

# МОСКОВСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ журнал 1/2019



УДК 528.71

DOI 10.24411/2413-046X-2019-11068

**Анализ современных технологий дистанционного зондирования  
Земли**

**Analysis of modern technologies for remote sensing of the  
Earth**

**Хабаров Денис Андреевич**, аспирант кафедры «Почвоведения, экологии и природопользования»

**Адиев Тамерлан Салманович**, магистрант по направлению подготовки 21.04.02 «Землеустройство и кадастры», профиль: «Оценка и управление городскими территориями»

**Попова Ольга Олеговна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Городского кадастра»

**Чугунов Владимир Алексеевич**, магистрант по направлению подготовки 21.04.02 «Землеустройство и кадастры», профиль: «Оценка и управление городскими территориями»

**Кожевников Владислав Алексеевич**, магистрант по направлению подготовки 21.04.02 «Землеустройство и кадастры», профиль: «Оценка и управление городскими территориями»

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству»

E-mail: khabarov177@yandex.ru, tamerlan.adiev@gmail.com,  
ooporova@yan-dex.ru, chugun-vlad@yandex.ru,  
kozhevnikovladislavv@yandex.ru

**Аннотация:** Данные дистанционного зондирования Земли стали жизненно важными для картирования особенностей земных ландшафтов и инфраструктур, управления природными ресурсами и изучения изменения окружающей среды. Благодаря созданию более совершенных технологий получения и автоматизированного тематического дешифрирования ДЗЗ, материалы космических съемок высокого разрешения стали одним из наиболее оперативных, надежных и эффективных источников информации для мониторинга состояния и динамических изменений в землепользовании. В статье описывается значимость дистанционного зондирования Земли при исследовании состояния земель.

**Summary:** Earth remote sensing data has become vital for mapping the features of terrestrial landscapes and infrastructures, managing natural resources, and studying environmental changes. Thanks to the creation of more advanced technologies for obtaining and automated thematic interpretation of remote sensing, high-resolution satellite imagery materials have become one of the most timely, reliable and efficient sources of information for monitoring the state and dynamic changes in land use. The article describes the technology of the implementation of remote sensing, as well as its importance in studying the state of the land.

**Ключевые слова:** Дистанционное зондирование Земли, тематическое картографирование, структура землепользования.

**Keywords:** Earth remote sensing, thematic mapping, land use structure.

**Актуальность работы** обусловлена тем, что в настоящее время, вопросы рационального землепользования имеют важное

значение, поскольку в результате земельных преобразований в конце XX – начале XXI веков в нашей стране произошли значительные перемены в организации правовых и экономических механизмов хозяйственного использования земель, что привело к значительному сокращению используемых сельскохозяйственных земель и негативно сказалось на качественном состоянии наиболее ценных сельскохозяйственных угодьях.

**Степень разработанности.** Многие российские и зарубежные научные исследователи уделяли значительное внимание данному вопросу. Проблемам организации и методического обеспечения методов дистанционного зондирования посвящены работы таких ученых как: С.Н. Волков, Д.А. Шаповалов, А.Н. Лимонов, А. В. Севостьянов, А.А. Варламов, С.А. Гальченко, и др.

**Цель и задачи.** Целью работы является рассмотрение современных технологий дистанционного зондирования Земли.

Исходя из этого, были рассмотрены следующие аспекты:

- рассмотреть дистанционное зондирование Земли;
- рассмотреть дистанционное зондирование при проведении мониторинга;
- рассмотреть методы и способы выявления неиспользуемых и нерационально используемых земель;
- рассмотреть применение беспилотных летательных аппаратов для выявления нерационально используемых земель.

**Объект исследования:** дистанционное зондирование Земли.

**Предмет исследования:** методы и технологии дистанционного зондирования Земли.

### **Особенности дистанционного зондирования Земли**

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – наблюдение поверхности Земли наземными, авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной

аппаратуры. Рабочий диапазон длин волн, принимаемых съёмочной аппаратурой, составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны). Методы зондирования могут быть пассивные, то есть использующие естественное отраженное или вторичное тепловое излучение объектов на поверхности Земли, обусловленное солнечной активностью, и активные – использующие вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия. Данные ДЗЗ, полученные с космического аппарата (КА), характеризуются большой степенью зависимости от прозрачности атмосферы. Поэтому на КА используется многоканальное оборудование пассивного и активного типов, регистрирующее электромагнитное излучение в различных диапазонах.

Аппаратура ДЗЗ первых КА, запущенных в 1960–70-х гг. была трассового типа – проекция области измерений на поверхность Земли представляла собой линию. Позднее появилась и широко распространилась аппаратура ДЗЗ панорамного типа – сканеры, проекция области измерений на поверхность Земли которых представляет собой полосу.

Космические аппараты дистанционного зондирования Земли используются для изучения природных ресурсов Земли и решения задач метеорологии. КА для исследования природных ресурсов оснащаются в основном оптической или радиолокационной аппаратурой. Преимущества последней заключаются в том, что она позволяет наблюдать поверхность Земли в любое время суток, независимо от состояния атмосферы.

Дистанционное зондирование является методом получения информации об объекте или явлении без непосредственного физического контакта с данным объектом. Дистанционное зондирование является подразделом географии. В современном понимании, термин в основном относится к технологиям воздушного или космического зондирования местности с целью обнаружения, классификации и анализа объектов земной поверхности, а также атмосферы и океана, при помощи

распространяемых сигналов (например, электромагнитной радиации). Разделяют на активное (сигнал сначала излучается самолетом или космическим спутником) и пассивное дистанционное зондирование (регистрируется только сигнал других источников, например, солнечный свет) [1].

Пассивные сенсоры дистанционного зондирования регистрируют сигнал, излучаемый или отраженный объектом либо прилегающей территорией. Отраженный солнечный свет – наиболее часто используемый источник излучения, регистрируемый пассивными сенсорами. Примерами пассивного дистанционного зондирования являются цифровая и пленочная фотография, применение инфракрасных, приборов с зарядовой связью и радиометров.

Активные приборы, в свою очередь, излучают сигнал с целью сканирования объекта и пространства, после чего сенсор имеет возможность обнаружить и измерить излучение, отраженное или образованное путём обратного рассеивания целью зондирования. Примерами активных сенсоров дистанционного зондирования являются радар и лидар, которыми измеряется задержка во времени между излучением и регистрацией возвращенного сигнала, таким образом определяя размещение, скорость и направление движения объекта.

Дистанционное зондирование предоставляет возможность получать данные об опасных, труднодоступных и быстро движущихся объектах, а также позволяет проводить наблюдения на обширных участках местности. Примерами применения дистанционного зондирования может быть мониторинг вырубки лесов (например, в бассейне Амазонки), состояния ледников в Арктике и Антарктике, измерение глубины океана с помощью лота. Дистанционное зондирование также приходит на замену дорогостоящим и сравнительно медленным методам сбора информации с поверхности Земли, одновременно гарантируя невмешательство человека в природные процессы на наблюдаемых территориях или объектах.

При помощи орбитальных космических аппаратов ученые имеют

возможность собирать и передавать данные в различных диапазонах электромагнитного спектра, которые, в сочетании с более масштабными воздушными и наземными измерениями и анализом, обеспечивают необходимый спектр данных для мониторинга актуальных явлений и тенденций, таких как Эль-Ниньо и другие природные феномены, как в кратко-, так и в долгосрочной перспективе. Дистанционное зондирование также имеет прикладное значение в сфере геонаук (к примеру, природопользование), сельском хозяйстве (использование и сохранение природных ресурсов), национальной безопасности (мониторинг приграничных областей).

## **2. Методы дистанционного зондирования**

Методы дистанционного зондирования основаны на том, что любой объект излучает и отражает электромагнитную энергию в соответствии с особенностями его природы. Различия в длинах волн и интенсивности излучения могут быть использованы для изучения свойств удаленного объекта без непосредственного контакта с ним.

### **Фотосъемки**

Фотографические снимки поверхности Земли получают с пилотируемых кораблей и орбитальных станций или с автоматических спутников. Отличительной чертой КС является высокая степень обзорности, охват одним снимком больших площадей поверхности. В зависимости от типа применяемой аппаратуры и фотопленок, фотографирование может производиться во всем видимом диапазоне электромагнитного спектра, в отдельных его зонах, а также в ближнем ИК (инфракрасном) диапазоне.

Масштабы съемки зависят от двух важнейших параметров: высоты съемки и фокусного расстояния объектива. Космические фотоаппараты в зависимости от наклона оптической оси позволяют получать плановые и перспективные снимки земной поверхности [2].

В настоящее время используется фотоаппаратура с высоким разрешением, позволяющая получать КС с перекрытием 60% и более. Спектральный диапазон фотографирования охватывает видимую часть ближней инфракрасной зоны (до 0,86 мкм).

Известные недостатки фотографического метода связаны с необходимостью возвращения пленки на Землю и ограниченным ее запасом на борту. Однако фотографическая съемка – в настоящее время самый информативный вид съемки из космического пространства. Оптимальный размер отпечатка 18x18 см, который, как показывает опыт, согласуется с физиологией человеческого зрения, позволяя видеть все изображение одновременно.

Для удобства пользования из отдельных КС, имеющих перекрытия, монтируются фотосхемы (фотомозаики) или фотокарты с топографической привязкой опорных точек с точностью 0,1 мм и точнее. Для монтажа фотосхем используются только плановые КС.

Для приведения разномасштабного, обычно перспективного КС к плановому используется специальный процесс, называемый трансформированием. Трансформированные КС с успехом используются для составления космофотосхем и космофотокарт и обычно легко привязываются к географической сетке координат [3].

### Сканерные съемки

В настоящее время для съемок из космоса наиболее часто используются многоспектральные оптико-механические системы – сканеры, установленные на ИСЗ различного назначения. При помощи сканеров формируются изображения, состоящие из множества отдельных, последовательно получаемых элементов. Термин «сканирование» обозначает развертку изображения при помощи сканирующего элемента (качающегося или вращающегося зеркала), поэлементно просматривающего местность поперек движения носителя и посылающего лучистый поток в объектив и

далее на точечный датчик, преобразующий световой сигнал в электрический. Этот электрический сигнал поступает на приемные станции по каналам связи. Изображение местности получают непрерывно на ленте, составленной из полос – сканов, сложенных отдельными элементами – пикселями. Сканерные изображения можно получить во всех спектральных диапазонах, но особенно эффективным является видимый и ИК-диапазоны. При съемке земной поверхности с помощью сканирующих систем формируется изображение, каждому элементу которого соответствует яркость излучения участка, находящегося в пределах мгновенного поля зрения. Сканерное изображение – упорядоченный пакет яркостных данных, переданных по радиоканалам на Землю, которые фиксируются на магнитную ленту (в цифровом виде) и затем могут быть преобразованы в кадровую форму.

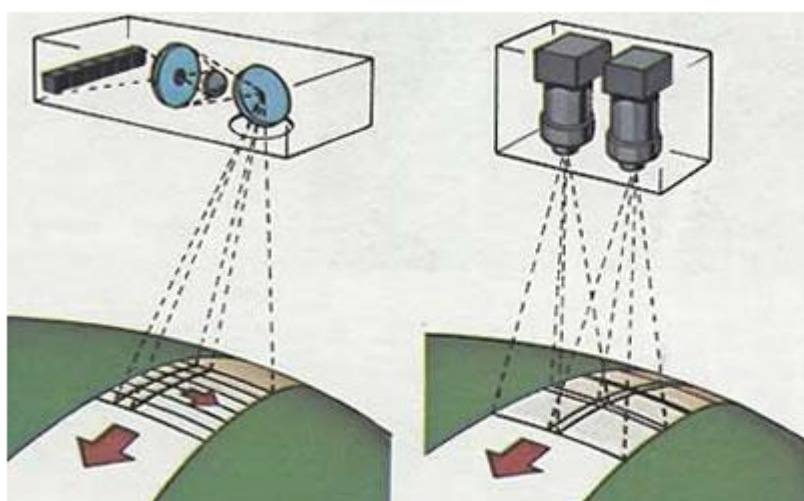


Рисунок 1. - Различные методы сканирования поверхности Земли

Важнейшей характеристикой сканера являются угол сканирования (обзора) и мгновенный угол зрения, от величины которого зависят ширина снимаемой полосы и разрешение. В зависимости от величины этих углов сканеры делят на точные и обзорные. У точных сканеров угол сканирования уменьшают до  $\pm 5^\circ$ , а у обзорных увеличивают до  $\pm 50^\circ$ . Величина разрешения при этом обратно пропорциональна ширине снимаемой полосы.

Хорошо зарекомендовал себя сканер нового поколения,



названный «тематическим картографом», которым были оснащены американские ИСЗ Landsat 5 и Landsat 7. Сканер типа «тематический картограф» работает в семи диапазонах с разрешением 30 м в видимом диапазоне спектра и 120 м в ИК-диапазоне. Этот сканер дает большой поток информации, обработка которой требует большего времени; в связи с чем замедляется скорость передачи изображения (число пикселей на снимках достигает более 36 млн. на каждом из каналов). Сканирующие устройства могут быть использованы не только для получения изображений Земли, но и для измерения радиации – сканирующие радиометры, и излучения – сканирующие спектрометры.

### Радарные съемки

Радиолокационная (РЛ) или радарная съемка – важнейший вид дистанционных исследований. Используется в условиях, когда непосредственное наблюдение поверхности планет затруднено различными природными условиями: плотной облачностью, туманом и т.п. Она может проводиться в темное время суток, поскольку является активной.

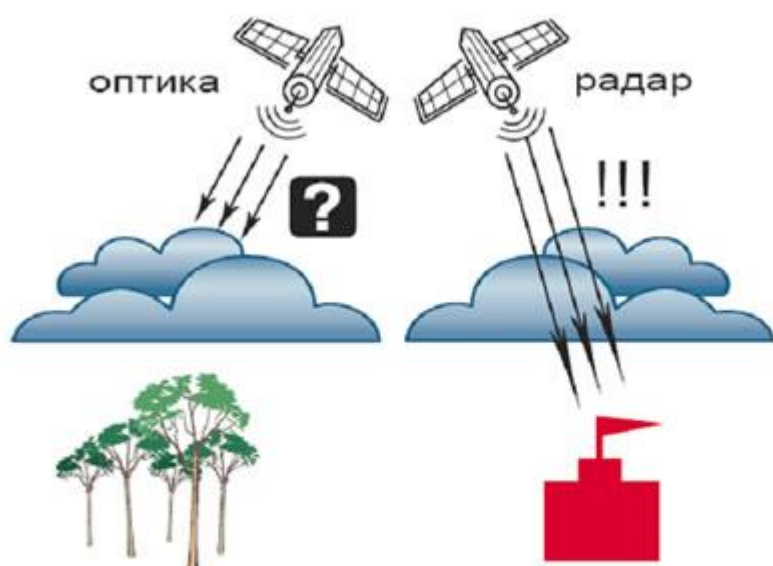


Рисунок 2 - Особенности оптической и радарной съёмки

Для радарной съемки обычно используются радиолокаторы

бокового обзора (ЛБО), установленные на самолетах и ИСЗ. С помощью ЛБО радиолокационная съемка осуществляется в радиодиапазоне электромагнитного спектра. Сущность съемки заключается в посылке радиосигнала, отражающегося по нормали от изучаемого объекта и фиксируемого на приемнике, установленном на борту носителя. Радиосигнал вырабатывается специальным генератором. Время возвращения его в приемник зависит от расстояния до изучаемого объекта. Этот принцип работы радиолокатора, фиксирующего различное время прохождения зондирующего импульса до объекта и обратно, используется для получения РЛ-снимков. Изображение формируется бегущим по строке световым пятном. Чем дальше объект, тем больше времени надо на прохождение отражаемого сигнала до его фиксации электронно-лучевой трубкой, совмещенной со специальной кинокамерой [4].

При дешифрировании радарных снимков следует учитывать тон изображения и его текстуру. Тоновые неоднородности РЛ-снимка зависят от литологических особенностей пород, размера их зернистости, устойчивости процессам выветривания. Тоновые неоднородности могут варьировать от черного до светлого цвета. Опыт работы с РЛ-снимками показал, что черный тон соответствует гладким поверхностям, где, как правило, происходит почти полное отражение посланного радиосигнала. Крупные реки всегда имеют черный тон. Текстурные неоднородности РЛ-изображения зависят от степени расчлененности рельефа и могут быть тонкосетчатыми, полосчатыми, массивными и др. Полосчатая текстура РЛ-изображения, например, характерна для горных районов, сложенных часто чередующимися слоями осадочных или метаморфических пород, массивная – для районов развития интрузивных образований. Особенно хорошо получается на РЛ-снимках гидросеть. Она дешифрируется лучше, чем на фотоснимках. Высокое разрешение РЛ-съемки в районах, покрытых густой растительностью, открывает широкие перспективы ее использования.

Радарные системы бокового обзора с конца 70-х годов стали устанавливаться на ИСЗ. Так, например, первый радиолокатор был установлен на американском спутнике «Сисат», предназначенном для изучения динамики океанических процессов. Позднее был сконструирован радар, испытанный во время полетов космического корабля «Шаттл». Информация, полученная с помощью этого радара, представляется в виде черно-белых и ложноцветных синтезированных фото-, телеизображений или записей на магнитную ленту. Разрешающая способность 40 м. Информация поддается числовой и аналоговой обработке, такой же, что и сканерные снимки системы Landsat. Это в значительной мере способствует получению высоких результатов дешифрирования. Во многих случаях РЛ-снимки оказываются геологически более информативными, чем снимки спутников Landsat или других оптических сенсоров. Наилучший результат достигается и при комплексном дешифрировании материалов того и другого видов. РЛ-снимки успешно используются для изучения трудно- или недоступных территорий Земли – пустынь и областей, расположенных в высоких широтах, а также поверхность других планет.

Классическими уже стали результаты картирования поверхности Венеры – планеты, покрытой мощным облачным слоем. Совершенствование РЛ-аппаратуры должно повлечь за собой дальнейшее повышение роли радиолокации в дистанционных исследованиях Земли, особенно при изучении ее геологического строения.

### Тепловые съемки

Инфракрасная (ИК), или тепловая, съемка основана на выявлении тепловых аномалий путем фиксации теплового излучения объектов Земли, обусловленного эндогенным теплом или солнечным излучением. Она широко применяется в геологии. Температурные неоднородности поверхности Земли возникают в результате неодинакового нагрева различных ее участков. Инфракрасный диапазон спектра электромагнитных колебаний условно делится на три части (в мкм):

- ближний (0,74–1,35)
- средний (1,35–3,50)
- дальний (3,50–1000)

Солнечное (внешнее) и эндогенное (внутреннее) тепло нагревает геологические объекты по-разному в зависимости от литологических свойств пород, тепловой инерции, влажности, альбедо и многих других причин.

ИК-излучение, проходя через атмосферу, избирательно поглощается, в связи с чем тепловую съемку можно вести только в зоне расположения так называемых «окон прозрачности» – местах пропускания ИК-лучей. Опытным путем выделено четыре основных окна прозрачности (в мкм): 0,74–2,40; 3,40–4,20; 8,0–13,0; 30,0–80,0. Некоторые исследователи выделяют большее число окон прозрачности. в первом окне (до 0,84 мкм) используется отраженное солнечное излучение. Здесь можно применять специальные фотопленки и работать с красным фильтром. Съемка в этом диапазоне называется ИК-фотосъемкой [5].

В других окнах прозрачности работают измерительные приборы – тепловизоры, преобразующие невидимое ИК-излучение в видимое с помощью электроннолучевых трубок, фиксируя тепловые аномалии. На ИК-изображениях светлыми тонами фиксируются участки с низкими температурами, темными – с относительно более высокими. Яркость тона прямо пропорциональна интенсивности тепловой аномалии. ИК-съемку можно проводить в ночное время. На ИК-снимках, полученных с ИСЗ, четко вырисовывается береговая линия, гидрографическая сеть, ледовая обстановка, тепловые неоднородности водной среды, вулканическая деятельность и т.п. ИК-снимки используются для составления тепловых карт Земли. Линейно-полосовые тепловые аномалии, выявляемые при ИК-съемке, интерпретируются как зоны разломов, а площадные и концентрические – как тектонические или орографические структуры. Например, наложенные впадины Средней Азии, выполненные рыхлыми кайнозойскими отложениями, на ИК-снимках дешифрируются как

площадные аномалии повышенной интенсивности. Особенно ценна информация, полученная в районах активной вулканической деятельности.

В настоящее время накоплен опыт использования ИК-съемки для изучения дна шельфа. Этим методом по разнице температурных аномалий поверхности воды получены данные о строении рельефа дна. При этом использован принцип, согласно которому при одинаковом облучении поверхности воды на более глубоких участках водных масс энергии на нагревание расходуется больше, чем на более мелких. В результате температура поверхности воды над более глубокими участками будет ниже, чем над мелкими. Этот принцип позволяет на ИК-изображениях выделять положительные и отрицательные формы рельефа, подводные долины, банки, гряды и т.п. ИК-съемка в настоящее время применяется для решения специальных задач, особенно при экологических исследованиях, поисках подземных вод и в инженерной геологии.

Одним из основных направлений использования данных дистанционного зондирования для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения является анализ эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения. С начала 90-х годов XX столетия и до настоящего времени происходят постоянные трансформации в использовании земель сельскохозяйственного назначения.

Изменения эти связаны с перераспределением земли между собственниками (переход из ведения коллективных сельскохозяйственных производственных предприятий в частные руки), а также постоянные изменения внутренней структуры землепользования (включение земель в севооборот ранее не использованных земель, либо обратная ситуация – сокращение пахотных угодий за счет их перехода в бросовые и необрабатываемые земли). Кроме того, нередки случаи нецелевого использования пахотных земель и использование их под застройку (дачное или коттеджное строительство и т.п.), что характерно для пригородной зоны крупных городов [6].

Многие отчетные документы землепользователей составляются на основе устаревшей непроверенной информации и в отдельных случаях могут быть намерено искажены в ту или иную сторону в зависимости от выгоды (с целью увеличения объемов дотаций или наоборот – сокращения размеров налога). Картографические материалы в виде схем землеустройства и похозяйственного планирования часто являются малоинформативными и недостоверными, к тому же в их основе часто лежит устаревшая информация.

Все упомянутые выше моменты приводят к тому, что государственная статистика и учет земель сельскохозяйственного назначения становится не совсем объективной и затрудняет оценку эффективности и контроля использования земель и оптимизации сельскохозяйственного производства (прогнозирование урожайности, определение правильной финансовой политики).

Данные дистанционного зондирования, получаемые с помощью съемочного оборудования позволяет решить комплекс задач в области сельского хозяйства: от установления границ земель сельскохозяйственного назначения, до анализа степени использования площадей и оценки состояния культур и прогноза их урожайности [7].

Определение областей, занятых под различными сельскохозяйственными культурами основывается на количественном анализе мельчайших различий в их спектральных характеристиках. Чаще всего для такого анализа используют численные методы, а оценка площади посевов или насаждений проводится в несколько этапов: сначала, используя данные полевых наблюдений, на снимке выделяются области, занятые известными сельскохозяйственными культурами, затем для каждой области определяют ее спектральный эталон и проводят классификацию снимка на основе обучающих выборок [8].

## **Беспилотные летательные аппараты**

Во многих странах для контроля сельхозугодий применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), стоимость которых с экономической точки зрения во много раз дешевле любого пилотируемого летального аппарата.

Одним из преимуществ БПЛА, используемых в сельском хозяйстве, является получение изображений в двух форматах. Первый – с реальной цветопередачей, второй – в ближнем инфракрасном диапазоне.

Благодаря снимкам с инфракрасной искусственной расцветкой специалисты вычисляют вегетационный индекс NDVI (NormalizedDifferenceVegetationIndex), который позволяет:

- количественно оценивать состояние растительности (как на всем поле, так и на его отдельных участках);
- рассчитывать урожайность;
- идентифицировать культуры;
- оценивать всхожесть и рост растений;
- анализировать продуктивность угодий.

В работе были рассмотрены особенности дистанционного зондирования Земли и технологии, с помощью которых оно осуществляется, рассмотрены возможности выявления неиспользуемых и нерационально используемых земель, а также рассмотрено применение беспилотных летательных аппаратов для выявления нерационально используемых земель.

#### Список литературы

1. Михайлов С.И. Применение данных дистанционного зондирования Земли для решения задач в области сельскохозяйственного производства // Земля из космоса. –2011. – Выпуск 9. – С. 17-23.
2. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / Москва: Техносфера, 2008. – 312 с.
3. Хабарова И.А., Хабаров Д.А., Чугунов В.А. Разработка методики лесотаксационного дешифрирования с

использованием ГИС технологий по космическим снимкам  
«Международный журнал прикладных наук и технологий  
«Integral» №1/2018.– 18 с.

4. Геологический факультет ВГУ [Электронный ресурс] /  
URL:<http://www.geol.vsu.ru/ecology/ForStudents/4Graduate/RemoteSensing/Lecture03.pdf>.
5. Роскосмос [Электронный ресурс] /  
URL:<https://www.roscosmos.ru/24707/>.
6. Авиаблог [Электронный ресурс] / Информационный портал,  
сайт.  
URL:<http://avia.pro/blog/distancionnoe-zondirovanie>
7. Российские космические системы [Электронный ресурс] /  
URL:<http://russianspacesystems.ru/bussines/dzz/>.
8. Сизов А.П., Хабаров Д.А., Хабарова И.А. Новые подходы  
к разработке методики формирования семантической  
информации мониторинга земель на основе обработки и  
анализа картографической информации.// Геодезия и  
аэрофотосъемка, №4, 2018, С.434-441.