

## ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ С ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Калинин Денис Дмитриевич

Московский технологический университет (119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д.78) e-mail: rector@mirea.ru

Данная статья посвящена геологической разведке с искусственных спутников Земли. Описываются цели и задачи геологоразведочных работ и временное положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям. Рассматриваются аспекты использования искусственных спутников Земли в геологической разведке. Приведены структура космического аппарата для геологоразведочных работ, назначение его основных элементов и параметры орбит. Дается краткое сведение о бортовых спектрометрах. Приведен обзор существующих отечественных и зарубежных ИСЗ. Анализируются преимущества геологической разведки с околоземной орбиты. Рассматриваются возможности искусственных спутников Земли для познания закономерностей строения и развития Земли, поисков полезных ископаемых, изучение глобальных геологических структур.

Геологические съемки из космоса все больше осваиваются самыми разными государствами. При изучении систем зондирования аппарата, ученые дали однозначный вывод – он будет очень полезен в разведке новых месторождений полезных ископаемых. Использование космической геологии позволит полностью пересмотреть подход к исследованию поверхности Земли и поиску месторождений углеводородов и других ископаемых. Данные, полученные с помощью спутников, могут помочь и в практической сфере и для науки. Очень хорошо спутники передают изображения нуклеаров – крупнейших структур на земной коре, возникших более 4 миллиардов лет назад. Только спутниковые снимки дают возможность полностью увидеть эти структуры, которые могут простираются сотни километров. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ) широко используются при решении различных задач, в том числе, весьма успешно, в нефтегазовой сфере. Сложность и высокая стоимость получения геолого-геофизической информации традиционными методами в труднодоступных районах, где осуществляется поиск и добыча углеводородов, повышает значение технологий дистанционного получения данных.

**Ключевые слова:** геологическая разведка, полезные ископаемые, искусственный спутник Земли, дистанционное зондирование Земли, бортовые спектрометры, параметры орбит.

## IMPLEMENTATION OF GEOLOGICAL EXPLORATION FOR CHARGE SATELLITE OF THE EARTH

Kalinin Denis Dmitrievich

Moscow University of Technology (119454, Moscow, Vernadsky Prospekt d.78) e-mail: rector@mirea.ru

This article is dedicated to the geological exploration from artificial Earth satellites. The objectives and tasks of geological exploration works and temporary regulations on the procedure of carrying out geological exploration works in stages and phases are described. The aspects of the use of artificial Earth satellites in

geological exploration are considered. The structure of spacecraft for geological exploration works, its key elements and orbit parameters are given. A brief information about the airborne spectrometers located in modules and scientific devices is provided, but this topic requires further research. A review of existing domestic and foreign artificial satellites is provided. The advantages of geological exploration from Earth orbit are analyzed. The possibilities of artificial Earth satellites for the studies of regularities of structure and historical development of the Earth, exploration and global geological structures are considered.

Geological surveys from space are increasingly being developed in a variety of States. In the study of systems sensing apparatus, scientists have given a clear conclusion – it will be very useful in the exploration of new mineral deposits. The use of remote sensing will allow a complete rethinking of the approach to the study of the Earth's surface and search of hydrocarbon deposits and other minerals. Data obtained from satellites, can help in the practical area of science. Very well the satellites transmit the nuclears using image – the largest structures in the earth's crust, which arose more than 4 billion years ago. Only satellite imagery gives the possibility to see these structures, which may stretch hundreds of kilometers. The data of Earth remote sensing from space (ERS) are widely used for various tasks, including, very successfully, in the oil and gas sector. The complexity and high cost of obtaining geological and geophysical information using traditional methods in remote areas where the search and production of hydrocarbons, increases the importance of technologies for remote data acquisition.

**Keywords:** geological exploration, minerals, artificial earth satellite, remote sensing, airborne spectrometer, orbital parameters.

Геологические съемки из космоса все больше осваиваются самыми разными государствами. При изучении систем зондирования аппарата, ученые дали однозначный вывод – он будет очень полезен в разведке новых месторождений полезных ископаемых. Использование космической геологии позволит полностью пересмотреть подход к исследованию поверхности Земли и поиску месторождений углеводородов и других ископаемых. Данные, полученные с помощью спутников, могут помочь и в практической сфере и для науки. Очень хорошо спутники передают изображения нуклеаров – крупнейших структур на земной коре, возникших более 4 миллиардов лет назад. Только спутниковые снимки дают возможность полностью увидеть эти структуры, которые могут простираться сотни километров. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ) широко используются при решении различных задач, в том числе, весьма успешно, в нефтегазовой сфере. Сложность и высокая стоимость получения геолого-геофизической информации традиционными методами в труднодоступных районах, где осуществляется поиск и добыча углеводородов, повышает значение технологий дистанционного получения данных.

## 1. Цели и задачи геологоразведочных работ

Геологоразведочные работы — комплекс различных специальных геологических и других работ, производимых с целью поиска, обнаружения и подготовки к промышленному освоению месторождений полезных ископаемых[2]. Геологоразведочные работы включают изучение

закономерностей размещения, условий образования, особенностей строения, вещественного состава месторождений полезных ископаемых с целью их прогнозирования, поисков, установления условий залегания, предварительной и детальной разведки, геолого-экономической оценки и подготовки к промышленному освоению.

Общей целью геологоразведочных работ является научно обоснованное, планомерное и экономически эффективное обеспечение добывающей промышленности разведанными запасами полезных ископаемых, изучение способов их полной, комплексной и экономически рациональной выемки в процессе эксплуатации месторождений с учётом охраны окружающей среды. Геологической службой, геологические организации также оказывают услуги по изучению недр для строительства и эксплуатации подземных сооружений, для нужд сельского хозяйства. Инженерно-геологическое изучение отдельных районов, территорий также необходимо для подготовки подземного захоронения вредных веществ и отходов производства, сброса сточных вод и решения других вопросов.

Геологоразведочные работы предполагают комплексное ведение работ, то есть наряду с поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых также изучаются все сопутствующие минеральные компоненты, выясняются возможности их утилизации, выполняются гидрогеологические, горнотехнические, инженерно-геологические и другие исследования, изучаются природно-климатические, географо-экономические, социально-экономические, геолого-экономические условия освоения месторождений.[2]

### 1.1 . Этапы и стадии геологоразведочных работ

В России с 1998 г. в соответствии с "Временным положением о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям" выделяются три этапа, заключающих пять стадий ГРР[1].

Таблица 1 – Стадийность проведения геологоразведочных работ

Этап	Стадия	Задачи	Категории запасов и прогнозных ресурсов	Характер геолого-экономической оценки
Работы общегеологического направления	Региональное геологическое изучение недр	Составление комплекта государственных геологических карт масштаба		Возможное геолого-экономическое значение

				прогнозных ресурсов
	Мелкомасштабное	1:1000000 (1:500000)		С составлением геологических и геофизических карт
	Среднемасштабное	1:200000 (1:100000)	P3	с выделением площадей, перспективных на полезные ископаемые
	Крупномасштабное (с общими поисками)	1:50000 (1:25000)	P2 + P3	С выявлением локальных перспективных площадей
Поиски и оценка	Поисковые работы	Выявление рудопроявлений и месторождений	P2 + P1	Прогнозная ГЭО с составлением технико-экономических соображений о перспективности месторождений
	Оценка месторождения	Определение промышленного значения месторождения, по сравнению с другими месторождениями данного типа	C2 + C1	Промышленная ГЭО с разработкой временных кондиций, составлением ТЭО промышленной ценности и гос. экспертизой запасов

Разведка и освоение	Разведка месторождения	Подготовка материалов для проектирования горно-рудного предприятия	A + B + C1 + C2	Пред проектная ГЭО с разработкой и утверждением постоянных кондиций и составлением технико-экономического обоснования освоения
	Эксплуатационная разведка	Подготовка данных для планирования добычи	A + B	Геолого-экономическая оценка результатов опережающей или сопровождающей эксплуатационной разведки с составлением годового плана добычи руды

## 2. Общая характеристика геологоразведочных работ из околоземного космоса

При изучении Земли важная роль принадлежит исследованиям, осуществляемым с помощью космической техники. Изучение геологии Земли из космоса — получение и обработка геологических и геофизических информации с автоматических космических аппаратов, искусственных спутников Земли (ИСЗ), пилотируемых космических кораблей (ПКК).

По снимкам, полученных из космоса, специалисты опознают известные месторождения, а также нефтегазоносные структуры, имеющие большую протяженность, и устанавливают признаки, которые позволили бы их находить. Основная тенденция поисковых геологических работ с помощью фотосъемки из космоса заключается в составлении обзорных схем и карт. Они построены на основе различий тектонического развития крупных складчатых структур, зон разломов и пространственного распространения осадочных, метаморфических и магматических пород. Космические снимки помогают изучать их положение в структуре региона, а также выявить роль разрывов в формировании складчатых форм и их морфологии. Это указывает на возможность прогнозирования поисков полезных ископаемых, исходя из косвенных признаков. Они обуславливают возможность

определения наличия корреляции определенных геологических структур с месторождениями полезных ископаемых.

В нашей стране космические методы стали активно привлекаться в геологоразведочных работах при поиске нефти и газа во второй половине 1980 гг. когда появились качественные снимки с отечественных спутниковой серии «Космос»[3]

В настоящее время космические технологии обеспечивают оперативное решение многих задач отрасли, в числе которых такие важные как:

- 1) создание высокоточной топографической основы для привязки скважин, сейсмопрофилей и инфраструктуры промыслов, а также для многоцелевых задач на всех этапах геологоразведочных работ;
- 2) детальная оценка инженерно- геологических условий участка работ и выявление предпосылок стихийных бедствий (наводнений, оползней, землетрясений и др.);
- 3) изучение региональной структуры и зон нефтегазового накопления для слабо исследованных территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока;
- 4) выявление зон трещиноватости в карбонатных резервуарах, обладающих высокими фильтрационно-емкостными свойствами;

Сравнительные характеристики отечественных и зарубежных ИСЗ приведены в таблице 2.

Таблица 2 – обзор существующих отечественных и зарубежных ИСЗ

Спутник (название) Запуск	Страна	Срок активного существования	Назначение	Оснащенные приборы ГР	Технические характеристики
Cartosat-1 5 мая 2005 год	ISRO	5 лет	Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)	Панхроматические сканеры	Масса 1560кг
Дайти	Япония	5 лет	ДЗЗ	Радиометр, радиолокатор,	Масса 3850кг

24 январь 2006 год				панхроматическая камера	
GeoEye-1  6 сентябрь 2008 год	США	7-15 лет	ДЗЗ	Съёмочная аппаратура "GIS":	Масса 1955 кг
Landsat-7  15 апрель 1999 год	США	15 лет 6 месяцев	ДЗЗ	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+),	Масса 1973 кг длина-4,3 диаметр-2,8
Radarsat- 2  14 декабрь 2007 год	CSA	6 лет 10 месяцев	ДЗЗ	Радар с синтезированной апертурой	Масса 2225кг
Ресурс-О1 № 4  10 июль 1998 год	РФ	2 года	Метеорология, ДЗЗ	Многоканальное сканирующее устройство среднего разрешения  Многоканальное сканирующее устройство высокого разрешения  Радиометр  Спектрометр	Масса 2662 кг

### 3. Структура искусственного спутника Земли

для дистанционного зондирования Земли

Существует огромное количество требований для создания космических спутников. В соответствии с разнообразием научных и прикладных задач, решаемых с помощью ИСЗ, спутники могут иметь различные размеры, массу, конструктивные схемы, состав бортового оборудования. Различают автоматические ИСЗ (научно-исследовательские и прикладные), на которых работа всех приборов и систем управляется командами, поступающими либо с Земли, либо из бортового программного устройства, пилотируемые корабли-спутники и орбитальные станции с экипажем. В зависимости от задач, решаемых с помощью ИСЗ, их подразделяют на научно-исследовательские и прикладные. Если на спутнике установлены радиопередатчики, та или иная измерительная аппаратура, импульсные лампы для подачи световых сигналов его называют активным. Для ориентации используют гравитационные, аэродинамические, магнитные системы — так называемые пассивные системы ориентации, и системы, снабженные реактивными или инерционными управляющими органами (обычно на сложных ИСЗ и космических кораблях), — активные системы ориентации. ИСЗ, имеющие реактивные двигатели для маневрирования, коррекции траектории или спуска с орбиты, снабжаются системами управления движением, составной частью которых является система ориентации. Энергопитание бортовой аппаратуры большинства ИСЗ осуществляется от солнечных батарей, панели которых ориентируются перпендикулярно направлению солнечных лучей или расположены так, чтобы часть из них освещалась Солнцем при любом его положении относительно ИСЗ (так называемые всенаправленные солнечные батареи). Солнечные батареи обеспечивают длительную работу бортовой аппаратуры (до нескольких лет). На ИСЗ, рассчитанных на ограниченные сроки работы, используются электрохимические источники тока — аккумуляторы, топливные элементы. Некоторые ИСЗ имеют на борту изотопные генераторы электрической энергии. Тепловой режим ИСЗ, необходимый для работы их бортовой аппаратуры, поддерживается системами терморегулирования.[6]



## Рисунок 1. Структура искусственного спутника Земли для дистанционного зондирования Земли

В ИСЗ, отличающихся значительным тепловыделением аппаратуры, и космических кораблях применяются системы с жидкостным контуром теплопередачи; на ИСЗ с небольшим тепловыделением аппаратуры в ряде случаев ограничиваются пассивными средствами терморегулирования (выбор внешней поверхности с подходящим оптическим коэффициентом, теплоизоляции отдельных элементов).

Передача научной и другой информации с ИСЗ на Землю производится с помощью радиотелеметрических систем (часто имеющих запоминающие бортовые устройства для регистрации информации в периоды полёта ИСЗ вне зон радиовидимости наземных пунктов).

### 3.1. Назначение элементов искусственных спутников Земли для геологоразведочных работ

Аппараты дистанционного зондирования Земли имеют возможности объектовой и маршрутной съемок. Возможна стереосъемка маршрутов размером 115 км; съемка площадок до 100х300 км. В целевую аппаратуру входят:

- 1) оптико-электронный комплекс – осуществляет преобразование непрерывно движущегося изображения видимого диапазона, сформированного оптико-электронным комплексом, в цифровой электрический сигнал, обработку, сжатие и выдачу его в бортовую аппаратуру высокоскоростной радиолинии.
- 2) гиперспектральная аппаратура – обеспечивает гиперспектральную съемку поверхности Земли и получение информации о распределении поля спектральной энергетической яркости.
- 3) комплекс широкозахватной мультиспектральной съёмочной аппаратуры – Обеспечивает дистанционную съемку земной и водной поверхности в панхроматическом и мультиспектральном диапазонах спектра. Состоит из ШМСА- ВР и ШМСА-СР, которые могут работать как одновременно, так и отдельно.

### 4. Бортовые спектрометры

Серия этих приборов бортовых спектрометр включает семейство спектрометров для спектрополяризационных измерений с борта космических аппаратов. Спектрометры имеют два канала для регистрации двух взаимно ортогональных поляризаций излучения. Конструктивно он представляет собой герметизированную цилиндрическую оболочку, содержащую два акустооптических фильтра видимого диапазона на кристалле кварца и управляющую электронику. Он имеет три режима работы: ручной, автоматический и программного управления с помощью компьютера. Прибор имеет 2000 спектральных каналов в видимом диапазоне при разрешении от 0,1 до 0,25 нм. Время одного спектрального отчета 32 мс, диапазон по величине спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) излучения от 0,25 до 12,5 мкВт при погрешности измерений не превышающей 5%. Полная потребляемая мощность не превышает 400 Вт. Вес спектрометра 30 кг.[5]

Габариты прибора вписываются в цилиндр диаметром 0,35 м и высотой 0,85 м. Спектрометр позволяет регистрировать излучение в трех конфигурациях: измерительной (поверхность объекта), опорной (матовое стекло, освещаемое солнечным светом) и калибровочной (эталонный внутренний источник), что дает возможность проводить измерения, как в абсолютных, так и в нормированных на солнечное освещение единицах.

Бортовые АО спектрометры позволяют решать следующие задачи: количественное определение содержания хлорофилла, распределения желтого вещества и минеральной взвеси в водах морей и океанов, распознавание видов фитопланктона, оценку степени покрытия водоемов растительностью, распознавание горных пород, картирование почв, определение оптических параметров атмосферы, определение содержания азота в сельскохозяйственных растениях, связанное со степенью зрелости урожая, коэффициент проективного покрытия поверхности растительностью, связанный с урожайностью и стадией вегетации, содержание хлорофилла в растительности, отражающее степень ее угнетения неблагоприятными антропогенными факторами, а также обнаруживать места скопления топлива в реках и места аномального состава воды, связанного обычно со сбросами химических веществ.

#### 4. Возможности ИСЗ

В настоящее время уточнение и корректировка карт производятся именно с помощью космических снимков. Они обеспечивают топографическую основу в любой системе координат в масштабах от 1:25000 и мельче, то есть являются необходимыми при планировании и выполнении полного цикла геологоразведочных работ. Современные возможности переноса на них гипсометрических отметок и географических названий превращают их в высокоточные карты, а при использовании стереоскопических изображений применение их более эффективно по сравнению с топокартами. Разрешение снимков колеблется от нескольких до 20 метров, обеспечивая детальность привязки любых объектов и оценку всего спектра геологических данных. При использовании космических снимков точность привязки не превышает нескольких метров, сводясь к простой и быстрой операции, не требующей проведения топографических работ, то есть определенных финансовых затрат. Анализ космической информации с помощью специализированного пакета программ позволяет выполнять качественное и достоверное моделирование: от прогноза нефтеносных структур до корректировки моделей резервуаров на эксплуатационной стадии работ. Решение этих задач обеспечивается комплексом снимков: в видимой области спектра, инфракрасном и радиодиапазонах, как в черно-белом, так и цветном изображении, включая стереоскопические модели местности. Космические исследования необходимы еще и потому, что они обеспечивают высокую плотность исходной информации (на единицу площади). Это очень важно, так как количество глубоких скважин и сеймопрофилей ограничено, что не позволяет с их помощью решить ряд следующих структурных задач, выявить морфологию локальной структуры и построить достоверную структурную карту; протрассировать разрывные нарушения, установить их взаимоотношения; структурно увязать систему разрывных нарушений с водонефтяными, газонефтяными и газоводными контактами. Возможность использования космической информации на всех этапах геологоразведочных работ на

нефть и газ, включая разработку, определялась апробированной методикой структурного дешифрирования и созданным автором на ее основе пакетом программ «Станвид-2». Современные средства получения комплекса цифровой космической информации и широкие перспективы ее внедрения в практику поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа, компьютерные методы обработки и интерпретации данных, высокий интеллект программных продуктов определяют целесообразность применения предлагаемой современной технологии при геологоразведочных работах.[4]

## 5. Параметры орбит ИСЗ

В космическом пространстве над Землёй спутники движутся по определённым траекториям, называемые орбиты движения искусственных спутников Земли. Орбита – это траектория движения (или в переводе с латинского “путь, дорога”) какого-либо материального объекта (в нашем случае спутника) вперёд по заранее заданной системе пространственных координат с учётом конфигурации силовых полей, действующих на него[5]. Осуществляется движение искусственных спутников Земли по трём орбитам: полярной, наклонной и геостационарной (рис.2). Полярная орбита имеет угловой градус наклона равный  $90^\circ$  по отношению к плоскости экватора. Этот угол ещё измеряется в минутах и секундах. Полярная орбита бывает синхронной и квазисинхронной. Наклонная же орбита расположена между полярной и экваториальной орбитами искусственных спутников Земли, образуя смещённый острый угол. Геостационарная орбита имеет нулевое отклонение и находится в плоскости экватора нашей планеты. Спутник, движущийся по ней, совершает полный виток за время, равное времени одного оборота Земли вокруг своей оси. То есть по отношению к наземному наблюдателю такой спутник будет казаться неподвижным в одной точке. Высота над поверхностью Земли геостационарной орбиты (ГСО) равна 35876 км, радиус 42241 км, а её протяжённость (длина) равна 265409 км. Необходимо учитывать эти параметры при выведении спутника на ГСО и тогда можно будет достичь такой неподвижности по отношению к наблюдателю, находящемуся на Земле. Именно геостационарную орбиту (ГСО) используют для запуска большинства спутников коммерческого назначения. Скорость движения спутника по ГСО примерно равна 3000 м/с. Есть у геостационарной орбиты и слабая сторона. На приполярных районах Земли передача сигнала становится невозможной. Обычно спутниковая антенна настраивается по двум координатам: азимуту (отклонение самого спутника от направления в сторону “Север” и плоскостью горизонта, определяемая по часовой стрелке) и углу места (угол между плоскостью горизонта и направлением на спутник).[7]

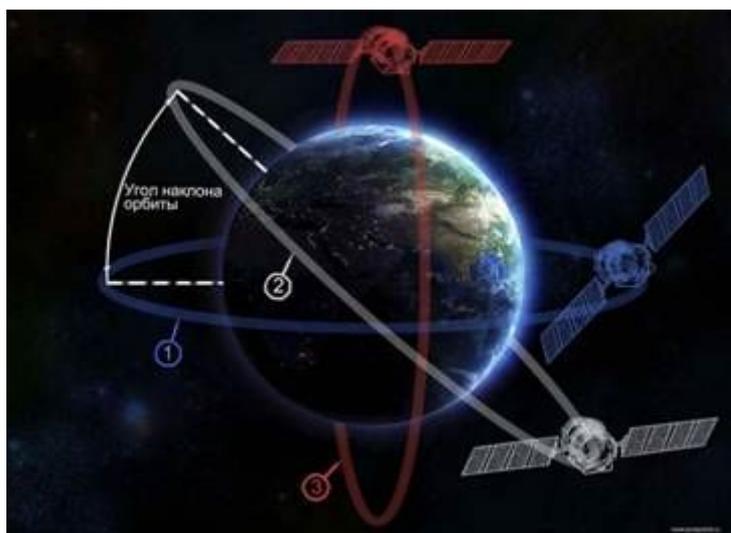


Рисунок 2. 1 – геостационарная орбита; 2 – наклонная орбита; 3 – полярная орбита

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геология - наука о Земле. При помощи спутников-сателлитов, геологи получают удобную и надежную связь. Космические навигационные системы, тоже вошли в арсенал геологов, освободив их от множества неудобств и сложностей с определением координат на местности. Однако, сегодня мы можем говорить и о том, что космические аппараты занимают все более уверенные позиции в геологоразведке и мониторинге.

Говоря о возможностях «космической» геологоразведки, мы подразумеваем удивительный эффект, благодаря которому, подняв точку наблюдения, мы можем увеличить не только площадь, но и «глубину» обзора. Методом космического зондирования можно всего за полгода со спутника исследовать огромную территорию (свыше 10 000 км<sup>2</sup>) на глубину от 0 до 12 км ниже с погоризонтным проникновением 30,60,120 метров и дать прогноз, где есть, а где нет нефть, уран или подземные воды. Исходя из этого, надо сказать, что результаты космической фотосъемки открыли геологам Землю «в разрезе».

Общепринятой теории, объясняющей такой эффект – пока нет, но отсутствие научных объяснений, того, почему на снимках из космоса скажем, яркость отдельных участков поверхности зависит от толщины укрывающего рыхлого покрова, не мешает геологам пользоваться своего рода космическим «рентгеном» в практических целях. Из снимков из космоса мы можем находить перспективные участки Земли и многое другое.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов Д.В, Быховский Л.З//газета «Кладоискатель и золотодобытчик».-2014 режим доступа.: [<http://www.kladoiskatel.ru/glossary/stadiynost-geologorazvedochnyhrobot.html>]

2. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]: науч.журн./ Рубрикон – 2008-2010. режим доступа к журн.: [<http://www.mining-enc.ru/g/geologorazvedochnye-raboty/>]
3. Д.М. Трафимов. Эволюция космических методов. Геоматика.- №1\_2009. Издатель – Информационное агентство «ГРОМ».- С.7-16.
4. ОАО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» [Электронный сайт]. Дистанционное зондирование Земли./Москва-2014/ режим доступа к сайту: [<http://www.spacecorp.ru/directions/sensing/>]
5. Проза.ру Геология из космоса [Электронный сайт].2009-2014. Режим доступа к сайту.: [<http://www.proza.ru/2012/11/12/300>]
6. Петров В Искусственный спутник Земли,Глава7.- Военное издательство министерства обороны союза ССР, Москва -1958.С.187.
7. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно- технологический центр уникального приборостроения РАН [Электронный ресурс]: науч.журн./2008-2014.режим доступа к журн.: [<http://ntcup.ru/akustoopticheskayaspektrometriya/>]