

УДК 004.021, 004.62, 004.05, 004.932

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Никонов Эдуард Германович, доктор физико-математических наук, профессор Института системного анализа и управления, ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»

Самсонов Алексей Дмитриевич, студент Института системного анализа и управления, ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»

Аннотация

Данная работа посвящена анализу методов обработки данных дистанционного зондирования Земли, а также обзору характеристик соответствующих программных продуктов. В современном мире технологии ГИС очень активно применяются в задачах прогнозирования, мониторинга территории, оценке степени опасности чрезвычайных ситуаций и др. Большинство методов решения такого типа задач основано на моделях, реализованных в бумажном или электронном виде. Однако существуют методы, основанные не на модели, а на фиксации состояния планеты Земля как небесного объекта. К таким методам относятся дистанционное зондирование Земли с использованием околоземных искусственных спутников. В данной работе рассматривается методология и соответствующие методы обработки данных дистанционного зондирования Земли, а также основанные на упомянутых методах программные продукты, которые позволяют провести обработку этих данных. В работе рассмотрены и проанализированы проблемы, возникающие при обработке данных дистанционного зондирования Земли, приведен список задач и используемые для решения этих задач методы, а также сравнительные характеристики применяемых для решения упомянутых задач программных продуктов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: данные ДЗЗ, данные дистанционного зондирования Земли, геоинформационные системы, обработка данных, обработка изображения, большие данные.

RESEARCH OF EFFICIENCY AND APPLICABILITY OF REMOTE EARTH SENSING DATA PROCESSING METHODS

Nikonov Eduard Germanovich, Doctor of Science (Phys & Math), professor, Dubna State University, Institute of the system analysis and management

Samsonov Alexey Dmitrievich, student, Dubna State University, Institute of the system analysis and management

Abstract

This work is devoted to the analysis of methods for processing data of remote sensing of the Earth, as well as a review of the characteristics of the corresponding software products. In the modern world, GIS technologies are very actively used in the tasks of forecasting, monitoring the territory, assessing the degree of emergencies danger, etc. Most of the methods for solving this type of problems are based on models implemented in paper or electronic form. However, there are methods based not on a model, but on fixing the state of the Earth as a celestial object. Such methods include remote sensing of the Earth using near-Earth artificial satellites. In this paper, the methodology and the corresponding methods of processing the data of remote sensing of the Earth, as well as software products based on the above methods, which allow processing these data, are considered. The paper considers and analyzes the problems arising in the processing of Earth remote sensing data, provides a list of tasks and methods used to solve these problems, as well as comparative characteristics of software products used to solve the above-mentioned tasks.

KEYWORDS: ERS data, Earth remote sensing data, geographic information systems, data processing, image processing, big data.

Введение

Развитие экономики Российской Федерации в условиях глобальных климатических изменений вызывает необходимость совершенствования методов мониторинга природной среды и техногенных объектов. Одним из наиболее оперативных, информативных и многофункциональных способов является многоспектральная дистанционная съемка поверхности Земли из космоса с помощью искусственных спутников Земли [1]. Однако с новыми технологиями приходят новые или усовершенствованные методы обработки данных дистанционного зондирования Земли (далее – ДЗЗ). В этой статье рассмотрим перечень задач для обработки данных ДЗЗ, а также перечень решаемых задач, где понадобятся те или иные программные продукты.

Постановка задачи

Цель

Произвести исследование методов обработки данных дистанционного зондирования Земли, а также выявить комплекс задач, где эффективнее использовать тот или иной рассматриваемый в статье программный продукт.

Исходные данные

Инструменты по поиску информации в рассматриваемой статье;

Методология по обработке данных дистанционного зондирования Земли;

Набор программных продуктов по исследованию реализации методов обработки данных;

Модельные представления

Процедура обработки данных и исследование её процессов и результатов состоит из следующих этапов.

Получение данных ДЗЗ.

- Получение данных в VIP, BIL, BSQ форматах с дальнейшим применением группового кодирования.

Процедура обработки данных ДЗЗ.

- Предварительная обработка:
 - улучшение качества изображения;
 - коррекция.
- Тематическая обработка:
 - классификация;
 - дешифрирование.

Дополнительные процедуры для обработки данных ДЗЗ.

- Тематические отчёты.

А также проведение сравнительной характеристики программных продуктов по рассматриваемым критериям

Результат

Перечень задач, для которых наиболее эффективно использовать исследованные в статье программные продукты.

Критерий оценки результата

По модельным представлениям определить отсутствие или присутствие возможностей по реализации того или иного этапа или подэтапа процедуры обработки дистанционного зондирования Земли, а также объём и спектр задач для рассматриваемых программных продуктов.

В подэтапы входят следующие шаги:

- Получение данных с последующим групповым кодированием;
- Улучшение качества изображения;
 - Контрастирование;
 - Спектральное преобразование;
 - Восстановление пропущенных пикселей;
 - Фильтрация;
 - Преобразование Фурье
- Коррекция;
 - Геометрическая коррекция;
 - Атмосферная коррекция;
 - Линейное преобразование;
 - Преобразование в негатив;
- Тематическая обработка;
- Тематические отчёты.

Методы обработки данных ДЗЗ

В данной статье будет учтено, что для обработки данных необходимо их получить, а также их вывести. Будут рассмотрены в основном компоненты для этапа2 (процедуры обработки данных ДЗЗ), и также будут учитываться критерии, имеющиеся в этапе 1 (получение данных ДЗЗ) и 3 (Дополнительные процедуры обработки данных ДЗЗ) (рис. 1).

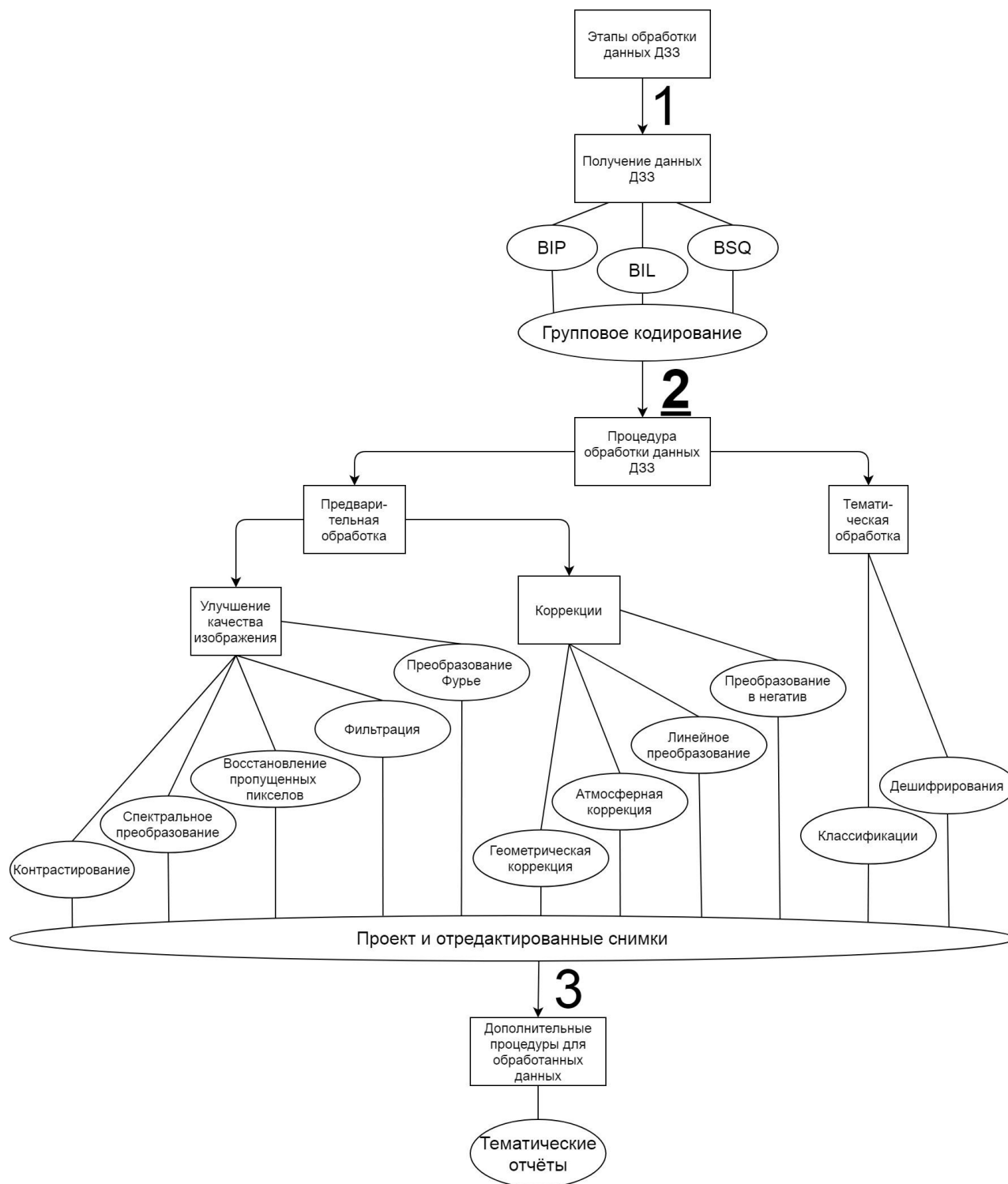


Рис. 1. Поэтапная модель обработки данных ДЗЗ

Этапы обработки данных дистанционного зондирования

Для решения задач по обработке данных ДЗЗ выполняются определённые шаги. Под обработкой данных ДЗЗ будем понимать процесс с момента получения данных со спутников до шага их цифровизации с последующим получением файлов. В данной статье будем рассматривать 3 шага обработки данных:

- Получение данных ДЗЗ;
- Процедура обработки данных ДЗЗ;
- Дополнительные процедуры для обработки данных.

Получение данных ДЗЗ

Для начала рассмотрим вопрос получения изображений, так как специалист по анализу геопространственных данных получает исходный материал со спутника в виде изображения.

Предполагается, что уже известно про характеристики растрового изображения, про наличие пикселей в них, а также про цветовые каналы. Можно ещё уточнить, что у спутников есть другие каналы связи, помимо видимого спектра. Также учитывается при получении изображения.

Как уже было замечено в рис. 1, есть 3 способа получения данных со спутников. Для понимания этих способов возьмём для примера каналы RGB в количестве 3 штуки (рис. 2). Учитывается также, что данные перекодированы в ASCII.

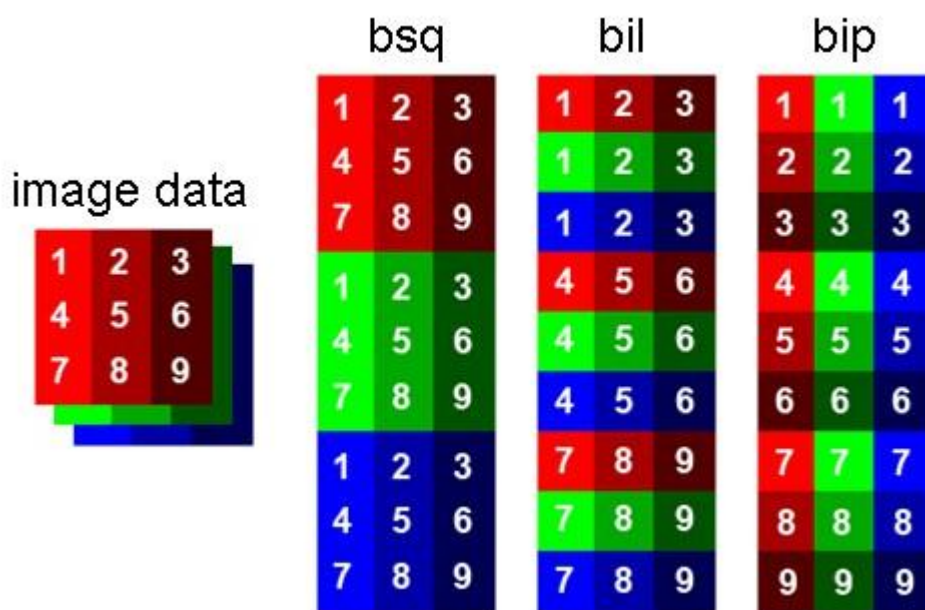


Рис. 2. RGB-канал и их «слияние» в виде финального изображения

BIL, или набор каналов, распределённых по строкам, использует способ записи многоканальных изображений, при котором строки значений для каждого канала записываются последовательно. Например, в случае трехканального изображения, все три канала данных сначала записываются в строку 1, затем в строку 2, и т. д., пока не будет записана последняя строка изображения.

BIP, или попиксельная запись спектральных каналов, отличается от метода BIL тем, что данные для каждого пикселя записываются поканально. Например, при записи того же

трехканального изображения, данные каналов 1, 2 и 3 записываются для первого пиксела столбца 1; затем данные каналов 1, 2 и 3 записываются для первого пиксела столбца 2 и т. д.

При BSQ, или поканальной записи, информация для каждого канала записывается полностью. Другими словами, данные всех пикселей канала 1 записываются в первую очередь, затем записываются все пиксели канала 2 и т. д. [2].

При комбинировании изображения объем результирующего изображения получается равным сумме объемов уже наложенных изображений. Из-за этого после его вывода понадобится больше времени для передачи данных другим лицам, что бывает неудобно. Поэтому активируется групповое кодирование, то есть алгоритм сжатия готового файла (в данном случае – изображения). Есть множество алгоритмов сжатия как LZ, LZW-сжатие, однако необходимы для хранения, а не использования при работе. Поэтому используется групповое кодирование, или кодирование длин серий, или RLE (Run length encoding), чтоб можно с уже итоговым файлом работать (рис. 3).

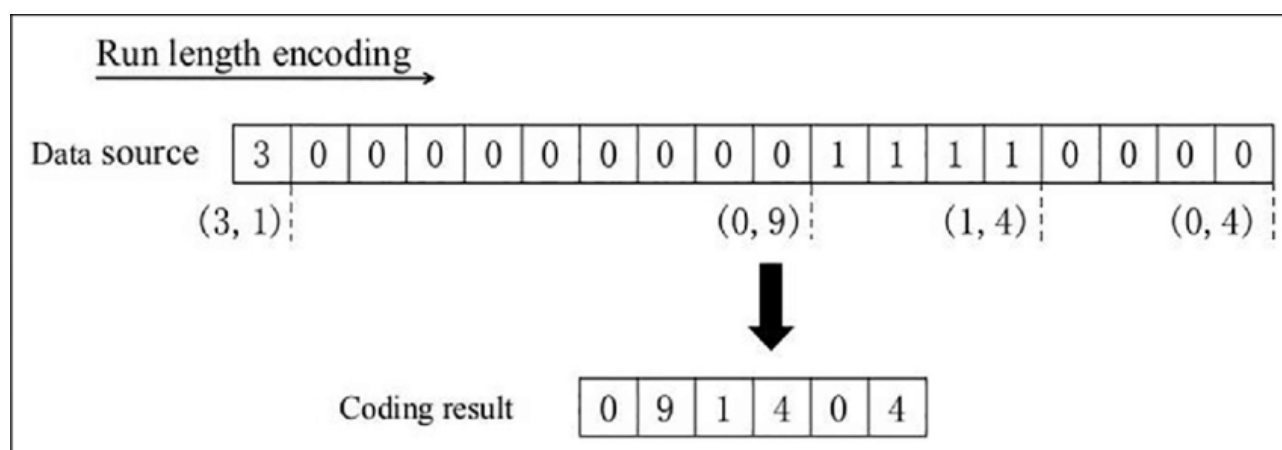


Рис. 3. Пример схемы работы RLE-алгоритма

Как только получено изображение в виде смесей каналов или отдельно по каналам, или сжатые данные изначально, специалист по обработке данных переходит на следующий этап: на процедуру обработки данных ДЗЗ.

Процедура обработки данных ДЗЗ

Так как специалист по анализу геопространственных данных получает исходный материал со спутника в виде изображения, то он его подготавливает для более продуктивной работы по решению задачи.

Обработки делятся на предварительную и тематическую. В первом случае – подготавливаем изображение для более качественного анализа данных. А второе – сам анализ по определённым спектрам задач или тематикам.

Так как снимки были получены непосредственно со спутников, то никуда не деться без предварительной обработки данных.

Предварительная обработка

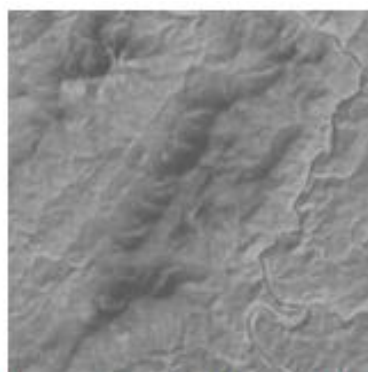
Так как снимки были получены непосредственно со спутников, или от рук других специалистов, то никуда не деться без предварительной обработки данных.

Здесь рассмотрим все этапы, кроме восстановления пропущенных пикселей, фильтрации и геометрической коррекции, так как в первом, как выяснится позже, нигде не было найдено реализации в рассматриваемых продуктах, а во втором и третьем соответственно шаге – количество алгоритмов их реализации достаточно большое.

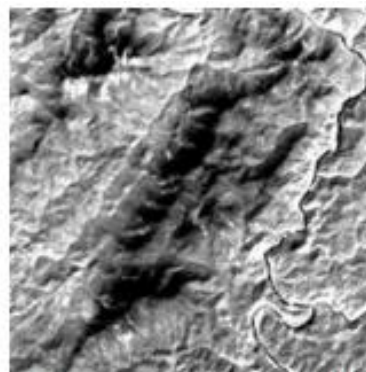
- Контрастирование (рис. 4);

Для различения объектов необходимо использование контрастирования. Предполагается, что имеется представление о гистограммах для коррекции изображения. Во многих случаях контраст можно повысить, изменяя яркость каждого элемента изображения. В данном случае – есть 3 способа увеличения контрастности:

- Линейное растягивание диаграммы – расширение узкого с данных диапазона (было 125-165) до крайних значений (стало от 0 до 255);
- Нормализация гистограммы – на весь возможный интервал изменения яркости растягивается не вся гистограмма, а ее наиболее интенсивный участок;
- Выравнивание гистограммы (линеаризация, эквализация). В процессе выравнивания происходит изменение значений яркости пикселей таким образом, чтобы для каждого уровня яркости было одинаковое или близкое количество пикселей [3].



Неконтрастное изображение



Контрастное изображение

Рис. 4. «До» и «После» применения метода контрастирования

- Спектральное преобразование (рис. 5);

Как было ранее сказано, в подготовке данных используется комбинирование каналов. По данному методу можно настраивать видимость каналов по спектрам как угодно. Либо видимая часть со спутника, либо другое, в зависимости от задач и предметной области.

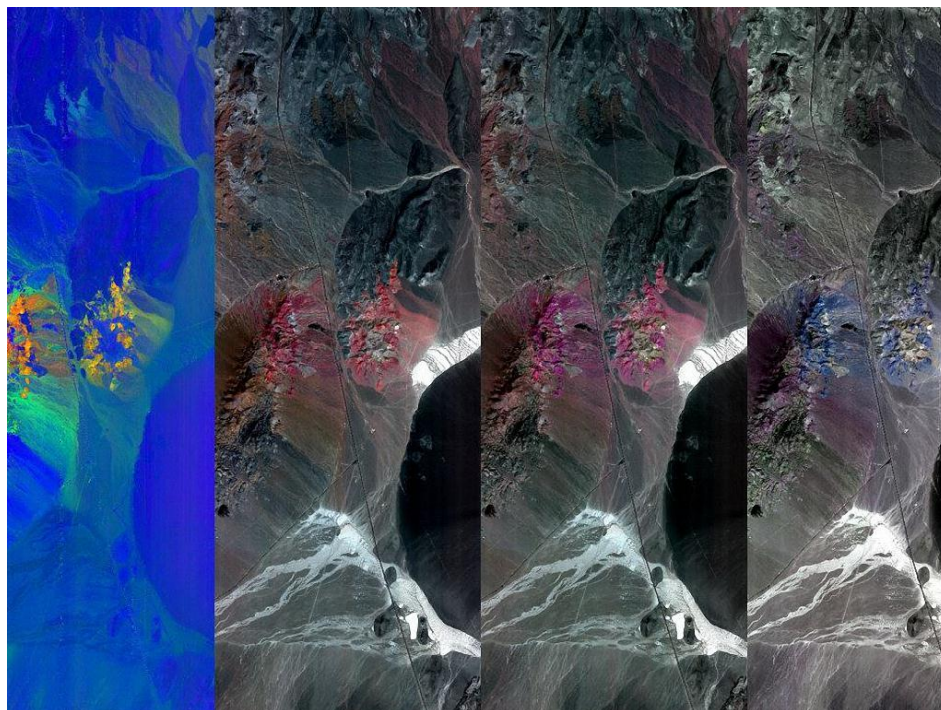


Рис. 5. Разложение каналов на различные спектры

- Преобразование Фурье.

Случаются такие случаи, что данные в виде изображения сжаты различными форматами изображений, из-за которого непонятно, как восстановить каналы, наложенные на данное изображение. Для таких задач используется приём «Преобразование Фурье», для того чтобы выявить те или иные каналы для изображения.

- Атмосферная коррекция

Проблема атмосферной коррекции данных ДЗЗ становится особенно острой, когда анализ изображений существенным образом опирается на спектральные составляющие регистрируемого излучения. Такая ситуация, например, возникает при обработке и анализе гиперспектральных изображений (ГСИ) ДЗЗ, которым в последнее время уделяется особое внимание. Каждый отсчёт гиперспектрального изображения содержит «спектральный профиль» или «спектральную сигнатуру» соответствующего элемента земной поверхности, по которому, собственно, и производится такая обработка [4] (рис. 6).



Рис. 6. Атмосферная коррекция

- Линейное преобразование.

Иногда нужно переделать изображение так, чтоб было лучше восприятие изображения. Частный случай контрастирования. В данном случае – линейным преобразованием, где используются крайние значения контрастов и оставшиеся с равными промежутками с уже имеющегося исходного материала (рис. 7).

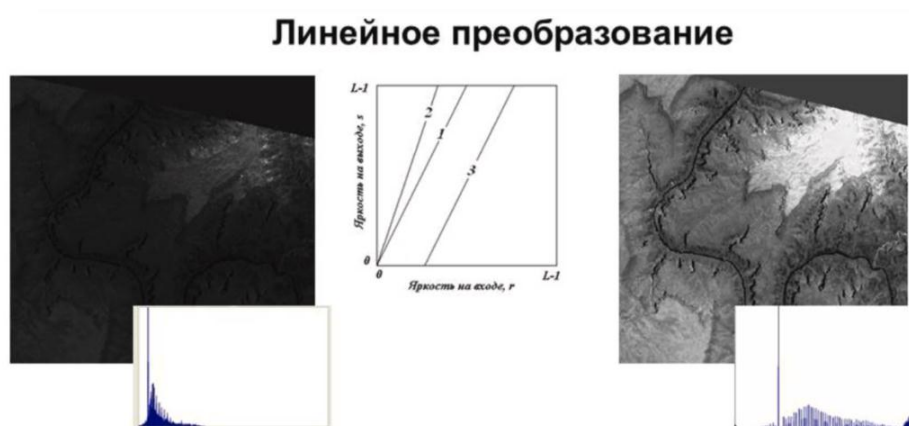


Рис. 7. Действие линейного преобразования

- Преобразование в негатив.

Каждый пиксел после преобразования имеет по каждому каналу значение разности между максимальным значением в канале и его текущим до преобразования (рис. 8). Необходимо для лучшего восприятия изображения пользователем (белое – то, что нас интересует, а чёрное – наоборот. Или белое – вершина, а чёрное – впадина)

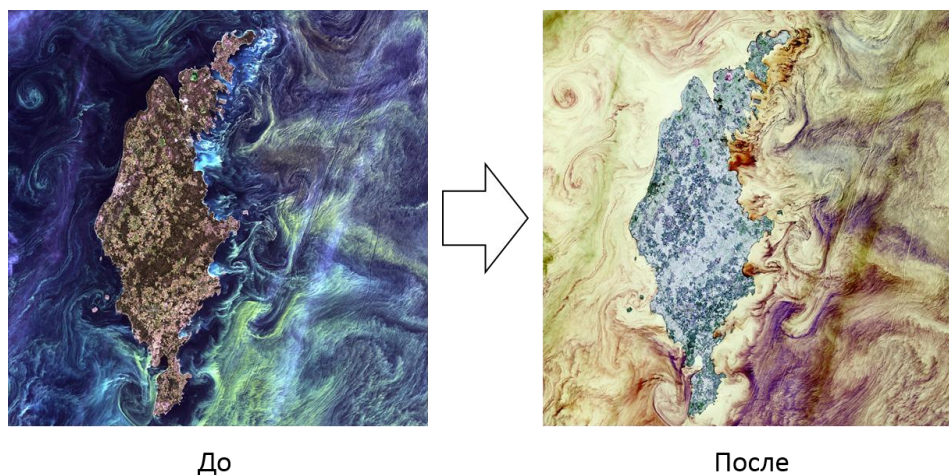


Рис. 8. «До» и «После» преобразования снимка в негатив

Тематическая обработка**Дешифрирование**

- Объектное дешифрирование;

Задача перехода из полученного изображения в переход из элементарных пикселей.

Другими словами, отнесение изображений наземных объектов на снимках к одному из заданных классов (рис. 9).

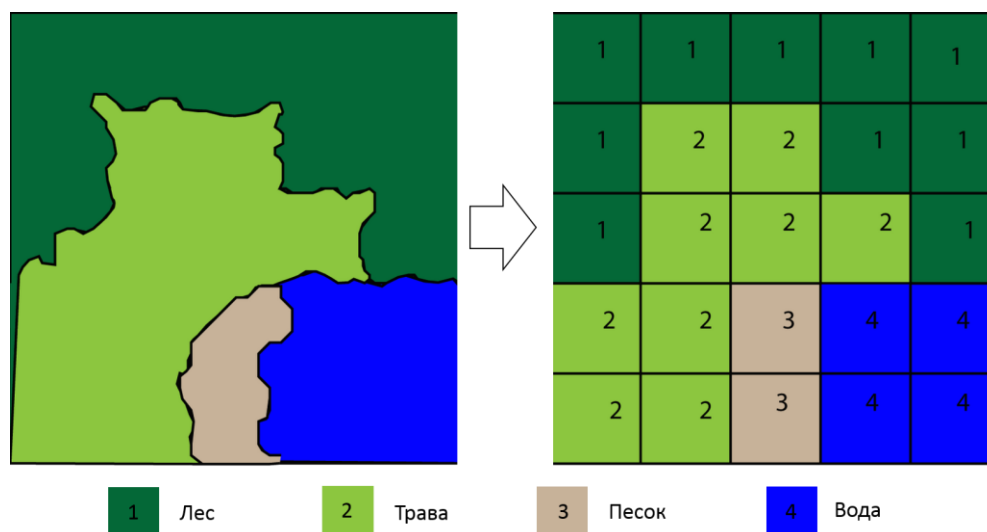


Рис. 9. Объектное дешифрирование с легендой

- Параметрическое дешифрирование;

Задача определения количественных значений свойств наземных объектов. Для корректного решения задач тематического дешифрирования необходимы соответствующие наземные данные. Представлен пример состояния леса (Рис. 10).

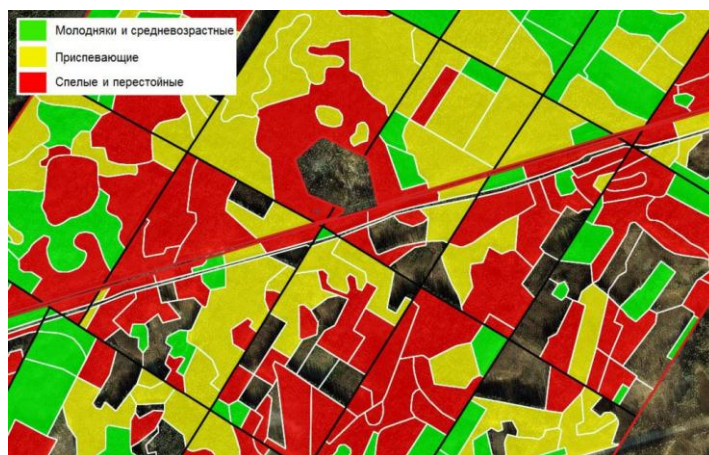


Рис. 10. Параметрическое дешифрирование леса с легендой

Классификация (рис. 11)

- Классификация с обучением;

Данная классификация работает с наличием материалов «обучения» и «экзамена». Здесь применяются известные в Data Science методы продвинутой статистики и машинного обучения.

- Классификация без обучения;

Используется в тех случаях, когда изначально неизвестны определённые правила, способы обучения и методы проверки их; когда непонятно, сколько объектов предусмотрено в исследовании.

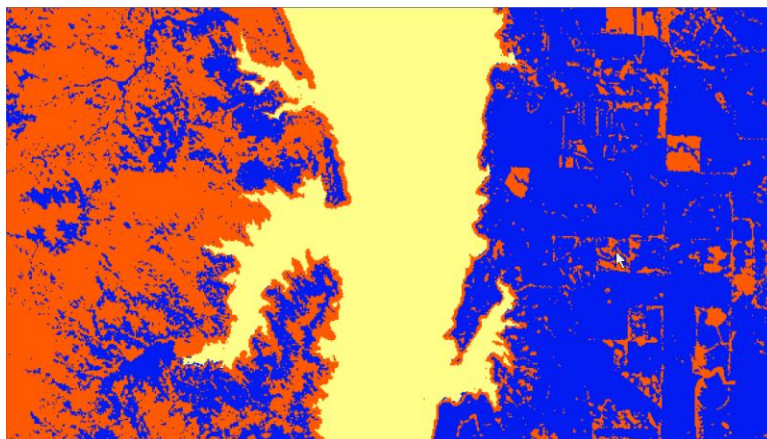


Рис. 11. Результат классификации

Дополнительные утилиты

После векторизации специалист может произвести дополнительные действия. Это зависит от поставленных перед ним задач. Для сравнительной характеристики программ будут взяты такие задачи:

- грамотное оформления обработанных геопространственных данных по задачам мониторинга, прогноза, описательной части и др.;

- оформление отчётной документации с визуализацией по рассматриваемой задаче;
- адаптация векторного файла под форматы для дальнейшей обработки другими ГИС-пакетами или различными СУБД.

Программные продукты по обработке данных ДЗЗ

Методология – это одно, а вот как этим пользоваться для решения задач – это другое. Какие инструменты есть для реализации методологий? Их достаточно много. Где-то как отдельно специализированные программные продукты под эти задачи, где-то как дополнительная функция в ГИС-пакете, а где-то в программе не предусмотрено, но можно дополнить расширением по этим вопросам.

В данной статье рассмотрим такие программные продукты как программа с открытыми исходным кодом QGIS, специализированные продукты как Easy Trace Pro, ILWIS, MultiSpec, а также программный продукт обработки интегрированного анализа данных ГИС Интегро.

Программные продукты оснащены своими инструментами для улучшения качества изображения, коррекции и тематической обработки. Поэтому они будут рассмотрены с учётом того, что где-то есть все рассмотренные ранее функции, где-то не все, а где-то специализированно в один из процедур обработки данных ДЗЗ.

QGIS Desktop

QGIS Desktop – это кроссплатформенная геоинформационная система, предназначенная для пространственного анализа и создания карт. Распространяется свободно под лицензией GNU GPL 2. Графический интерфейс приложения включает в себя множество инструментов для исследования пространственных данных. QGIS позволяет преобразовывать данные и экспортировать их в различных форматах [5].

Так как продукт очень популярен в кругах ГИС-аналитикой, он годится почти для любых задач. В том числе и среди задач обработки данных ДЗЗ. Если продукт не снабжён специфической функцией, можно либо самостоятельно разработать программу на Python, либо найти уже существующее расширение. В рассматриваемой статье будет учтено либо уже встроенные функции программы, либо актуальное расширение для неё.

Easy Trace Pro

Easy Trace является пакетом программ для полуавтоматической интерактивной векторизации цветных и черно-белых растровых изображений, работающим под Windows95/98/2000/NT (также под Windows 8.1). Он предназначен для переноса графической

информации с бумажных носителей в компьютер и ориентирован, прежде всего, на обработку картографических материалов.

Easy Trace является мощным средством ввода данных в системы, использующие векторное представление графической информации [6].

Данная программа даёт расширенные возможности дешифрирования (полуавтоматическое, автоматическое), по проведению цветокоррекции, фильтрации и так далее.

ILWIS

Программный пакет ILWIS – свободно распространяемый ГИС-пакет, который обеспечивает не только операции по обработке снимков, включая их геометрические преобразования и координатную привязку, но также и работу с картами в векторном формате [7].

Данная программа заточена под расширенные возможности обработки спутниковых снимков с применением алгоритмов машинного обучения.

MultiSpec

Программа MultiSpec, разработанная в американском университете Пердью, хорошо известна среди специалистов по обработке снимков. Система позволяет открывать, просматривать и обрабатывать многозональные, а также гиперспектральные снимки, а также снимки с радиометрическим разрешением больше 8 бит/пиксел [7].

Данная программа заточена под возможности обработки спутниковых снимков с применением алгоритмов машинного обучения.

ГИС Интегро

ГИС Интегро – ГИС российского производства, в которой содержатся все необходимые инструменты для подготовки ГИС-проектов и картографической базы производственных и научно-исследовательских работ, а также включает специализированные модули для проведения прикладных геолого-геофизических исследований [8].

Данный программный продукт ориентирован на решение задач исследования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Также используется не только в задачах обработки данных ДЗЗ, но и в задачах блоков геофизики, прогноза, 3D-моделирования.

Результаты исследования программных продуктов

После изучения методологии на различных программных продуктах были выявлены следующие их особенности:

Этап I. Возможность чтения и обработки сжатых данных ДЗЗ (табл. 1).

Таблица 1. Возможность чтения и обработки сжатых данных ДЗЗ

	QGIS	Easy Trace Pro	ILWIS	MultiSpec	ГИС Интегро
BIL	+	–	–	+	–
BIP	+	–	–	+	–
BSQ	+	–	–	+	–

Обнаружено, что только с 2 программами из рассмотрения имеется функционал с обработкой этих данных. Если один способ чтения предусмотрен, то и все остальные также имеются в функционале.

Этап II.1. Улучшение качества изображения (табл. 2).

Таблица 2. Улучшение качества изображения

	QGIS	Easy Trace Pro	ILWIS	MultiSpec	ГИС Интегро
Контрастирование	+	+	+	+	+
Спектральное преобразование	+	–	+	+	+
Восстановление пропущенных пикселей	–	–	–	–	–
Фильтрация	+	+	+	–	+
Преобразование Фурье	–	–	–	–	–

В Easy Trace Pro не предусмотрена работа менять изображения в различные каналы. То есть не получится выбранные изображения спутника отобразить в 3 канала для программы и их менять местами между каналами для решения задачи. В MultiSpec про поправку изображения для удаления шумов или различные маски не предусмотрены. И нигде нет реализации из рассматриваемых продуктов алгоритма восстановления пропущенных пикселей и улучшения изображения преобразованием Фурье.

Этап II.2. Коррекции (табл. 3).

Таблица 3. Коррекция

	QGIS	Easy Trace Pro	ILWIS	MultiSpec	ГИС Интегро
Геометрическая коррекция	+	+	+	+	+
Атмосферная коррекция	± (через плагин SCP)	–	+	–	–
Линейное преобразование	+	+	+	–	+
Преобразование в негатив	–	–	–	–	–

Атмосферная коррекция имеется не везде. Математически реализуется через метод DOS (Dark Object Substraction). В плагине QGIS это предусмотрено. В ILWIS сделано через параметр SMAC (Atmospheric Effect Correction). Линейное преобразование почти везде

имеется. И нигде нет для удобства восприятия функция преобразования изображения в негатив.

Этап II.3. Тематическая обработка (табл. 4).

Таблица 4. Тематическая обработка

	QGIS	Easy Trace Pro	ILWIS	MultiSpec	ГИС Интегро
Дешифрирование	+	+	+	+	+
Классификация	+	–	+	+	+

Как было упомянуто ранее, Easy Trace Pro справляется именно с задачами дешифрирования, где нужно выделить объекты на рассматриваемом снимке или наборе снимков. Однако классификация там не предусмотрена. Хотя в остальных продуктах это имеется.

Этап III. Тематические отчёты (табл. 5).

Таблица 5. Тематические отчёты

	QGIS	Easy Trace Pro	ILWIS	MultiSpec	ГИС Интегро
Вывод данных в цифровые форматы	+	+	+	+	+
Обработка отчётов	+	–	+	–	+
Синхронизация программы с СУБД	+	–	+	–	+

Все программы могут перевести исходный проект в различные цифровые форматы. Но не везде можно оформлять отчёты. И те программы, которые умеют с отчётами работать, могут делать синхронизацию с СУБД.

Как было упомянуто в аннотации, данные ДЗЗ можно использовать в задачах мониторинга, прогнозирования территории и др. Далее будет приведена финальная таблица с задачами и программными продуктами (табл. 6).

Таблица 6. Применимость ГИС-пакетов к различным задачам

	QGIS	Easy Trace Pro	ILWIS	MultiSpec	ГИС Интегро
Контроль за состоянием посевов различных культур (зерновых, маличных и др.)	+	+	+	+	+
Мониторинг хода уборки урожая	+	–	+	+	+
Получение статистики статистической информации	+	–	+	–	+
Определение ёмкости пастбищ	+	+	+	+	+
Выявление неблагоприятных экологических явлений	+	±	+	+	+
Мониторинг сельскохозяйственных территорий	+	+	+	+	+
Контроль за состоянием посевов различных культур (зерновых, маличных и др.)	+	+	+	+	+
Изучение динамики снежного покрова.	+	–	–	–	+
Оценка влагонакопления.	+	–	–	–	+
Оценка паводковой ситуации.	+	+	+	+	+
Оценка готовности угодий к следующему сезону	+	–	–	–	+
Мониторинг уборочных работ.	+	+	+	+	+
Оценка готовности угодий к следующему сезону	+	–	+	–	+

	QGIS	Easy Trace Pro	ILWIS	MultiSpec	ГИС Интегро
Организация пахотных земель: инвентаризация, с/х статистика, инструкции и др.	+	–	+	–	+
Определение лесных изменений	+	+	+	+	+
Лесное картографирование	+	+	+	+	+
Водное хозяйство и ресурсы	+	+	+	+	+
Выявление речных и озерных бассейнов, водосборов, моделирование направлений и скоростей стока, процессов транспортировки взвешенных частиц, загрязняющих веществ.	+	+	+	+	+
Дистанционный контроль и моделирование экологического состояния территории при сбросах в водную среду загрязняющих веществ промышленного происхождения.	+	+	+	+	+
Прогноз распространения загрязняющих веществ в водной среде с использованием методов дистанционного зондирования и геоинформационного моделирования.	+	+	+	+	+
Моделирование процессов затопления территории во время половодий по трехмерным моделям на базе космической стереосъемки.	+	–	+	–	+
Разработка и внедрение полуавтоматических методов мониторинга половодий по сериям космоснимков, ведение мониторинга в период половодий.	+	+	+	+	+
Осуществление мониторинга водного и ледового режима водоемов, наблюдение за процессами снеготаяния в целях прогнозирования стока.	+	–	–	–	+
Мониторинг состояния водоохранных зон, несанкционированного строительства в их пределах промышленных и жилых объектов и др.	+	+	+	+	+
Обнаружение и определение крупногабаритного транспортного средства (корабля, самолёта и др.)	+	+	+	+	+
Создание производных динамических изображений спортивных и туристических объектов на базе космических снимков: анимации пространственного приближения от мелких к крупным масштабам, развития инфраструктуры во времени.	+	–	–	–	+
Создание фотореалистических трехмерных изображений с наложением снимка поверх модели рельефа, виртуальных пролетов над территорией и проездов по любым маршрутам.	+	–	–	–	+
Наполнение визуальной космической информацией печатных и Интернет-изданий, посвященных спортивным и рекреационным мероприятиям и объектам.	+	–	–	–	+
Мониторинг строительства рекреационных и спортивных объектов, контроль развития рекреационных местностей.	+	–	+	+	+
Выявление фактов самозахвата территории в рекреационно-привлекательных местностях и др.	+	+	+	+	+
Наблюдение за строительством объектов инфраструктуры	+	–	+	+	+
Изменение рекреационной структуры	+	+	+	+	+
Цифровая модель рельефа для планирования лыжных трасс	+	+	+	+	+

В итоге было выявлено, что специализированные программные продукты (Easy Trace Pro, ILWIS, MultiSpec) не заточены под все рассматриваемые задачи. А остальные программные продукты универсальны, то есть можно использовать под все рассматриваемые пункты.

Заключение

Обработка данных дистанционного зондирования является одним из эффективных инструментов для решений задач мониторинга, природопользования.

В итоге была изучена методология обработки данных ДЗЗ, программные продукты, их функционал, а также их применимость к различным задачам.

Литература

1. Фесенко Е.В. Разработка методики мультииндексной обработки спектральных изображений подстилающей поверхности по комплексным данным дистанционного зондирования, 2019, с. 144.
2. Файлы растров BIL, BIP, BSQ [Электронный ресурс]. – URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/bil-bip-and-bsq-raster-files.htm>, свободный (дата обращения: 01.12.2020).
3. Кристанов Н.В. Улучшение изображения путем изменения контраста [Электронный ресурс]. – URL: <http://lib.ugsha.ru:8080/bitstream/123456789/10135/1/2016-05-89-93.pdf> - свободный (дата обращения – 01.12.2020).
4. Белов А.М., Мясников В.В. Атмосферная коррекция гиперспектральных изображений с помощью приближённого решения уравнения переноса MODTRAN [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.computeroptics.smr.ru/KO/PDF/KO38-3/380319.pdf>, свободный (дата обращения: 01.12.2020).
5. Мухина К.Д., Билятдинова А.З., Карсаков А.С. Городская информатика и геоинформатика. Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ. — СПб: Университет ИТМО, 2018. — 51 с.
6. Применение программного продукта Easy Trace для векторизации данных: учебно-методическое пособие к лабораторным и практическим занятиям / Г.В. Колошина; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 31 с.
7. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие / Лабутина И.А., Балдина Е.А.; Всемирный фонд дикой природы (WWF России). Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона» – М., 2011. – 88 с.
8. ГИС INTEGR0. ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт «ВНИИГНИ» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.geosys.ru/index.php/gis-integro>, свободный (дата обращения: 01.12.2020).