

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И ФОТОГРАММЕТРИЯ

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов специальности 21.05.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра инженерной геодезии

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И ФОТОГРАММЕТРИЯ

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов специальности 21.05.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 528.88 (073)

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И ФОТОГРАММЕТРИЯ:
Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *А.А. Боголюбова*. СПб, 2021. 44 с.

Посвящены дешифровочным признакам, используемым для распознавания и анализа природных и антропогенных объектов, процессов и явлений по многозональным спутниковым снимкам среднего и высокого пространственного разрешения. Представлены примеры дешифрирования с указанием характерных признаков и выводов по интерпретации изображений, сделанных на их основе.

Рассмотрены (в соответствии с рабочей программой): автоматизированные методы дешифрирования снимков: контролируемая и неконтролируемая классификация, ее алгоритмы; тематическое дешифрирование; создание обучающей выборки; обоснование оптимального выбора спектральных диапазонов для различных видов тематического дешифрирования; построение матрицы ошибок и расчет статистических параметров для оценки точности классификации; формирование отчета и др.

Предназначены для студентов специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия» специализация «Инженерная геодезия». Также будут полезны для студентов бакалавриата направления 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» и для широкого круга специалистов, использующих данные аэро- и космической съемки для решения научных и практических задач.

Научный редактор проф. *М.Г. Мустафин*

Рецензент д.т.н. *М.Я. Брынь* (ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»)

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное зондирование Земли (далее – ДЗЗ), а в английском варианте - Earth Remote Sensing (ERS или RS), в настоящее время является наиболее интенсивно развивающимся способом получения актуальных и объективных данных о процессах и явлениях, происходящих в различных геосферах Земли. В свою очередь, дешифрирование данных ДЗЗ становится одним из важнейших методов для большинства наук о Земле. Дистанционное зондирование охватывает целый ряд направлений науки, техники и технологий, развивавшихся на протяжении более сотни лет.

ДЗЗ не ограничивает исследователей только понятием «снимок» или «двумерное изображение» и включает все виды информации, получаемые с помощью фиксации электромагнитного излучения без непосредственного контакта с объектом исследования (в т.ч. результаты лидарной и радиолокационной съемки).

Обработка цифровых снимков - важнейшая составляющая дистанционного зондирования Земли, назначение которой состоит в том, чтобы использовать максимум информации, которую они содержат для решения различных народно-хозяйственных задач, в частности топографического и ландшафтного картографирования. В процессе обработки снимков используются численные методы, основанные на анализе яркостных и спектральных характеристик земного покрова, проявляющихся на снимке в виде вариаций тона и цвета пикселей.

Результатом обработки является новый снимок, который можно вывести на экран монитора и сохранить его в цифровом формате для последующего использования.

Составной частью технологического процесса топографического и ландшафтного картографирования является дешифрирование снимка. Оно может быть полевым и камеральным. Камеральное дешифрирование сводится к двум основным методам: визуальному и автоматизированному, которые выполняются на основе анализа прямых и косвенных дешифровочных признаков. Для накопления и последующей передачи опыта использования прямых и косвенных дешифровочных признаков, очевидно, требуются примеры успешного дешифрирования, сопровождаемые

исчерпывающими пояснениями, которые приведены в методических указаниях.

Перечень тематических направлений использования материалов дистанционного зондирования исключительно широк: гляциология, лесное хозяйство, гидрогеология, геология, землеустройство, сельское хозяйство и др.

Подбор вариантов цветового синтеза – комбинаций спектральных каналов, используемых для дешифрирования тех или иных свойств почвенного и растительного покрова, горных пород и водных объектов – весьма важный и обширный аспект дешифрирования космоснимков. Это связано с тем, что ближний и средний ИК диапазоны дают гораздо больше информации, чем видимая часть электромагнитного спектра. Студентам следует самостоятельно ознакомиться с обзором использования вариантов цветового синтеза на примере съемочной системы LANDSAT-8, которые легко найти по ссылкам: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/> и http://www.geocarto.com.hk/edu/PJ-BCMBLSAT/main_BCLS.html.

Методические рекомендации для выполнения самостоятельной работы студентов составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Дистанционное зондирование и фотограмметрия» в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия» (уровень специалитета), утвержденного приказом Минобрнауки РФ №674 от 07 июня 2016 г., и на основании учебного плана подготовки по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия» (уровень специалитета) специализация «Инженерная геодезия».

Материал, отведенный студентами для самостоятельного изучения, выстроен во взаимосвязки с лекционными и лабораторными занятиями. В качестве приложения 1 к методическим указаниям предусмотрены тестовые задания для самоконтроля.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

1.1. Классификация и анализ аэро- и космических снимков

Термин «дешифрирование» на бытовом уровне означает процесс распознавания объектов, их свойств и взаимосвязей по их изображениям на снимке. Сформулируем более полное определение дешифрирования - это процесс изучения по аэро- и космическим изображениям территорий, акваторий и атмосферы, основанный на зависимости между свойствами дешифрируемых объектов и характером их воспроизведения на снимках. В англоязычной литературе под дешифрированием подразумевают «анализ и интерпретацию изображений» (image analysis and interpretation).

Содержанием и задачей дешифрирования является получение определенного объема качественной и количественной информации о состоянии, составе, структуре, размерах, взаимосвязях и динамике процессов, явлений и объектов с помощью дешифровочных признаков.

Различают визуальное дешифрирование (visual image interpretation), инструментальное или измерительное дешифрирование (image measuring) и автоматическое дешифрирование. По содержанию дешифрирование может быть общегеографическим (топографическим), тематическим (например, геологическим, геоботаническим, почвенным) или специальным (мелиоративным, лесоустроительным и т.п.). С учетом того, что современные технологии использования космических снимков предусматривают цифровую обработку данных, фактически инструментальное или измерительное дешифрирование частично сводится теперь к элементарным расчетам геометрических свойств дешифрируемых объектов. Таким образом, остается два основных вида дешифрирования - визуальное (экспертное) и автоматическое (автоматизированное). Их сравнение представлено ниже в табл. 1. Последнее включает задачи классификации изображений (image classification), распознавания образов (pattern recognition, computer vision) и, в итоге, машинного обучения (machine learning) как

перспективного направления, обеспечивающего процесс самообучения алгоритмов распознавания. Стремительный рост объемов данных ДЗЗ с неизбежностью порождает высокую востребованность в машинных средствах автоматической обработки. Вне зависимости от растущей доли и объемов автоматического дешифрирования всегда будет важно умение быстро, эффективно и по возможности безошибочно интерпретировать снимки, то есть выполнять визуальное дешифрирование.

Таблица 1 - Сопоставление возможностей визуального и автоматизированного дешифрирования

Визуальное дешифрирование	Автоматизированное дешифрирование
Анализ изображения выполняется на уровне объектов, размеры которых в несколько раз больше разрешения (пикселя)	Анализ изображения выполняется на уровне отдельных пикселей
Традиционный подход, основанный на интуиции человека. Результаты дешифрирования во многом зависят от опыта специалиста	Современный подход, требующий специальной подготовки
Не требуется сложного и дорогостоящего оборудования	Сложные математические методы, для применения которых необходимо дорогостоящее оборудование
Используются яркостные характеристики объектов. Основное внимание на снимке уделяется пространственной информации	В основе методов - анализ яркостных и спектральных характеристик снимков. Содержащаяся на снимке пространственная информация не используется
Хотя в анализ данных можно включать несколько спектральных диапазонов, как правило, используют только один из них	Анализируются данные из нескольких спектральных диапазонов
Анализ является субъективным и качественным, а его результаты во многом зависят от опыта оператора. Однако выводы из анализа - вполне конкретные	Анализ является объективным и количественным, но во многом абстрактным

Определение классов объектов на основе спектральных характеристик спутниковых данных является одной из

фундаментальных задач дешифрирования. Классификация многозонального снимка предполагает компьютерное, программное распознавание объектов на снимке. Использование многозональных снимков основано на особенностях спектральной отражательной способности объектов, следствием которых являются различия яркостных характеристик на зональных снимках, благодаря чему человек воспринимает цветовую гамму.

Компьютерная (цифровая) классификация снимков заключается в том, чтобы на основе спектральной информации из различных диапазонов длин волн проанализировать каждый пиксель и отнести его к тому или иному классу. Эту классификацию иногда называют распознаванием спектральных образов. В обоих случаях целью исследования является распределение пикселей снимка по определенным классам, а результирующее изображение объектов является топографической или тематической картой.

Классификация цифрового снимка заключается в группировке пикселей в соответствии с принятым правилом. При этом возможны два подхода. В первом случае классификация основана на признаках объектов, принадлежность которых к определенному классу на местности известна (например, признаки объектов на эталонных участках). Это называется *контролируемая классификация (supervised classification)* или классификация с обучением (рис. 1а). Контролируемая классификация предполагает отнесение каждого из пикселей снимка к определенному классу объектов на местности, которому соответствует некоторая область в пространстве признаков (к определенному информационному классу).

Другой подход заключается в группировке пикселей со сходными уровнями яркости в съемочных зонах без предварительного знания числа и характеристик классов объектов на местности. Это называется *неконтролируемая классификация (unsupervised classification)*, или кластеризация (cluster), которую иногда называют классификацией без обучения. Смысл неконтролируемой классификации заключается в разделении всех пикселей изображения на группы (кластеры), название, спектральные характеристики и даже само существование которых предварительно неизвестны (рис. 2б).



Рис. 1. Схема классификации с обучением (а) и без обучения (б)

Критерием отнесения пикселей к тому или другому кластеру служит схожесть спектральных характеристик. На первом этапе группирование данных осуществляется с помощью программ кластерного анализа, при этом дешифратор обычно указывает, на какое количество кластеров можно разделить весь набор исходных данных. Помимо этого дешифратор может указать критерии разделения различных кластеров и возможный разброс значений внутри каждого из них. Процедура разделения на кластеры является итерационной, т.е. дешифратор на каждом этапе объединяет или разделяет определенные кластеры.

Выделенным кластерам присваиваются порядковые номера, а в задачу дешифровщика входит последующее определение их соответствия классам на поверхности земли. Вместе с тем, классы объектов в данном методе не определяются заранее, а выявляются в результате некоторой численной процедуры.

1.2. Процедура дешифрирования. Дешифровочные признаки

Технологически процесс дешифрирования можно разбить на следующие этапы:

- 1) изучение опыта и рекомендаций по данному виду дешифрирования и по конкретной местности;
- 2) выявление набора объектов дешифрирования (объектов интереса) и присущих им дешифровочных признаков;
- 3) подбор съемочного материала и вычислительных средств (компьютерных программ), позволяющих использовать выявленные дешифровочные признаки объектов интереса;
- 4) дешифрирование снимков и оценка достоверности результатов;
- 5) оформление результатов дешифрирования.

Обнаружение начинается непосредственно с созерцания всего снимка, затем изображение разделяется на всё более мелкие участки, а затем выделяются элементарные единицы (объекты и их элементы), которые различаются формой, размером, тоном. Дешифрирование снимков выполняется по прямым и косвенным дешифровочным признакам и, как правило, с привлечением дополнительных картографических материалов.

В контексте этой задачи ключевым является понятие «дешифровочные признаки» - элементы изображения, определяющие возможность корректной интерпретации и, следовательно, последующего картографирования местности. Различают прямые (элементы изображения самого объекта) и косвенные (элементы изображения, помогающие распознаванию дешифрируемого объекта) дешифровочные признаки, успешное использование которых зависит от опыта эксперта. Соответственно, принято выделять прямое (прямые дешифровочные признаки) и косвенное или индикационное (косвенные дешифровочные признаки, индикаторы) дешифрирование.

Таким образом, различают прямые (элементы изображения самого объекта) и косвенные (элементы изображения, помогающие распознаванию дешифрируемого объекта) дешифровочные признаки, успешное использование которых зависит от опыта эксперта. Соответственно, принято выделять прямое (прямые

дешифровочные признаки) и индикационное (косвенные дешифровочные признаки, индикаторы) дешифрирование.

К *прямым простым признакам* относят: форму, тон, цвет, размер, яркость, тень.

Прямые сложные дешифровочные признаки - структура и текстура. Их иногда объединяют под одним названием рисунок изображения. Текстура обусловлена взаимным закономерным расположением тоновых неоднородностей изображения и может быть тонкосетчатой, полосчатой, однородной, пятнистой и т.п. Хорошим примером последней является вид возделываемых сельскохозяйственных полей, явно отличающихся от естественных природных участков с похожей или аналогичной растительностью именно за счет характерной текстуры.

Косвенные дешифровочные признаки основаны на связях (корреляциях) между видимыми и невидимыми свойствами объектов, при этом видимый объект является индикатором, указывающим на наличие невидимого. Успешность косвенного или индикационного дешифрирования существенно зависит от опыта и квалификации дешифровщика. В качестве индикатора чаще всего выступают растительный покров, рельеф и гидрография.

Приведем пример дешифровочных признаков для наиболее распространенного типа нарушенных земель – карьерно-отвального, который образуется при геологоразведочных работах и разработке месторождений природных ископаемых. Все типы нарушенных земель имеют четкие дешифровочные признаки на аэро- и космических снимках и многие изображаются на топографических планах и картах специальными условными знаками (табл. 2).

Таблица 2 – Дешифровочные признаки для нарушенных земель

Объект	Дешифровочные признаки	Количественные и качественные признаки
Карьеры	Определенная геометрическая	Продукт добычи,

(вытянутые, трапециевидные)	форма, собственные и падающие тени стенок, следы разработки, в основном серый тон	форма, глубина, площадь поверхности
Отвалы (конические, веерные)	Определенная геометрическая форма, собственные и падающие тени (для терриконов), пятна сегментной формы с веерообразным рисунком, серый тон с ограничивающей белой и черной полосой	Форма, высота, площадь основания, объем
Участки подтопления	Неопределенной геометрической формы, пятно с извилистым контуром, вкрапления деревьев, суши, пятнистый рисунок темно-серого тона	Площадь
Участки с нарушенным растительным покровом	Неопределенная геометрическая форма, падающие тени от редких деревьев, неоднородный рисунок темно-серого и серого тона	Площадь
Котловины (сухие; с водой)	Неопределенной геометрической формы, пятно с извилистым контуром, рисунок однородный, темно-серого тона, иногда почти черный тон	Форма, площадь
Дороги, подъездные пути	Вытянутая геометрическая форма (длинная полоса), светлый почти белый тон	Ширина, вид покрытия

Остановимся более подробно на видах структуры земель и приведем примеры (табл. 3).

Таблица 3 – Виды структуры земель

Вид структуры	Описание	Пример
---------------	----------	--------

Однородная	образуется однотипной формой микрорельефа и характерна для низинных травянистых болот, степной равнины, глинистой пустыни, водоемов при спокойном состоянии воды	
Зернистая	характерна для изображения лесов; рисунок создается серыми пятнами округлой формы (кронами деревьев) на более темном фоне, создаваемом затененными промежутками между деревьями	
Полосчатая	характерна для изображений огородов и распаханых пашен и является следствием параллельного расположения борозд	
Мозаичная	образуется растительностью или почвенным покровом неодинаковой влажности и характерна для беспорядочно расположенных участков различного тона, размеров и форм	
Пятнистая	характерна для изображений садов и болот	
Аналогичная	создаваемая чередованием прямоугольников различного размера и плотности, характерна для изображения приусадебных участков	
Мелкозернистая	характерна для изображения кустарников различных пород	

1.3. Алгоритмы контролируемой классификации

Классификация - обычное дело в нашей жизни. Она применяется практически во всех областях науки и техники, а также в повседневной жизни. Этот процесс выполняется на основе признаков, извлеченных из классифицированных объектов и

стандартов, взятые из некоторой предыстории, на основе предыдущих знаний.

Независимо от того, какой способ выбран для решения поставленной задачи дешифрирования, контролируемая классификация данных ДЗЗ включает в себя следующие этапы:

1. Определение классов объектов, которые будут выделены в результате выполнения всей процедуры классификации. Это могут быть растительные сообщества, сельскохозяйственные культуры, древесные породы, гидрографические объекты.

2. Подбор нужного для исследования классификатора.

3. Выбор определенных площадей в качестве эталонных. Для каждого из классов объектов выбираются типичные для него пиксели, т. е. формируется обучающая выборка. При выборе площадей для обучающей выборки дешифратор опирается на свое знание территории и расположенных на ней объектов. Таким образом, именно дешифратор контролирует разделение всех объектов на определенные классы, его работа определяет качество подготовки обучающей выборки, а в дальнейшем и точность всей классификации земельных угодий.

4. Вычисление статистических показателей для обучающей выборки.

5. Проверка возможности разделения обучающей выборки для определения оптимальной комбинации спектральных каналов, которые будут использоваться для классификации.

6. Обоснование выбора подходящего алгоритма классификации.

7. Распределение пикселей по классам: вычисление параметров, «спектрального образа» каждого из классов, сформированного в результате набора эталонных пикселей. Набор параметров зависит от алгоритма, который предполагается использовать при классификации. Значения пикселей эталонных областей в различных спектральных диапазонах используются в качестве обучающих выборок для настройки программы распознавания. В результате, для каждой области определяется эталон - совокупность спектральных признаков, задающих один класс пикселей на цифровом снимке. После этого каждый пиксель

снимка относится к тому или иному классу на основании последовательного сравнения со всеми созданными эталонами. Таким образом, при контролируемой классификации сначала определяются информационные классы, а затем соответствующие им спектральные.

8. Оценка точности классификации заключается в просмотре всего изображения. Дешифратор должен установить, как точно классы объектов на снимке соответствуют им на земной поверхности. Контролируемая классификация выполняется, как правило, при достаточных эталонных данных, прежде всего в случае наличия результатов полевых наблюдений. Результаты исследований считаются удовлетворительными, если правильно определены 80-85% классифицируемых объектов. Особое значение при этом имеет формирование обучающей выборки, поскольку от ее качества зависит точность классификации земельных угодий.

Если спектральные характеристики выделенных классов действительно различаются, то результатом классификации земного покрова становится тематическая карта.

1.4. Построение матрицы ошибок и расчет статистических показателей точности классификации

Классификацию снимка нельзя считать завершенной, пока не получена оценка ее точности. Дешифратор должен установить, как точно классы объектов на снимке соответствуют им на земной поверхности. В области обработки изображений термин точность означает меру согласованности имеющейся достоверной информации в некоторой пространственной точке со сведениями классифицируемого снимка. Для построения контрольной карты обычно используют несколько источников данных, поэтому она считается более точной. Результатом является отчет, в котором указывается общая точность классификации всей карты или отдельных участков земной поверхности.

Стандартной формой представления оценки точности классификации для определенного местоположения является матрица ошибок, которая характеризует не только погрешность классификации для каждого класса, но и ошибки, связанные с

неверной классификацией. Матрица ошибок состоит из равного числа строк и столбцов (квадратная матрица размерности $n \times n$), где n - количество классов объектов на контрольной карте.

Сравнение происходит в табличном (матричном) виде. При анализе данных ДЗЗ в качестве источников выступают две карты: проверяемый растр (тематическая карта, полученная в результате автоматической классификации изображения) и опорный растр (более точный источник данных). При интерпретации результатов полагают, что проверяемый результат потенциально является неточным, а проверочный растр хорошо отражает реальную ситуацию.

Таким образом, расчет матрицы ошибок является ключевым этапом в процессе классификации. Он позволяет дешифратору определить точность тематической карты. После рассмотрения первого набора дешифратор может отредактировать некоторые из обучающих выборок и запустить алгоритм классификации снова. Как правило, алгоритм контролируемой классификации проходит через несколько итераций, прежде чем будет получен удовлетворительный результат.

Матрица ошибок формируется по следующему принципу: в строки записывают информацию, соответствующую опорному растру или карте; а в столбцы – тематическую информацию, полученную в результате автоматической классификации аэроснимка.

Схематичное представление матрицы ошибок приведено в табл. 3. а рассчитанные значения матрицы по пяти информационным классам земельных угодий ООПТ Санкт-Петербурга приведены в Приложении 2: водные объекты (класс А), лесные насаждения и растительность (класс В), водно-болотные угодья (класс С), бывшие сельскохозяйственные угодья (класс D), искусственная поверхность (класс E).

Таблица 3 - Принцип формирования матрицы ошибок

Эталонные данные	Классифицируемые данные					Сумма по строкам
	А	В	С	Д	Е	
Класс А	D_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{AE}	R_A
Класс В	n_{BA}	D_{BB}	n_{BC}	n_{BD}	n_{BE}	R_B

Класс C	n_{CA}	n_{CB}	D_{CC}	n_{CD}	n_{CE}	R_C
Класс D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	D_{DD}	n_{DE}	R_D
Класс E	n_{EA}	n_{EB}	n_{EC}	n_{ED}	D_{EE}	R_E
Сумма по столбцам	C_A	C_B	C_C	C_D	C_E	N

Ячейки матрицы содержат количество пикселей, которое основано на информации, полученной от присвоенного пикселям класса земельных угодий как классифицируемой карты, так и опорного раstra. Таким образом, если пиксель относится к классу A классифицируемой карты и классу B опорной карты, то он будет учитываться в ячейке матрицы ошибок и будет расположен в первом столбце второй строки (ячейка определяется как $n_{1,2}$).

Ячейки, расположенные по диагонали в матрице ошибок, представляют собой количество правильно классифицированных пикселей (D_{ij}). Сумма значений диагональных элементов в матрице ошибок показывает общее количество правильно классифицированных пикселей A отношение общего числа правильно классифицированных пикселей к их общему количеству в матрице ошибок ($N = \sum R_i = \sum C_j$) называется общей точностью классификации T и выражается в процентах:

$$T = \frac{\sum D_{ij}}{N}, \quad (1)$$

где $\sum D_{ij}$ - сумма значений диагональных элементов в матрице ошибок (общее количество правильно классифицированных пикселей); M – общее количество классов.

Как уже отмечалось, недиагональные элементы матрицы содержат информацию о ложной классификации и пропусках в ней. Пропуски классификации представлены для каждого класса земельных угодий элементами справа от диагонали. Для получения оценки пропусков классификации для каждого класса земельных угодий суммируются значения в соответствующей строке, а затем полученное значение делится на общее количество пикселей в данном классе.

Аналогичным образом, для оценки ложной классификации вычисляется сумма недиагональных элементов в столбце класса, а затем ее делят на общее число пикселей в данном классе земельных угодий. Пример анализа экспериментальных данных и ошибки пропусков и ложной классификации для всех классов земельных угодий Юнтоловского заказника Санкт-Петербурга представлены в Приложении 3.

Двусторонний критерий значимости, соответствующий доверительному уровню 95% для каждого класса, можно получить с помощью формулы, определяющей границы доверительного интервала:

$$p = T \pm \left[1,96 \sqrt{\frac{(T)(q)}{N} + \frac{50}{N}} \right], \quad (2)$$

где p - точность классификации отдельного класса земельных угодий, соответствующая доверительному уровню 95%; T - точность классификации отдельного класса земельных угодий; $q = 100 - T$; N - объем выборки.

Доверительные интервалы оценок пропусков и ложной классификации представлены в Приложении 4.

Используя значение 85% в качестве порогового и данные из расчетов, приведенных в приложении 4, очевидно, что классы «водные объекты» и «водно-болотные угодья» не удовлетворяют сформулированному критерию, поскольку граничные значения доверительного интервала меньше 85%. Это объяснимо большим объемом выборки.

Исходя из вышеприведенного, видно, что оценка точности классификации во многом зависит от того, как сформированы обучающие выборки.

Более полной мерой точности классификации является коэффициент Каппа, также известный как Каппа hat или \hat{K} (\hat{K}). Этот коэффициент сравнивает количество пикселей в каждой из ячеек матриц с возможностью распределения пикселей как случайной величины.

Коэффициент Каппа (\hat{K}) рассчитывался по формуле:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m D_{ij} - \sum_{i=1}^m R_i \cdot C_j}{N^2 - \sum_{i=1}^m R_i \cdot C_j}, \quad (3)$$

где \hat{K} - коэффициент Каппа; N – количество пикселей снимка (объем выборки); M – общее количество классов; $\sum D_{ij}$ - сумма диагональных элементов матрицы ошибок (сумма правильно классифицированных пикселей по всему снимку); R_i – общее количество пикселей в i -ой строке (сумма пикселей по i -ой строке); C_j – общее количество пикселей в j -ом столбце (сумма пикселей по j -му столбцу),

Наблюдаемой величиной являлась общая точность классификации, а случайными совпадениями - оценка согласованности между снимком и картой при случайном распределении пикселей по классам. Для получения этой оценки рассматривали матрицу ошибок, элементы которой являются произведениями общего числа пикселей в соответствующих строках и столбцах.

Для матрицы ошибок из приложения 2 вычислено значение $\hat{K}=0,887$. Это означает, что полученная ранее точность классификации на 88,7% превышает ту, которая была бы при случайном распределении пикселей по классам.

Лэндис и Коэн предложили критерии согласия для коэффициента Каппа (табл. 4):

Таблица 4 - Критерий согласия для коэффициента Каппа Коэна

Значение коэффициента Каппа	Критерий согласия
$0,81 \leq \hat{K} \leq 1$	почти полностью согласуются
$0,61 \leq \hat{K} \leq 0,80$	существенно согласуются
$0,41 \leq \hat{K} \leq 0,60$	умеренное согласие

$0,21 \leq \hat{K} \leq 0,40$	небольшое согласие
$0,0 \leq \hat{K} \leq 0,20$	плохо согласуются
$\hat{K} < 0,0$	не согласуются

Таким образом, опираясь на расчеты из приложения 2, имеем существенный критерий согласия автоматизированного дешифрирования аэроснимков по алгоритму максимального правдоподобия при их нормальной функции распределения.

Также существуют еще и другие критерии оценки точности классификации. Рассмотрим их далее.

Для каждой строки матрицы ошибок, отношение правильно классифицированных пикселей (т.е. количество пикселей в ячейке по диагонали D_{ij}) к общему количеству пикселей в этой строке (R_i) согласно проверочным данным, выраженное в процентах, позволяет оценить точность классификации для каждого класса земельных угодий представленного ряда. Этот показатель называется **«точностью производителя» (producer's accuracy)**, поскольку он позволяет определить, насколько качественно дешифратор произвел тематическую карту:

$$PA = \frac{D_{ij}}{R_i}, \quad (4)$$

где PA – точность производителя; D_{ij} - количество правильно классифицированных пикселей в в i -ой строке ячейки по диагонали; R_i – общее количество пикселей в i -ой строке.

Точность производителя PA между разными классами земельных угодий существенно различается. Это обусловлено тем, что некоторые классы более спектрально различимы, чем другие, и классифицируются более точно.

Просуммировав точность производителя для каждой строки матрицы (PA_i) и поделив ее на количество классов (M), получим «среднюю точность производителя» классифицируемой карты:

$$MPA = \frac{\sum PA_{ij}}{M}, \quad (5)$$

Подобную меру точности UA можно рассчитать и для каждого столбца, сравнивая долю правильно классифицированных пикселей в этом столбце D_{ij} с общим количеством пикселей в столбце C_j . Результат выражается либо в процентах либо десятичной дробью. Колонку точности UA называют «точностью пользователя» (user's accuracy), поскольку она показывает пользователю насколько вероятно, что данный класс земельного угодья совпадает с результатами классификации:

$$UA = \frac{D_{ij}}{C_j}, \quad (6)$$

где UA – точность пользователя; D_{ij} - количество правильно классифицированных пикселей в j -ом столбце ячейки по диагонали; C_j – общее количество пикселей в j -ом столбце.

Например, точность производителя для одного класса может быть высокой, а точность пользователя при этом - низкой. Это будет означать, что дешифратор выполнил качественную работу по подготовке классификатора на основе эталонных данных, однако результирующая классификация, выполненная на основе проверочных пикселей, была недостаточно точной.

Просуммировав точность пользователя UA для каждого столбца матрицы (UA_j) и поделив ее на количество классов (M), получим «среднюю точность пользователя» классифицируемой карты:

$$MUA = \frac{\sum UA_j}{M}. \quad (7)$$

Результаты расчетов вышеприведенных показателей точности классификации приведены в приложении 2

Проанализировав полученные результаты автоматической классификации земельных угодий ООПТ можно заключить, что по экспериментальным данным отмечается четкая классификация контуров водных объектов, лесных насаждений и растительности, а

классы земельных угодий «водно-болотные угодья», «бывшие сельскохозяйственные угодья» и «искусственная поверхность» накладываются друг на друга. Это связано с тем, что на исходных аэроснимках имеется тень от облака, которая распространяется на территорию леса, болот и городской застройки. Тень дает такой эффект, что плотность пикселей в тестовых участках классов «водно-болотные угодья» и «водные объекты» имеет практически одинаковую величину.

2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

2.1. Общие сведения

Каждый студент получает индивидуальное задание (исходный снимок) по номеру своего варианта в журнале (в алфавитном порядке). В качестве исходных снимков используются ортофотопланы на Санкт-Петербург.

Цель работы: заключается в получении навыков выполнения автоматического дешифрирования методом максимального правдоподобия, оценки точности результатов классификации и умения интерпретировать полученные результаты.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Подготовить исходный снимок к обработке в программе Classification.exe;
2. Определиться с количеством информационных классов;
3. Составить обучающую выборку и подготовить ее к классификации в программе Classification.exe;
4. Выполнить классификацию обучающей выборки и исходного снимка по алгоритму максимального правдоподобия (Maximum likelihood classifier) в программе Classification.exe;
5. Применить три любых фильтра к полученной в результате классификации тематической карте;
6. Выполнить оценку точности классификации на основе матрицы ошибок;

7. Сделать компетентное заключение, основываясь на полученных результатах классификации, об ее качестве.

Студентам рекомендуется заранее в группе оговорить состав информационных классов, присвоив каждому из них название и соответствующую цветовую гамму. Это будет весьма полезно для того, чтобы полученные в итоге тематические карты каждого студента можно было сшить в единую тематическую карту территории, а затем сделать общий вывод и проверить на ложную классификацию и добросовестность коллег по группе.

2.2. Ход работы

Перед тем как приступить к дешифрированию, необходимо убедиться, что свойства изображения удовлетворяют параметрам, при которых можно обрабатывать цифровой снимок в программе **Classification.exe**. А именно: вес изображения не должен превышать 35 Мбайт, чтобы уменьшить размер, необходимо открыть в программе «GIMP 2» исходный снимок. На панели быстрого доступа выбрать «Изображение», далее «Размер изображения» и во всплывающем окне изменить количество пикселей по ширине и высоте методом подбора. Далее сохранить изображение в формате .bmp. GIMP (Photoshop) сохраняет его, как 256-разрядный рисунок, а **Classification.exe** обрабатывает только 24-разрядные изображения. Поэтому снимок необходимо пересохранить как 24-разрядный рисунок, а проще всего это сделать в графическом редакторе «Paint». В результате получаем готовое цифровое изображение, которое можно обрабатывать в **Classification.exe**.

На начальном этапе дешифрирования необходимо разложить изображение на составляющие цвета в формате **RGB** и сохранить каждый канал цвета по отдельности. Для этого на панели меню программы GIMP выбираем «Цвет» → «Составляющие» → «Разобрать». Убираем галочку с «Разобрать на слои» (*альфа-канал игнорировать*) и нажимаем «Ок». Сохраняем получившиеся изображения в формате .bmp. Таким образом, получим 4 изображения – исходное и разложенное изображение по RGB (красный, зеленый, синий) канала в отдельности.

Затем выполняем визуальное дешифрирование для того, чтобы определить количество классов объектов на снимке. В приведенном примере выделено 5 информационных классов объектов (таблица 4).

Таблица 4 - Название классов объектов

№ класса	Название класса	Краткое описание
1	Водные объекты	Реки, залив, водоемы, резервуары
2	Лесные насаждения и растительность	Хвойные и лиственные леса, смешанные леса, редколесье, кустарники
3	Водно-болотные угодья	болота, заболоченные территории, заливные луга
4	Бывшие с.х. угодья	Сельскохозяйственные площади, огороды, сады, поля, луга, пастбища
5	Искусственная поверхность	Здания, строения, гражданские и промышленные объекты

На следующем этапе формируется обучающая выборка. С помощью графического редактора «**Paint**» и команд «**Выделить**», «**Вырезать**», «**Вставить**» необходимо набрать эталонные пиксели для каждого класса. Пример формирования выборки приведен на рис. 1.

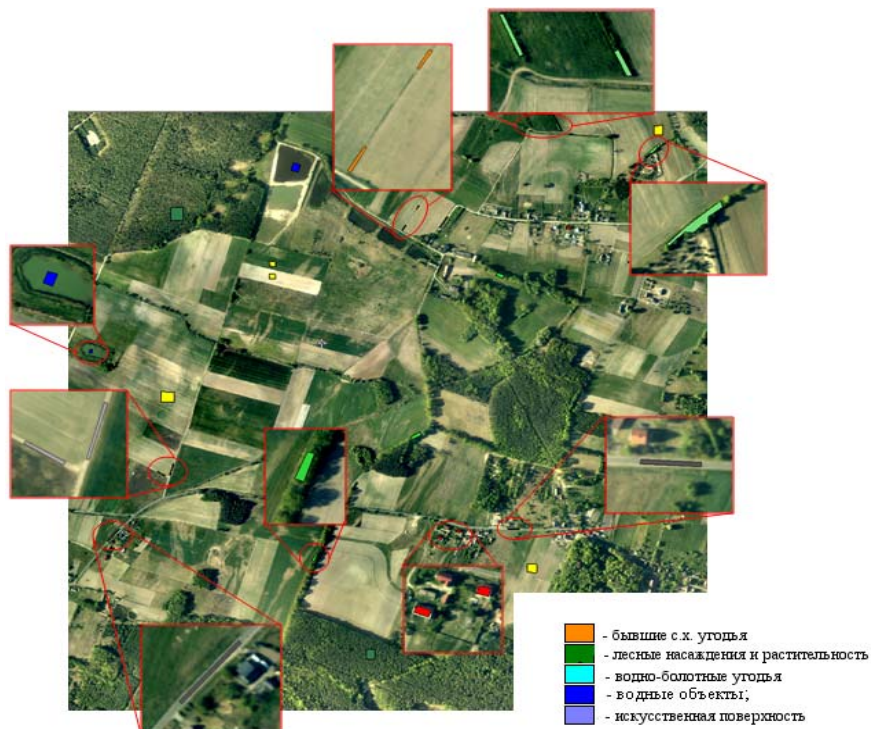


Рис. 1. Набор эталонных участков на аэрофотоснимке

Сформированную выборку нужно разложить на RGB (красный, зеленый, синий), как это было сделано ранее с исходным изображением, и каждому классу присвоить свой цвет. В результате получаем обучающую выборку, выборку в цвете и разложенную выборку на RGB каналы по отдельности (рис. 2). Рекомендуется при формировании обучающей выборки учитывать, чтобы объем эталонных пикселей был примерно одинаков для каждого информационного класса, чтобы априорная ошибка появления каждого класса была равновероятна.

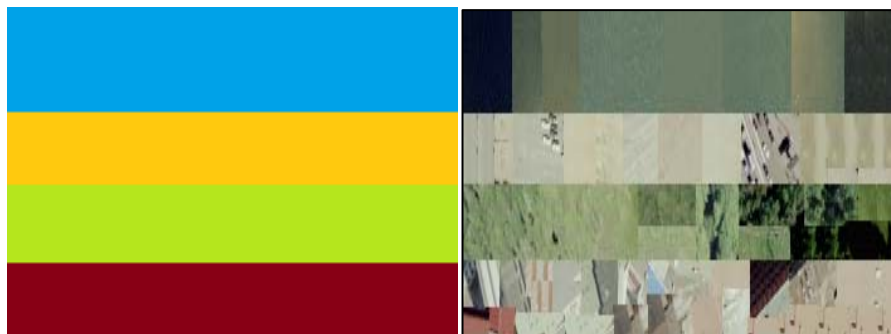


Рис. 2. Обучающая выборка в RGB и с присвоением цвета для каждого информационного класса

Далее открываем программу **Classification.exe**. Обработка в данной программе происходит по методу максимального правдоподобия. Сначала нужно загрузить обучающую выборку. Для этого нажимаем «*Classification Data*» → «*Learning*» и выбираем рабочую папку с файлами. Далее в окне выборе файлов нужно выбрать файлы: обучающая выборка в трех цветах и файл, который хотим получить в результате (рис. 3). После нажимаем «*Ok*» → «*Built classifier*».

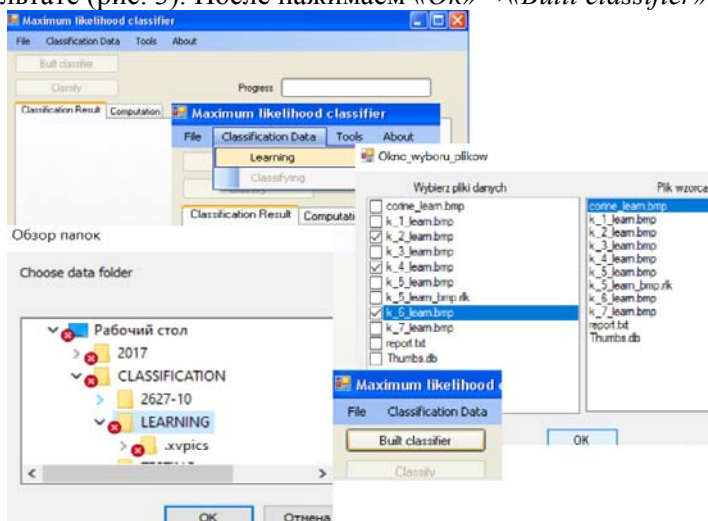


Рис. 3. Запуск Classification.exe и окно выбора файлов

Затем открываем вкладку «**Computation**» (рис. 4), в ней можно посмотреть статистику, а именно: количество классов, цветовая модель RGB, общее количество пикселей, количество пикселей в каждом классе, априорная вероятность для каждого класса и максимальная оптическая плотность пикселя в каждом классе.

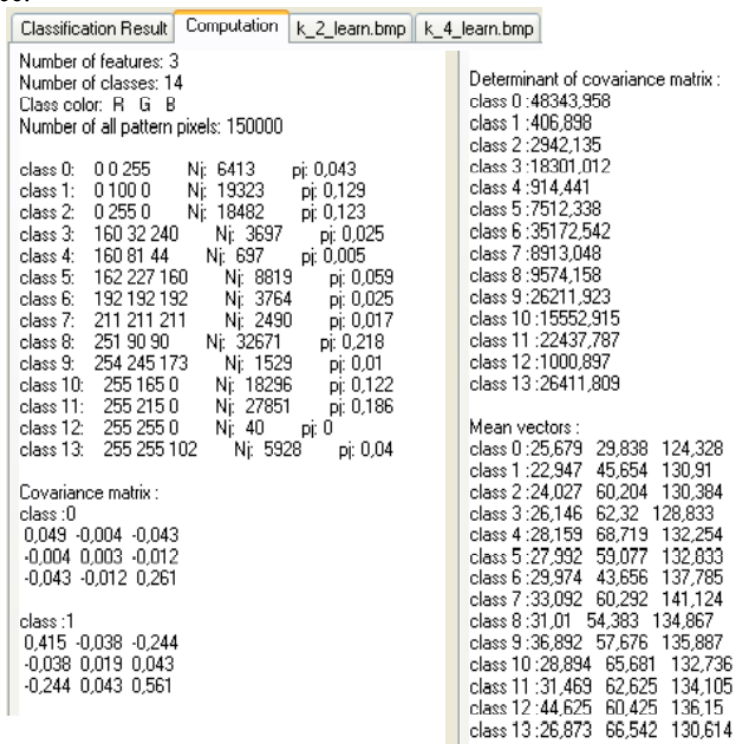


Рис. 4. Полученная статистика по результатам построения классификатора

Статистические показатели используются для быстрой оценки исходных данных и рассчитываются для каждой спектральной зоны (табл. 5).

Таблица 5 – Суть статистических показателей

Статистические показатели	Для чего рассчитывается
Минимальное и максимальное значения	Характеризуют диапазон яркости снимка, оба эти значения используют в качестве параметров в алгоритмах увеличения контрастности изображения
Среднее значение	Является общей характеристикой распределения яркости
Стандартное отклонение и дисперсия	Дисперсия показывает: отражает меру разброса данных вокруг средней величины; стандартное отклонение характеризует меру рассеяния данных, но в отличие от дисперсии его можно сравнивать с исходными данными
Ковариационная и корреляционная матрицы	Характеризуют избыточность данных и используются при анализе данных методом главных компонент, а также для выделения спектральных признаков и классификации объектов
Минимальное и максимальное значения	Характеризуют диапазон яркости снимка, оба эти значения используют в качестве параметров в алгоритмах увеличения контрастности изображения

На заключительном этапе нужно проклассифицировать обучающую выборку и исходное изображение. Для этого нажимаем «*Classification Data*» → «*Classifying*», выбираем рабочую папку и выбираем выборку в красном, зеленом и синем цветах. Нажимает «*Ок*» → «*Classify*» (рис. 5). Результат классификации обучающей выборки представлен в таблице 2. Полученное изображение так же нужно сохранить в формате .bmp.

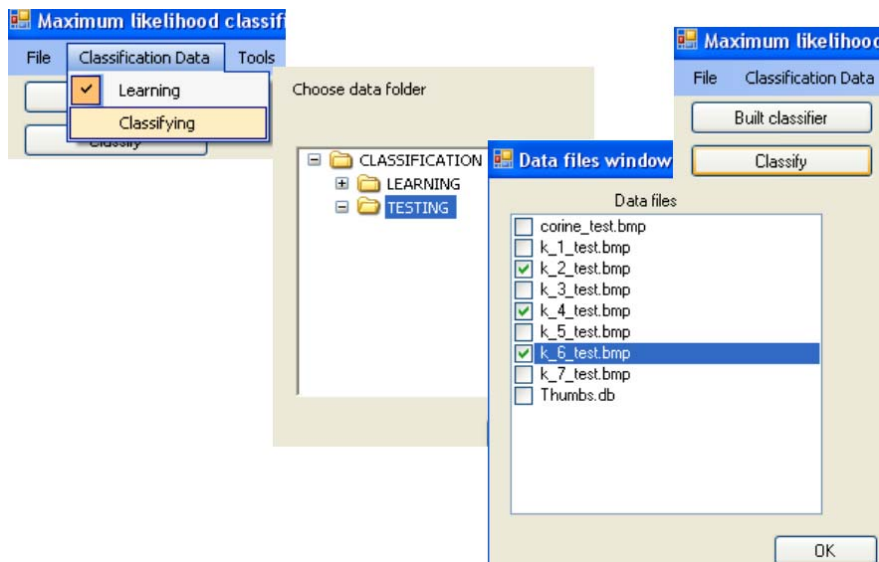


Рис. 5. Порядок действий по классификации обучающей выборки и исходного изображения

Для классификации исходного изображения необходимо повторить все вышеописанные действия. Результат классификации цифрового снимка представлен на рисунке 6.

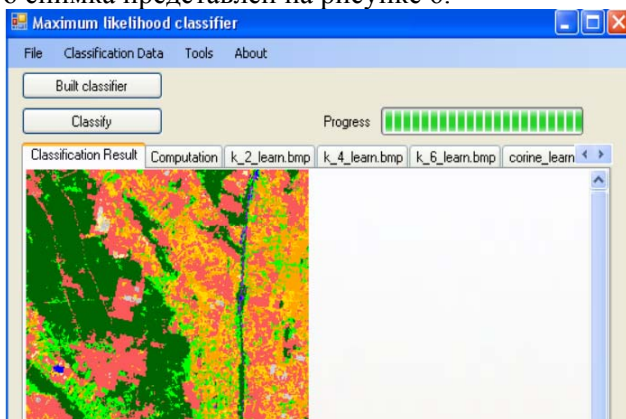


Рис. 6. Результат классификации цифрового снимка без фильтров

Далее к проклассифицированному изображению необходимо применить три любые фильтра из доступного «**Tools**» – «**Filters**», например: *Modal*, *Median*, *Minimal*, и поиграть с размером масок ввода. Она отвечает за размер обобщения пикселей. Анализирует кривую спектральной отражательной способности изображения, определяет какие пиксели в какой класс занести.

Затем необходимо провести оценку точности выполненной классификации по алгоритмы максимального правдоподобия, опираясь на материал, изложенный в п. 1.4 методических указаний.

В заключение необходимо сделать развернутый вывод о результатах и качестве проведенной классификации: можно ли считать результаты классификации удовлетворительными? Вывод нужно аргументировать на основе базовых знаний и на значениях рассчитанных статистических показателей.

На последнем этапе студенты сшивают полученные по результатам контролируемой классификации с обучением снимки в единую тематическую карту территории (приложение 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный этап развития методов и технологий обработки и анализа данных ДЗЗ характеризуется выраженным трендом на автоматизацию. За последние годы было разработано множество новых методов автоматизированного анализа изображений. Наиболее перспективными из них являются алгоритмы, основанные на искусственном интеллекте (моделях машинного обучения) и нейронных сетях. Появление таких алгоритмов в совокупности с ростом пространственного и временного разрешения данных ДЗЗ позволяет решать на их основе принципиально новые задачи как научного, так и практического характера. Однако, роль высококвалифицированных дешифровщиков нельзя переоценить в процессе анализа данных ДЗЗ. Поэтому студентам предлагается выступить в роли специалистов-дешифровщиков с целью повысить свою квалификацию, чтобы быть конкурентоспособными на рынке труда в будущем, и погрузиться более детально в современные алгоритмы автоматизированного распознавания образов.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Кашкин В.Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – режим доступа: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/54/u_course.pdf.

2. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Н. Шихов, А. П. Герасимов, А. И. Пономарчук, Е. С. Перминова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 49,6 Мб; 191 с. : ил. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/shikhov-gerasimov-ponomarchuk-perminova-tematicheskoe-deshifrirovaniye-i-interpretaciya-kosmicheskikh-snimkov.pdf>. – заглавие с экрана

3. Корнилов, Боголюбова А.А. Компьютерные технологии в фотограмметрии [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. Н. Корнилов, А. А. Боголюбова. - СПб. : Горн. ун-т, 2014. - 110 с. - Б. ц. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=374&task=set_static_req&bns_string=NWPiB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%2D277385<.>.

4. Шовенгердт, Р.А. Дистанционное зондирование. Модель и методы обработки изображений / Р.А.Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с. – [Электронный ресурс] : режим доступа: <http://www.geokniga.org/books/5231>.

5. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 148 с.

Дополнительная литература

1. Инструкция по дешифрированию аэрофотоснимков и фотопланов в масштабах 1:10000 и 1:25 000 для целей землеустройства, государственного учета земель и земельного кадастра. – М.: ВИСХАГИ, 1978. – 142 с.

2. Руководство по дешифрированию аэроснимков при топографической съемке и обновлении планов масштабов 1:2 000 и 1:5 000. – М.: ЦНИИГАиК, 1980.

3. Трофимов, Д.М. Современные методы и алгоритмы обработки и анализа комплекса космической, геолого-геофизической и геохимической информации для прогноза углеродного потенциала неизученных участков недр / Д.М. Трофимов, В.Н. Евдокименков, М.К. Шувалова. - Москва: Физматлит, 2012. - 320 с. - [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457702>

4. Боголюбова А.А. Аэрокосмический мониторинг земельных угодий особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Санкт-Петербург, 2012. – 19 с. Режим доступа: <https://dlib.rsl.ru/viewer/01005046857#?page=1>

5. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли: монография / под ред. В.В. Еремеева. - Москва: Физматлит, 2015. - 458 с. - [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457699>

6. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / Пер. с англ. А.В. Кирюшина. — Москва: Техносфера, 2008. - 312 с., 16 с. цв. вклейки.

7. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. пособие для студентов вузов / И.А. Лабутина. – М.: Аспект-Пресс, 2004. – 184 с., 8 с. цв. вкл.

8. Лабутина И.А., Балдина Е.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ / Методическое пособие. М., 2011. 88 с.

9. Lillesand Thomas M. Remote Sensing and Image Interpretation (5th ed.). Chapter 7, Digital Image Processing. New York: John Wiley and Sons, 2004. pp. 550-610.

Интернет ресурсы

1. Данные дистанционного зондирования со спутника SPOT-

5. Режим доступа: <http://www.spot5.ru>
2. Зинченко О.Н. Цифровые камеры для топографической аэросъемки. Обзор моделей (декабрь, 2013). Режим доступа: <http://www.racurs.ru/wiki/index.php>.
3. Материалы информационного сайта компании «ГЕОИД». Режим доступа: http://www.geoidodintsovo.ru/articles_32.htm.
4. Материалы официального сайта Геологической службы США «U.S. Geological Survey». Режим доступа: http://www.usgs.gov/climate_landuse.
5. Материалы официального сайта Журнала «Геоматика». Режим доступа: <http://www.geomatica.ru>
6. Материалы официального сайта Журнала «Земля из космоса». Режим доступа: <http://www.zikj.ru/index.php/ru/>
7. Материалы официального сайта Инженерно-технологического центра «СканЭкс». Режим доступа: <http://scanex.ru>
8. Материалы официального сайта компании ООО «ДАТА+». Режим доступа: <http://www.dataplus.ru>
9. Материалы официального сайта «Космоснимки». Режим доступа: <http://www.kosmosnimki.ru>
10. Материалы официального сайта неформального некоммерческого сообщества специалистов в области ГИС и ДЗЗ. Режим доступа: <http://gis-lab.info>
11. Материалы официального сайта компании «Совзонд» URL: <http://sovzond.ru>
12. Межуниверситетский аэрокосмический центр. Электронный ресурс. URL: <http://www.geogr.msu.ru/science/aero/center/centre.htm>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Методические особенности обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли.....	5
1.1. Классификация и анализ аэро- и космических снимков.....	5
1.2. Процедура дешифрирования. Дешифровочные признаки	9

1.3. Алгоритмы контролируемой классификации.....	13
1.4. Построение матрицы ошибок и расчет статистических показателей точности классификации	14
2. Автоматическое дешифрирование методом максимального правдоподобия.....	21
2.1. Общие сведения.....	21
2.2. Ход работы.....	22
Заключение.....	29
Рекомендательный библиографический список.....	30
Приложение 1.....	34
Приложение 2.....	41
Приложение 3.....	42
Приложение 4.....	43
Приложение 5.....	44

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Примеры тестовых вариантов заданий на усвоение материала по самостоятельной работе студентов

1. Дистанционные методы съемки основаны на получении информации об объектах земной поверхности на расстоянии:

1. десятки метров;
2. сотни метров;
3. сотни километров;
4. тысячи километров.

2. К оптическим характеристикам земной поверхности относятся:

1. Освещенность местности;
2. Отражательная способность объектов;
3. Спектральный коэффициент яркости;
4. Сезонные аспекты ландшафтов;
5. Влажность поверхности.

3. Методы дешифрирования (по месту выполнения):

1. Наземный;
2. Пешеходный;
3. Автомобильный;
4. Полевой;
5. Визуальный.

4. На аэроснимках различают объекты:

1. компактные;
2. линейные;
3. площадные;
4. крупные;
5. точечные.

5. Дешифрирование выполняется по признакам:

1. прямым;
2. косвенным;
3. комплексным;

4. комбинированным.

6. К прямым дешифровочным признакам относятся:

1. конфигурация объекта;
2. форма;
3. размер;
4. объем;
5. название;
6. тень;
7. фон.

7. Человеческий глаз способен различать несколько ступеней серого цвета:

1. 7;
2. 25;
3. 256.

8. Ландшафт – это:

1. Генетически однородный природно-территориальный комплекс;
2. Луг;
3. Часть городской территории;
4. Лес;
5. Природная зона.

9. Типы антропогенного ландшафта:

1. пашни;
2. леса;
3. вторичные леса;
4. болото;
5. тундра.

10. Описание рисунков аэрофотоизображения построенных на анализе сочетания геометрических элементов:

1. точка;
2. линия;
3. квадрат;

4. полоса;
5. треугольник.

11. На формирование ландшафтного рисунка оказывают влияние:

1. климат;
2. многолетняя мерзлота;
3. неотектоника;
4. моря.

12. Рисунок аэрофотоснимка полностью совпадает с ландшафтным рисунком:

1. да;
2. нет.

13. Водные объекты имеют характерные дешифровочные признаки:

1. тон;
2. форму;
3. рисунок;
4. объект;
5. тень;
6. размер.

14. На тон водных объектов влияют:

1. мутность воды;
2. характер дна;
3. растительность на поверхности;
4. наличие живых организмов;
5. глубина.

15. Оросительные, осушительные каналы и канавы выделяются на снимках:

1. Произвольной формой;
2. Геометрической формой;
3. Прямолинейной формой.

16. По аэрофотоснимку можно определить:

1. ширину реки;
2. скорость течения;
3. глубину;
4. направление течения.

17. Мутность воды на снимках определяется по дешифровочным признакам:

1. Изменению фототона;
2. Размерами пятен;
3. Рисунку изображения.

18. Основной дешифровочный признак зеленых насаждений:

1. фоторисунок;
2. размер;
3. форма;
4. очертание.

19. Хвойные породы деревьев на снимке имеют более темный тон, чем лиственные?

1. да;
2. нет.

20. Поросль леса отличается от угнетенных лесов:

1. мелкой зернистостью рисунка;
2. упорядоченностью рисунка;
3. тоном;
4. контуром;
5. формой крон.

21. Дешифрирование различных пород древостоя наиболее успешно производится на аэрофотоснимках:

1. черно-белых;
2. цветных;
3. спектрзональных.

22. По космическим снимкам возможно дешифрирование:

1. Распространения лесных пожаров;
2. Динамики лесного фонда;
3. Отдельных пород насаждений.

23. Основной дешифровочный признак лесных пожаров:

1. дымовой шлейф;
2. фототон;
3. размер площади;
4. граница.

24. К нарушенным землям относятся:

1. карьеры;
2. вырубки;
3. холмы;
4. водохранилища;
5. торфоразработки.

25. Главными дешифровочными признаками карьеров и отвалов являются:

1. форма;
2. размер;
3. тени;
4. рисунок;
5. цвет.

26. Для исследования динамики нарушенных земель необходимы:

1. Периодические наблюдения;
2. Непрерывные наблюдения;
3. Анализ разновременных снимков;
4. Изучение географической литературы.

27. В состав сельскохозяйственных угодий входят:

1. пашня;
2. лес;
3. сенокос;
4. овраги.

28. Земельный участок, систематически обрабатываемый и используемый под посевы сельскохозяйственных культур (включая многолетние травы) это:

1. сенокос;
2. пастбище;
3. многолетние насаждения;
4. пашня;
5. залежь.

29. Земельный участок, ранее занятый пашней и не используемый в настоящее время для посева сельскохозяйственных культур (пригодный для сенокоса и как пастбище), приуроченный к населенным пунктам это:

1. сенокос;
2. пастбище;
3. многолетние насаждения;
4. пашня;
5. залежь.

30. Сельские населенные пункты дешифрируются:

1. последовательно;
2. в произвольном порядке;
3. только огороды;
4. только сады;
5. только постройки.

31. Огороды на аэроснимках изображаются:

1. полосами;
2. точками;
3. пятнами;
4. штрихами;
5. линиями.

32. Укажите рекомендованные масштабы для создания планов и карт в сфере кадастровой деятельности:

1. 1:1 000;
2. 1:2 000;
3. 1:5 000;
4. 1:10 000;
5. 1:25 000.

33. Зеленые насаждения дешифрируются на аэроснимках по:

1. теням;
- 2 размерам;
3. рисунку;
4. форме;
5. цвету.

34. При дешифрировании построек следует учитывать:

1. Высоту зданий;
2. Собственные тени;
3. Падающие тени;
4. Тон;
5. Размер.

35. Промышленные предприятия на аэрофотоснимках дешифрируются по:

1. Площади;
2. Форме построек;
3. Ограждениям;
4. Надписям;
5. Цвету.

Обращаю Ваше внимание, что в вопросе может быть несколько правильных вариантов ответа.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Расчет матрицы ошибок и показателей точности тематической карты в пикселях

Кол-во пикселей	Классифицируемые данные					Расчет показателей точности		
	A	B	C	D	E	Сумма по строкам	Точность производителя, %	Пропуск, %
A	240897159	55168945	1400652	122450	0	297589205	80,9	19,1
B	21677887	270551460	10717568	730402	0	303677316	89,1	10,9
C	14614475	22530738	302278812	24539342	6445	363969813	83,1	16,9
D	4296	5297559	19972185	229691940	489799	255455779	89,9	10,1
E	0	487650	0	607952	314212284	315307886	99,7	0,3
Сумма по столбцам	277193817	354036352	334369218	255692086	314708528	1536000000	1357631655	<u>K=85,5%</u>
Точность пользователя, %	86,9	76,4	90,4	89,8	99,8	T=88,4%	MPA=88,5%	MPA=88,7
Ложевая классификация, %	13,1	23,6	9,6	10,2	0,2	-	<u>K=88,7%</u>	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Ошибки, связанные пропусками и ложной классификацией

Класс земельных угодий	Пропуск, %		Ложная классификация, %			
	Пропущенные пиксели	Общее кол-во пикселей	Процент ошибок	Ложная классификация	Общее кол-во пикселей	Процент ошибок
Водные объекты	56692047	297589205	19,1	36296658	277193817	13,1
Лесные насаждения и растительность	33125857	303677316	10,9	83484892	354036352	23,6
Водно-болотные угодья	61691000	363969813	16,9	32090405	334369218	9,6
Бывшие с.х. угодья	25763839	255455779	10,1	26000146	255692086	10,2
Искусственная поверхность	1095602	315307886	0,3	496244	314708528	0,2

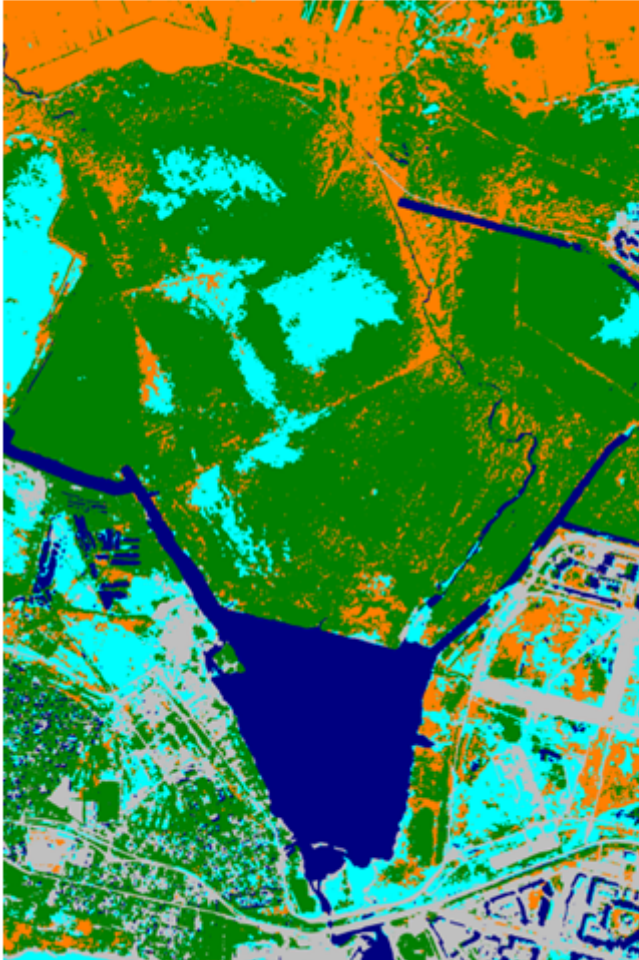
ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Доверительные интервалы для пропусков и ложной классификации

Класс земельных участков	Правильная классификация	Пропуск, %			Ложная классификация, %		
		Общее кол-во пикселей	Процент попаданий	95% доверительный интервал	Общее кол-во пикселей	Процент попаданий	95% доверительный интервал
A	240897159	297589205	80,9	80,895-80,905	277193817	86,9	86,896-86,904
B	270551460	303677316	89,1	89,096-89,104	354036352	76,4	76,396-76,404
C	302278812	363969813	83,1	83,096-83,104	334369218	90,4	90,398-90,402
D	229691940	255455779	89,9	89,896-89,904	255455779	89,8	89,796-89,804
E	314212284	315307886	99,7	99,701-99,699	314708528	99,8	99,799-99,801

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Тематическая карта фактического использования земельных угодий Юнтоловского заказника Санкт-Петербурга (2012 год)



Легенда тематической карты:

-  - лесные насаждения и растительность;
-  - водные объекты;
-  - водно-болотные угодья;
-  - искусственная поверхность;
-  - бывшие с.х. угодья;

Масштаб 1:25 000

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И ФОТОГРАММЕТРИЯ

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов специальности 21.05.01*

Сост.: *А.А. Боголюбова*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
инженерной геодезии

Ответственный за выпуск *А.А. Боголюбова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 13.05.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,6. Усл.кр.-отт. 2,6. Уч.-изд.л. 2,3. Тираж 75 экз. Заказ 406.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2