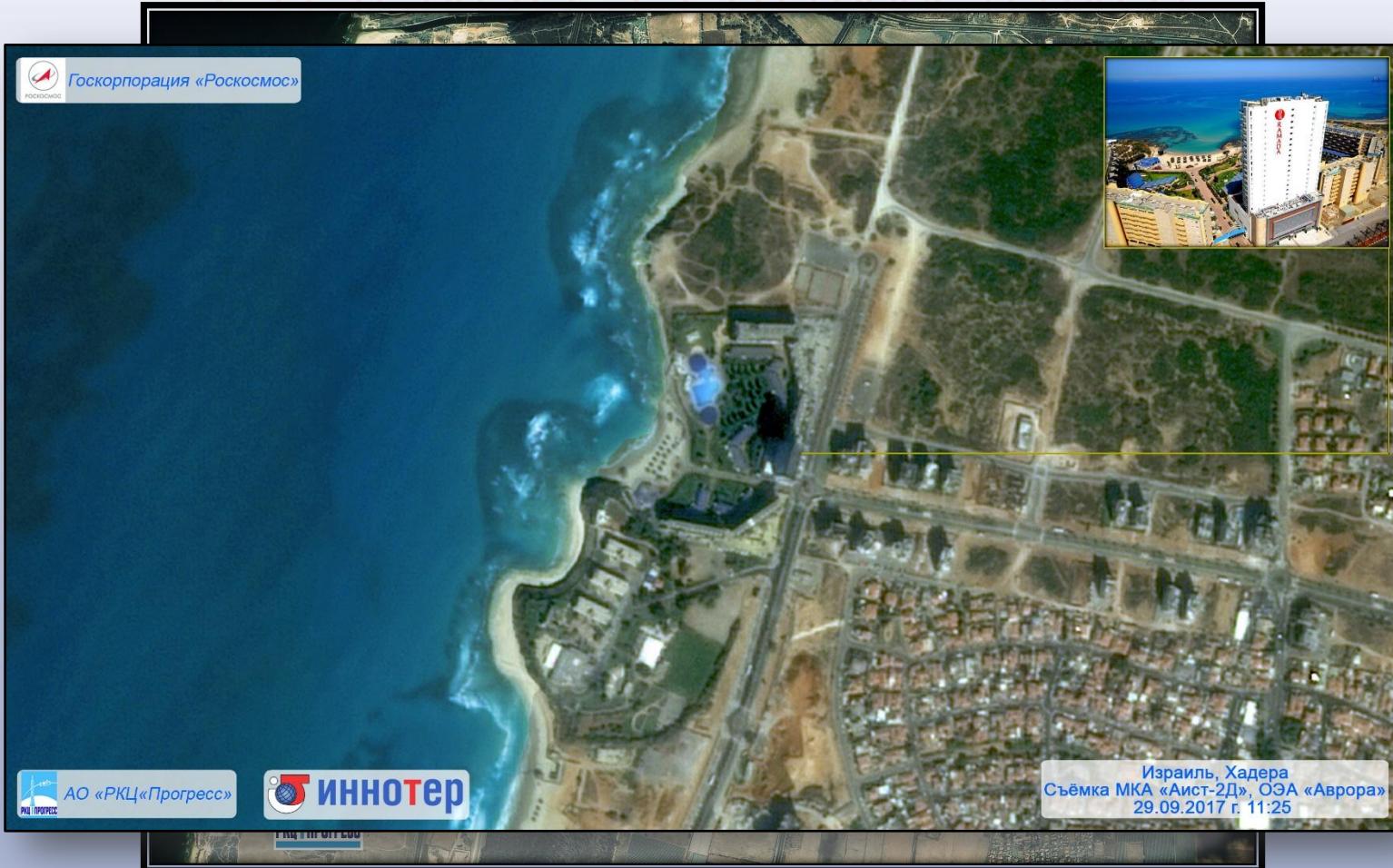
1 Июня 2017 года

Точность опорных точек	
В плане	1 м
По высоте	12 м
Угол конвергенции	16°31'
Размер пикселя	1,603 м

Выводы

- По сравнению с 2016 годом в 2017 году были внесены изменения в технологию получения RPC, что привело к улучшению описания модели. Это видно на примере геометрической модели **RPC+сдвиг**, которая показывает что точность описания RPC возросла **в 2 раза**;
- Обработка г. Хобарт, Австралия, показала, что модель **RPC+сдвиг с 10 опорными** точками позволяет получить ортоизображение, удовлетворяющее по точности масштабу **1:5 000**;
- В случае отсутствия опорных точек уравненные по **RPC**-модели снимок позволяет получить ортоизображение, удовлетворяющее по точности масштабу **1:25 000**;
- Результаты обработки псевдостереосъемки говорят о возможности КА «Аист-2Д» выполнять стерео съемку; ошибки по контрольным точкам составили **3,075 м** в плане и **21,800 м** по высоте, такая большая ошибка по высоте показывает отклонение от ЦМР SRTM (с размером пикселя 30 м) и **не может являться оценкой точности**;
- Расчеты по тест объектам показывают минимальный различимый объект составляет **3,5-4 метра** при съемке с разрешением **1,603 м**. Возможно это связано с отсутствием алгоритма компенсации функции передачи модуляций;
- На основе выполненных экспериментов рекомендуется использовать при обработке геометрическую модель **RPC+сдвиг**.

Спасибо за внимание!



Докладчик:

Лавров Виктор Викторович

Генеральный директор ООО «Геоинформационное агентство Иннотер»

Председатель Наблюдательного Совета СП АО «Международные космические технологии»

Член Правления НП «Организация Профессионалов Топографической Службы»

Член Правления НП «Ассоциация поставщиков и пользователей данных дистанционного зондирования Земли из Космоса (Земля из Космоса)».

117303, г. Москва, ул. Малая Юшуньская д.1. к.1

Тел.: +7 495 245-0424 (доб.1116) | Моб.: +7 985 765 7764

lavrov@innoter.com | <http://innoter.com>