



## 1. РАБОТА С ДАННЫМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ГИС QGIS

**Цель работы:** приобрести навыки получения и обработки данных дистанционного зондирования, используя функциональные возможности оупенсорной ГИС QGIS.

**Задачи работы:** 1) освоить принцип работы и возможности использования модуля Semi-Automatic Classification Plugin; 2) загрузить в рабочий проект данные дистанционного зондирования – изображения спутниковой съемки, полученные с Landsat-8; 3) выполнить настройку стиля отображения данных дистанционного зондирования; 4) создать виртуальный растр и настроить его свойства; 5) выполнить комбинацию каналов сцен, полученных с Landsat-8 и описать полученные виртуальные растры.

**Исходные данные для выполнения работы:** данные дистанционного зондирования в виде сцены, полученной с платформы Landsat-8. Получить подобные данные возможно на безвозмездной основе, пройдя простую процедуру регистрации на официальном сайте геологической службы США (USGS).

*Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ)* является методом получения информации об объекте или явлении без непосредственного физического контакта с ним. В современном понимании этот термин относится преимущественно 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). ДЗЗ подразделяют на *активное* (сигнал сначала излучается самолетом или космическим спутником) и *пассивное* дистанционное зондирование (регистрируется только сигнал других источников, например, солнечный свет).

*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** излучают сигнал с целью сканирования объекта и пространства, после чего сенсор имеет возможность обнаружить и измерить излучение, отраженное или образованное путём обратного рассеивания с 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.

Наиболее современными являются спутниковые системы дистанционного зондирования, позволяющие осуществлять мультиспектральные исследования и анализа полученных данных. Одним из примеров мультиспектральных спутниковых платформ является **платформа Landsat**. Программа Landsat, созданная и курируемая США, – наиболее продолжительный проект по получению спутниковых фотоснимков планеты Земля. Первый из спутников в рамках этой программы был запущен в 1972 г., последний – Landsat 8 – 11 февраля 2013 года. Оборудование, установленное на спутниках Landsat, сделало миллиарды снимков, которые являются уникальным ресурсом для проведения множества научных исследований в области сельского хозяйства, картографии, геологии, лесоводства, образования. Космические снимки программы Landsat используются для создания тематических карт (растительного покрова, землепользования, эрозионных), а также применяются соответствующими регулирующими органами для контроля параметров качества воды: прозрачности - отношения интенсивности света, прошедшего через слой воды, к интенсивности света, входящего в воду; плотности хлорофилла (данный показатель характеризует степень эвтрофикации); общее содержание фосфора (отображает уровень загрязнения сточными водами).

Landsat 8 – американский спутник дистанционного зондирования Земли, восьмой в рамках программы Landsat (седьмой выведенный на орбиту). Спутник Landsat 8 использует два набора инструментов: Operational Land Imager (OLI) и Thermal InfraRed Sensor (TIRS). Набор инструментов OLI получает изображения в 9 диапазонах видимого света и ближнего инфракрасного (ИК) света, набор инструментов TIRS – в 2 диапазонах дальнего (теплого) ИК (табл. 1).

Основными **научными задачами**, выполняемыми Landsat 8, являются:

- сбор и сохранение многоспектральных изображений среднего разрешения (30 метров на точку) в течение не менее чем 5 лет;
- сохранение геометрии, калибровки, покрытия, спектральных характеристик, качества изображений и доступности данных на уровне, аналогичном предыдущим спутникам программы Landsat;
- бесплатное распространение изображений, полученных с помощью Landsat-8.

Таблица 1. – Спектральные диапазоны, в которых работают наборы инструментов Landsat-8

Спектральный канал	Длины волн, мкм	Разрешение (размер 1 пикселя), м
Канал 1 - побережья и аэрозоли (Coastal/Aerosol, New Deep Blue)	0,433-0,453	30
Канал 2 - синий (Blue)	0,450-0,515	30
Канал 3 - зелёный (Green)	0,525-0,600	30
Канал 4 - красный (Red)	0,630-0,680	30
Канал 5 - ближний ИК (Near Infrared, NIR)	0,845-0,885	30
Канал 6 - ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	1,560-1,660	30
Канал 7 - ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 3)	2,100-2,300	30
Канал 8 - панхроматический (Panchromatic, PAN)	0,500-0,680	15
Канал 9 - перистые облака (Cirrus, SWIR)	1,360-1,390	30
Канал 10 - дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR1)	10,30-11,30	100
Канал 11 - дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR2)	11,50-12,50	100

Результаты, полученные с помощью Landsat-8, применяются для решения целого комплекса *практических задач* в сфере ведения эффективного сельскохозяйственного производства. При помощи спутника можно с определенной цикличностью (для Landsat-8 она составляет 16 суток) получать изображения отдельных полей, регионов и округов. Пользователи могут получать ценную информацию о состоянии угодий, в том числе идентификацию культур, определение посевных площадей сельскохозяйственных культур и состояние урожая. Спутниковые данные используются для точного управления и мониторинга результатов ведения сельского хозяйства на различных уровнях. Эти данные могут быть использованы для оптимизации фермерского хозяйства и пространственно-ориентированного управления техническими операциями. Изображения могут помочь определить местоположение урожая и степень истощения земель, а затем могут быть использованы для разработки и реализации плана рекультивации, для локальной оптимизации использования пестицидов и агрохимикатов. Основными сельскохозяйственными приложениями результатов дистанционного зондирования являются следующие: классификация типа культур; оценка состояния посевов (мониторинг сельскохозяйственных культур, оценка ущерба); оценка и прогноз урожайности; отображение характеристик почвенного покрова; отображение типа почвы; отображение степени эродированности почвы; отображение эффективности и качества обработки почвы.

Работа с данными дистанционного зондирования в среде QGIS осуществляется с помощью плагина Полуавтоматический плагин классификации **Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)**, разработанного Luca Congedo (Италия) и являющегося бесплатным с открытым исходным кодом.

Данный плагин позволяет загружать изображения и выполнять полуавтоматическую классификацию (также известную как контролируемая классификация) данных дистанционного зондирования. Он предоставляет несколько инструментов для загрузки бесплатных изображений, предварительной обработки, постобработки и расчетов растра.

Подробную информацию о возможностях плагина SCP, а также руководство по его практическому использованию можно получить на официальном сайте, перейдя по ссылке: <https://fromgistors.blogspot.com/>

### Выполнение работы:

Для получения сцен Landsat-8 нужной территории следует воспользоваться возможностями модуля **Semi-Automatic Classification Plugin**. Чтобы задать координаты территории, для которой требуется снимок, необходимо использовать возможности модуля **Quick Map Service**. Для поиска нужной территории следует включить модуль **Quick Map Service** и выбрать путь: **OSM – OSM Standart** (рис. 1).

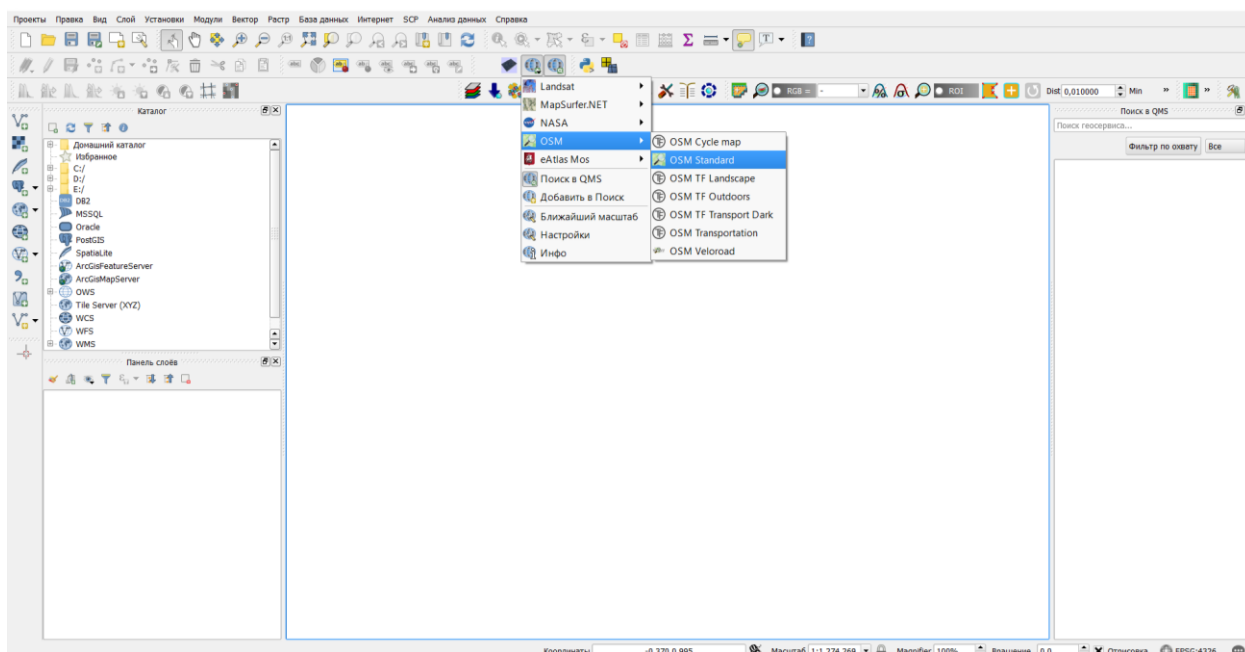


Рис. 1. Рабочее окно проекта с выбором опции **OSM Standart**

Далее следует выбрать в верхней строке панели инструментов опцию **SCP** и далее **Download images** и **Download products** (рис. 2).

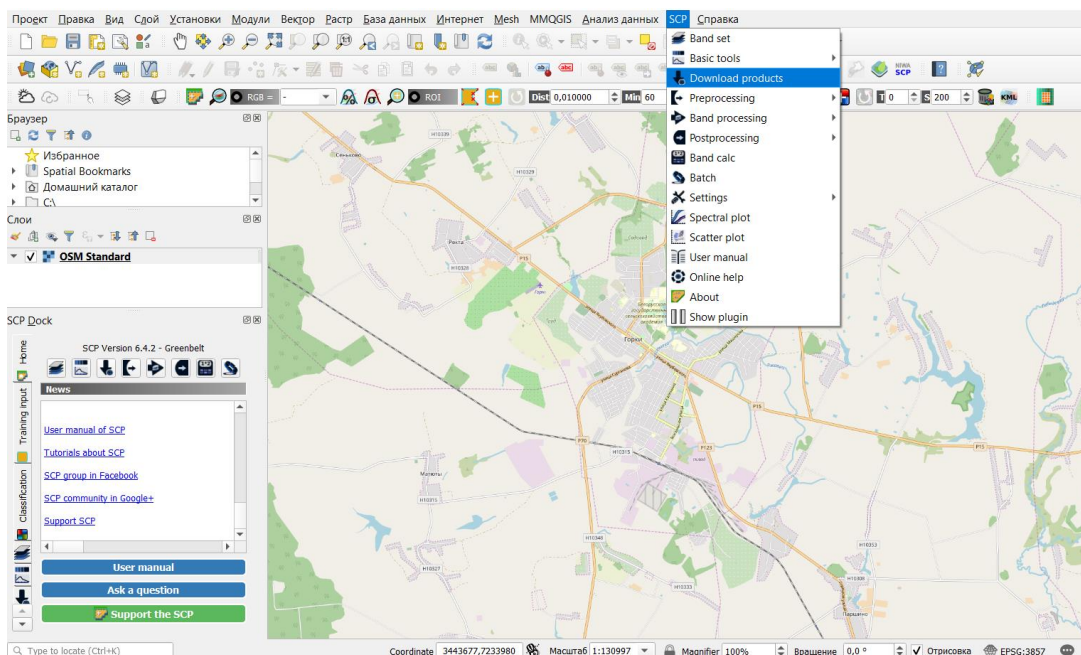
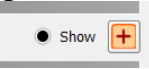


Рис. 2. Рабочее окно проекта с выбором опции **Download products**

В результате в рабочем окне проекта появится диалоговое окно настроек плагина SCP. Чтобы выделить необходимый полигон на загрузившейся в рабочее окно проекта карте, следует выбрать на появившейся панели

диалогового окна кнопку , переместить курсор, имеющий форму плюса, в левый верхний угол изображения и кликнуть правой кнопкой мыши, после чего переместить курсор в правый нижний угол изображения и кликнуть левой кнопкой мыши. В результате нужная область будет выделена цветом (рис. 3).

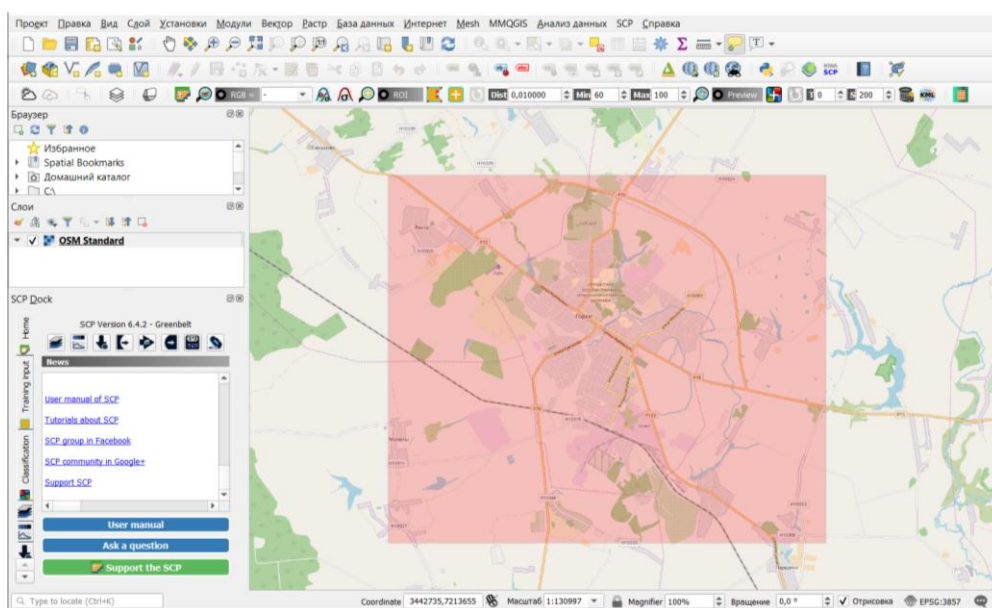


Рис. 3. Рабочее окно проекта с выбранной территорией

Далее необходимо настроить панель модуля **Semi-Automatic Classification Plugin** как показано на рис. 4.

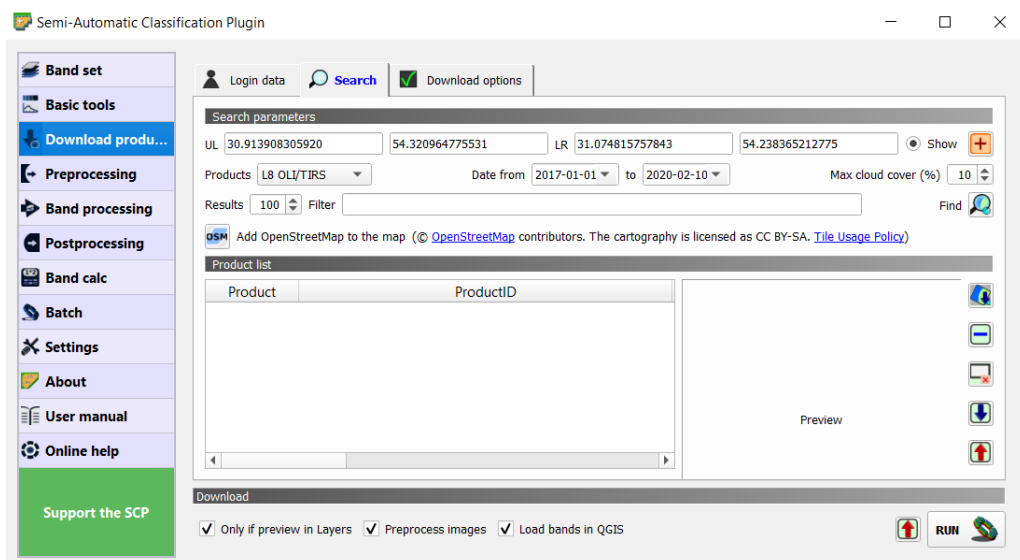


Рис. 4. Диалоговое окно настроек модуля **Semi-Automatic Classification Plugin**

В поле **Products** в ниспадающем списке можно выбрать спутник, снимки с которого необходимо получить. В поле **Data from...to** выбирают необходимый период съемки в формате год-месяц-день. Снимки с платформы Landsat доступны, начиная с 1972 г. Далее следует нажать кнопку **Find**. В результате в окно **Product list** загрузятся доступные для просмотра и скачивания спутниковые снимки (рис. 5).

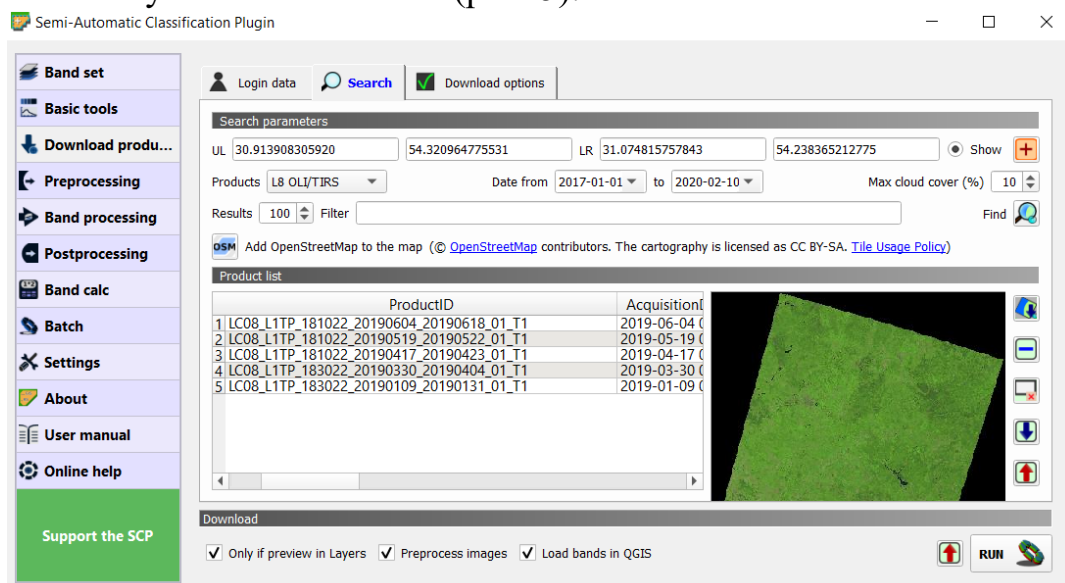



Рис. 5. Диалоговое окно плагина **Semi-Automatic Classification Plugin** с найденными спутниковыми снимками

В модуле **Semi-Automatic Classification Plugin** доступна опция предпросмотра снимков. Для предпросмотра интересующего спутникового изображения следует выбрать его в списке **Image list** и нажать кнопку . В результате в рабочем окне проекта станет доступным для просмотра выбранный снимок (рис. 6). Следует помнить, что в этом случае в проект загружается не полная сцена, а только вариант для предпросмотра.

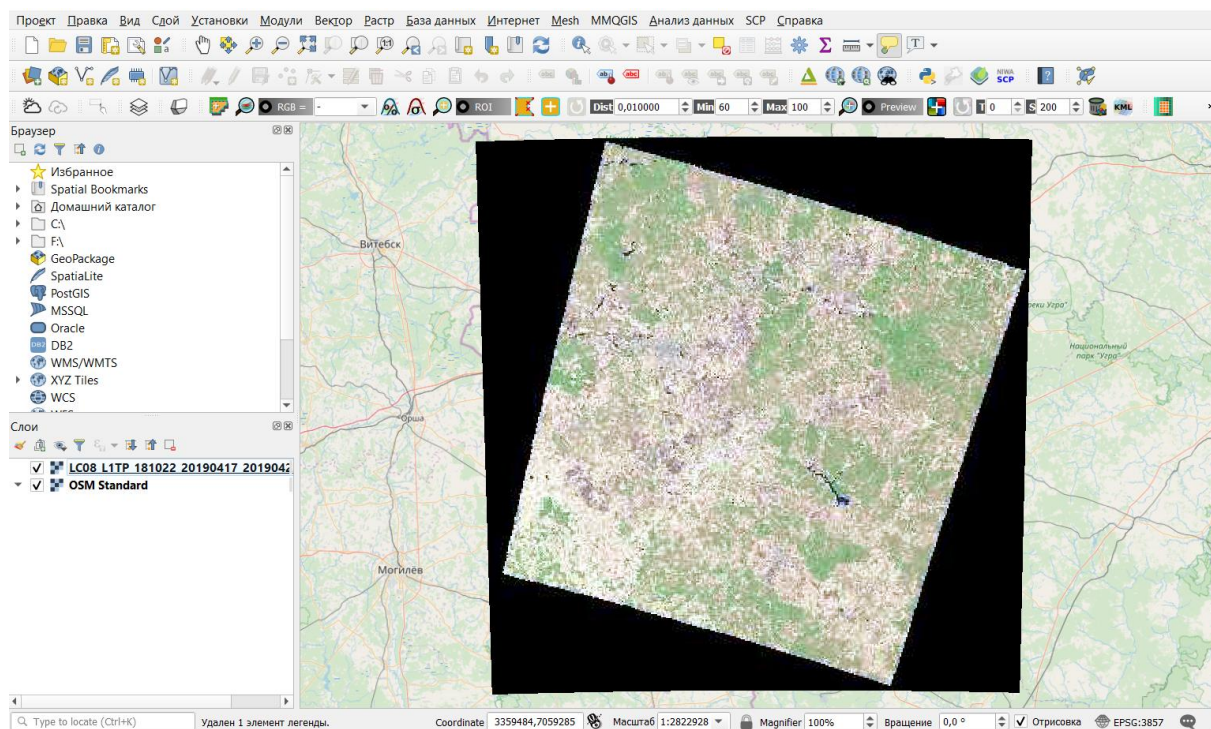

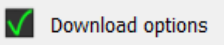


Рис. 6. Диалоговое окно проекта с добавленной для предпросмотра сценой Landsat-8

Для начала процесса загрузки снимка следует нажать кнопку  в правом нижнем углу диалогового окна. Если предполагается загрузка только отдельных растров сцены, необходимо в диалоговом окне плагина нажать кнопку  и в появившемся окне выбрать интересующие растры, а также файл с метаданными. Загрузка сцены может занять некоторое время.

Для загрузки выбранной сцены в рабочее окно проекта QGIS следует войти в меню «Слой» и поочередно выбрать команды «Добавить слой» и «Добавить растровый слой». В открывшемся диалоговом окне необходимо установить фильтр «Все файлы» и задать путь к папке со сценой, загрузка которой будет осуществляться. Далее следует войти в папку с данными сцены, выбрать все находящиеся в ней файлы с расширением tiff и добавить их в проект.

Добавление данных в рабочий проект можно выполнить и используя панель каталога. В результате выполненных действий на панель слоев проекта должно добавиться 11 файлов.

Далее необходимо отключить видимость всех слоев за исключением слоя с окончанием имени B8, и открыть свойства этого слоя. В появившемся диалоговом окне следует задать настройки, как показано на рис. 7. В закладке «Стиль» выбрать позицию «Изображение» и в открывшейся вкладке выбрать «Одноканальное псевдоцветное». Далее следует задать минимальное значение для диапазона отсечения 4000-4400. Верхнее значение для диапазона отсечения не менять и оставить по умолчанию. Также необходимо изменить режим классификации и выбрать позицию «Равные интервалы». После этого в соответствующем поле следует указать количество классов – 30 и нажать на

кнопку «Классифицировать». Кроме того, необходимо ввести режим обесцвечивания «По светлоте» и тонирование изображения цветом. После выполнения всех указанных действий следует поочередно нажать кнопки «Применить» и «ОК».

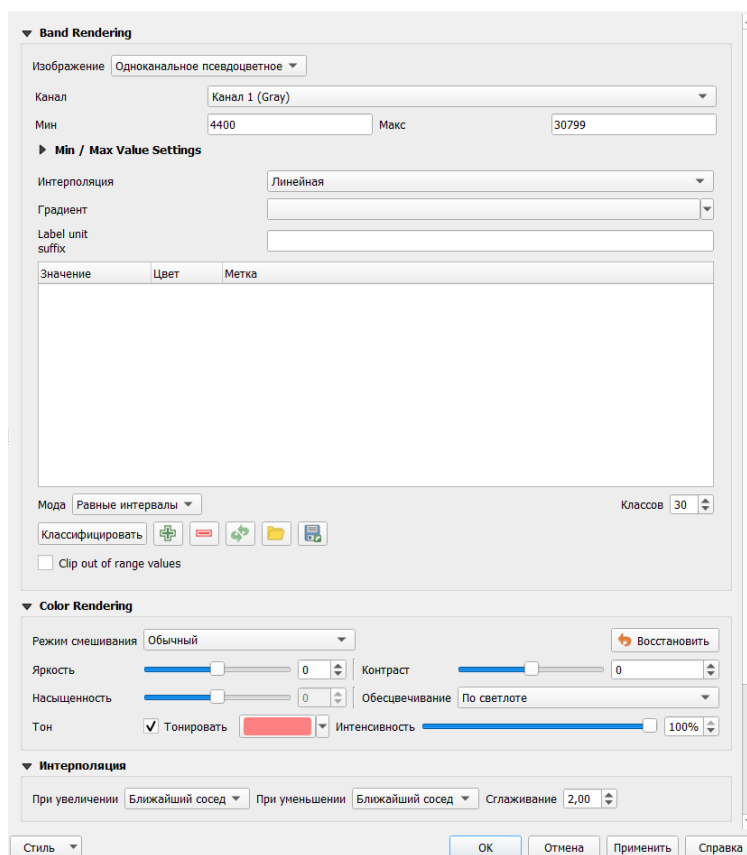


Рис. 7. Диалоговое окно настроек свойств стиля отображения сцены

На основе существующих данных об изображении поверхности в различных спектральных диапазонах можно получить классическое цветное изображение, обладающее большей информативностью по сравнению с исходным. Для этого выполняют комбинацию различных каналов спектральных сцен.

Для выполнения комбинирования каналов следует выбрать путь: **Растр – Прочее – Результат**. В появившемся диалоговом окне необходимо в поле **Исходные слои** выбрать каналы, комбинацию которых предполагается выполнить. Следует помнить, что порядок указания слоев имеет значение, поэтому, если нужно выполнить комбинацию 4–3–2, то порядок выбранных слоев должен также соответствовать этой схеме. Также нужно активировать опцию **Расположить каждый входной слой в отдельный канал** и в поле **Результат объединения** выбрать путь для сохранения создаваемого растра – свою рабочую папку, а также указать имя файла, имеющее формат: Ivanov\_4-3-2 (своя фамилия, обязательно написанная латиницей и комбинация каналов через нижнее подчеркивание) (рис. 8).

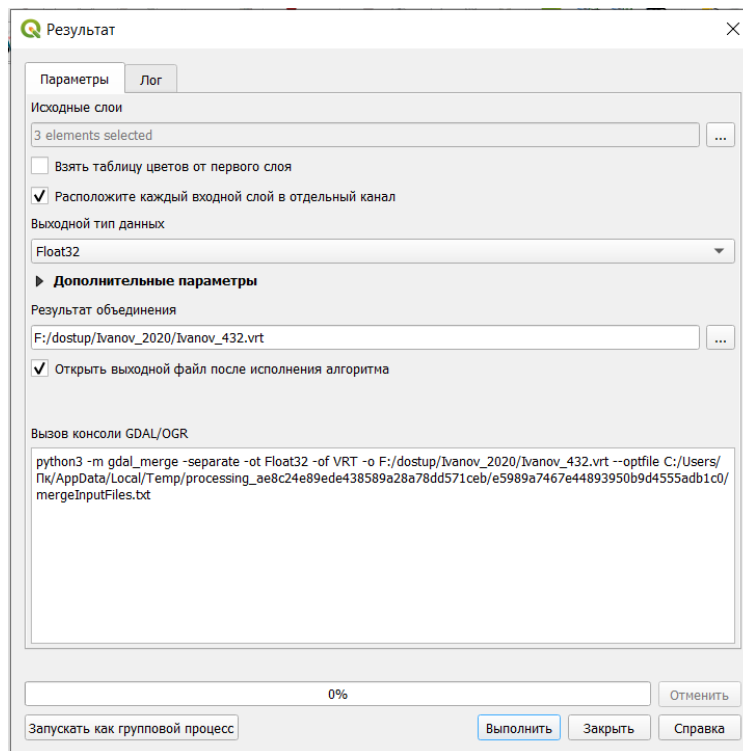


Рис. 8. Диалоговое окно настроек комбинирования каналов

Для того, чтобы убрать черный фон вокруг изображения сцены, необходимо войти в свойства слоя и в левом вертикальном доке выбрать опцию **Прозрачность**. В появившемся диалоговом окне в поле **Дополнительное значение** необходимо задать 0 (рис. 8).

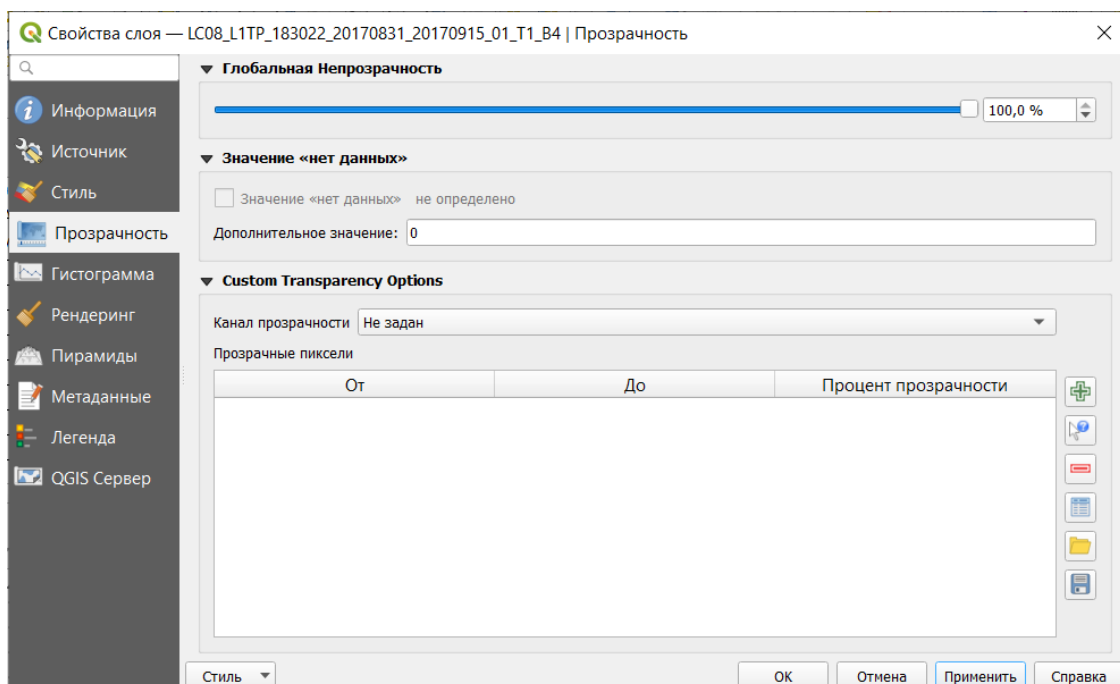


Рис. 8. Диалоговое окно настроек прозрачности сцены

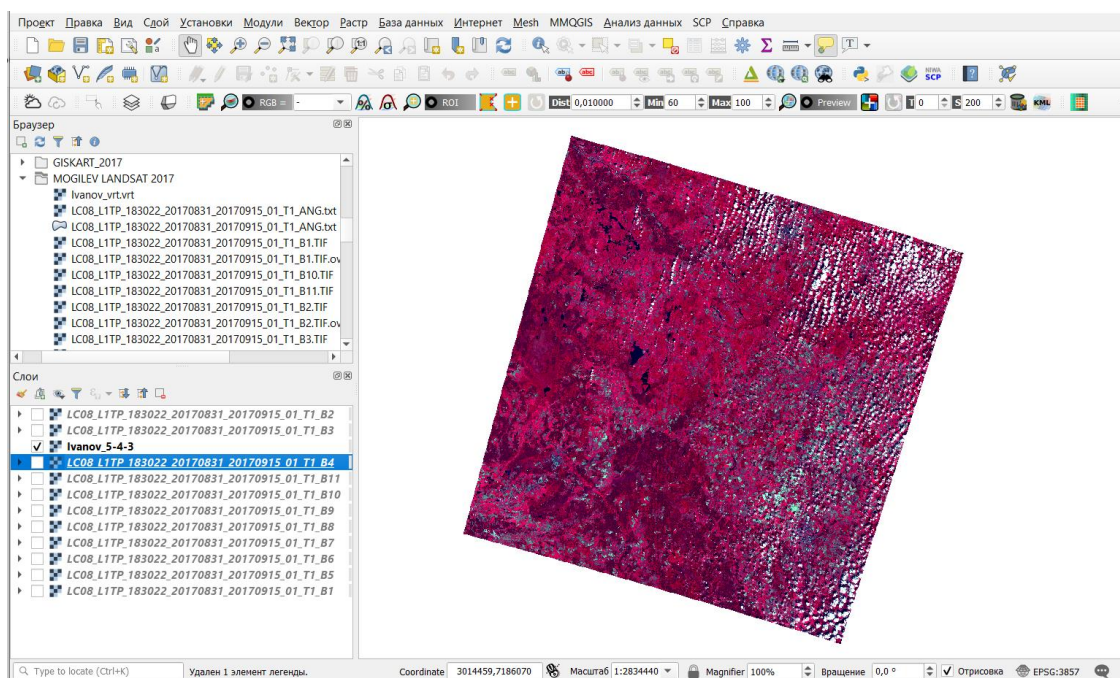
Если после задания всех настроек и запуска комбинации каналов в диалоговом окне появилось сообщение об ошибке, необходимо проверить путь для сохранения создаваемого растра. Если хотя бы один из элементов пути написан кириллицей, растр создаваться не будет. Если растр не создается и после внесенных исправлений, следует сохранить его как временный файл.

Если полученная в результате комбинации каналов сцены имеет нечеткое либо мутное отображение, следует войти в настройки ее свойств и вместо минимального значения 0 для каналов задать другие значения.

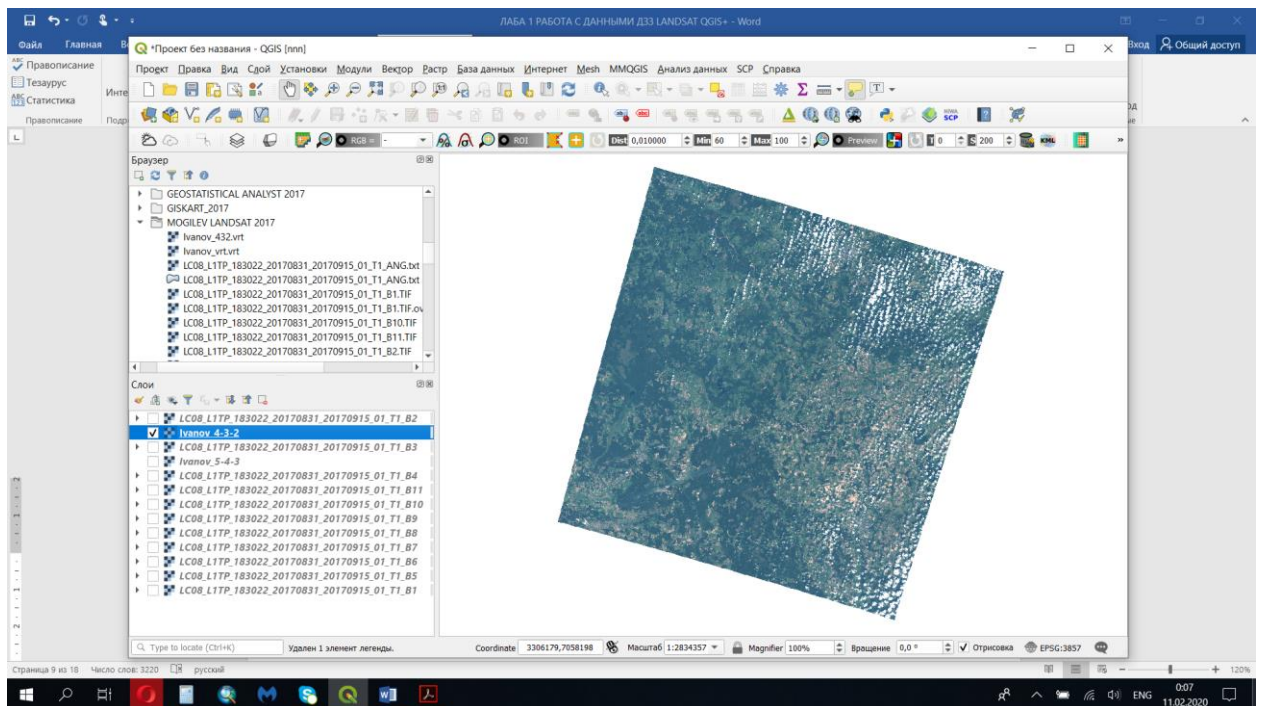
Все возможные сочетания каналов сцен, полученных со спутника Landsat-8, можно дифференцировать на пять групп в зависимости от преобладающих цветов и отражаемой информации на них:

- 1) комбинация 4, 3, 2 «естественные цвета»;
- 2) комбинация 5, 4, 3 — «искусственные цвета» с преобладанием красного цвета;
- 3) комбинация 5, 6, 4; 5, 6, 2; 6, 5, 4 — «искусственные цвета» с преобладанием желтого цвета;
- 4) комбинация 7, 5, 3; 7, 6, 4 — «искусственные цвета» с преобладанием зеленого цвета;
- 5) комбинация 7, 6, 2 — инфракрасный канал с преобладанием синего цвета.

На рис. 15 изображен виртуальный растр, созданный комбинацией каналов **5-4-3**. Эта комбинация используется, главным образом, для изучения состояния растительного покрова, мониторинга дренажа и почвенной мозаики, а также для изучения сельскохозяйственных культур.



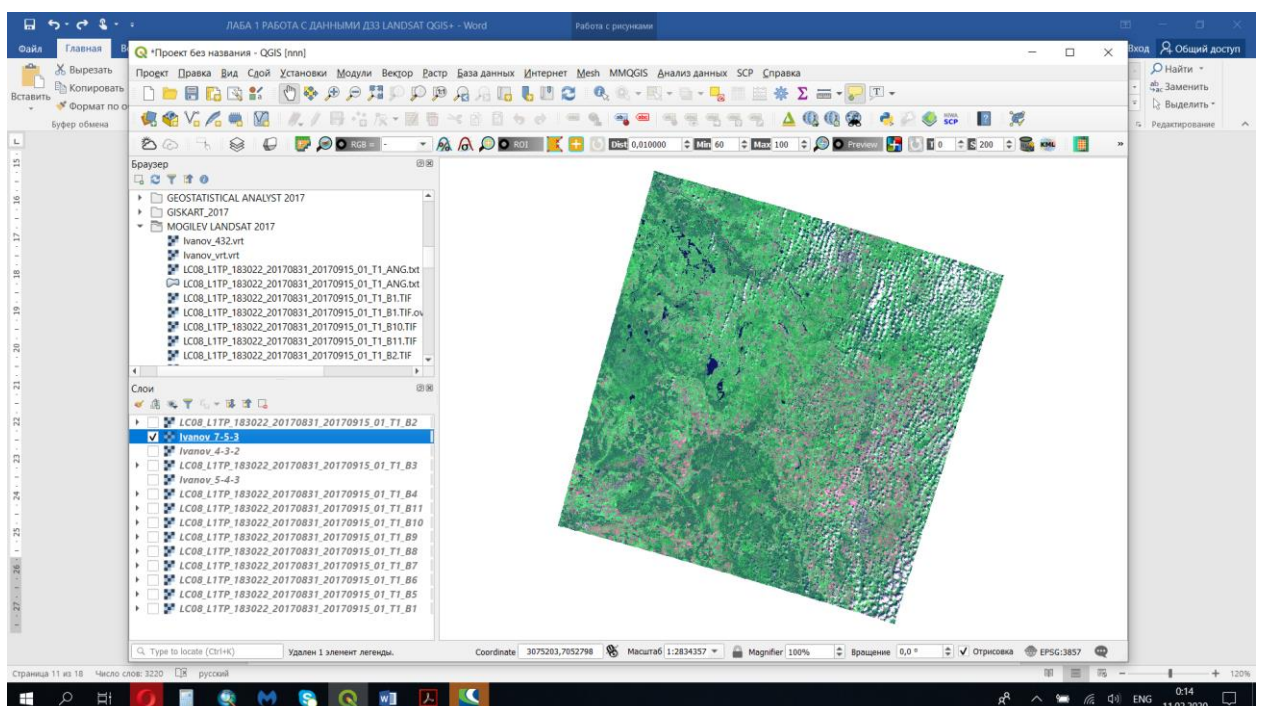
**Рис. 15. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов 5-4-3**



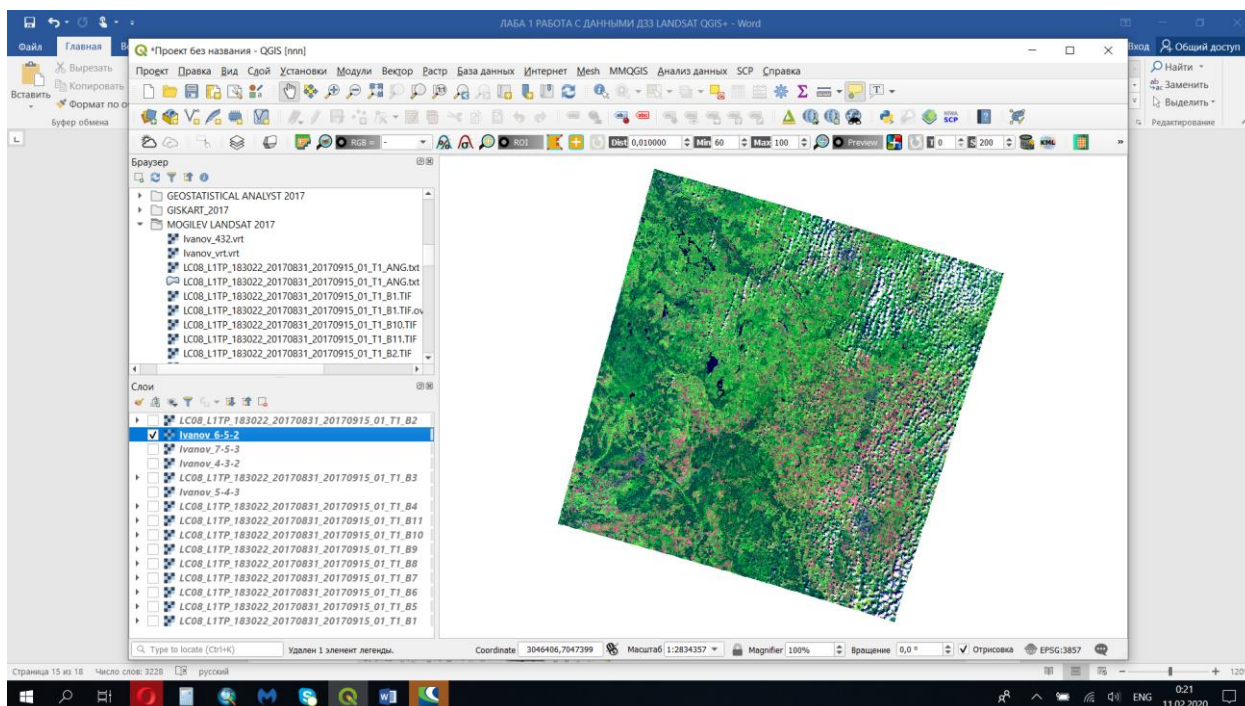
**Рис. 16. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов 4-3-2**

На рис. 16 представлен результат комбинации каналов 4–3–2. В этой комбинации используются каналы видимого диапазона: здоровая растительность выглядит зеленой, убранные поля – светлыми, нездоровая растительность – коричневой и желтой, дороги – серыми.

Комбинация каналов 7–5–3 (рис. 17) может быть использована для изучения сельскохозяйственных земель и водно-болотных угодий, в частности определения территорий с пирогенной деградацией торфяников, а комбинация 6–5–2 – для анализа степени развития сельскохозяйственных культур (рис. 18).

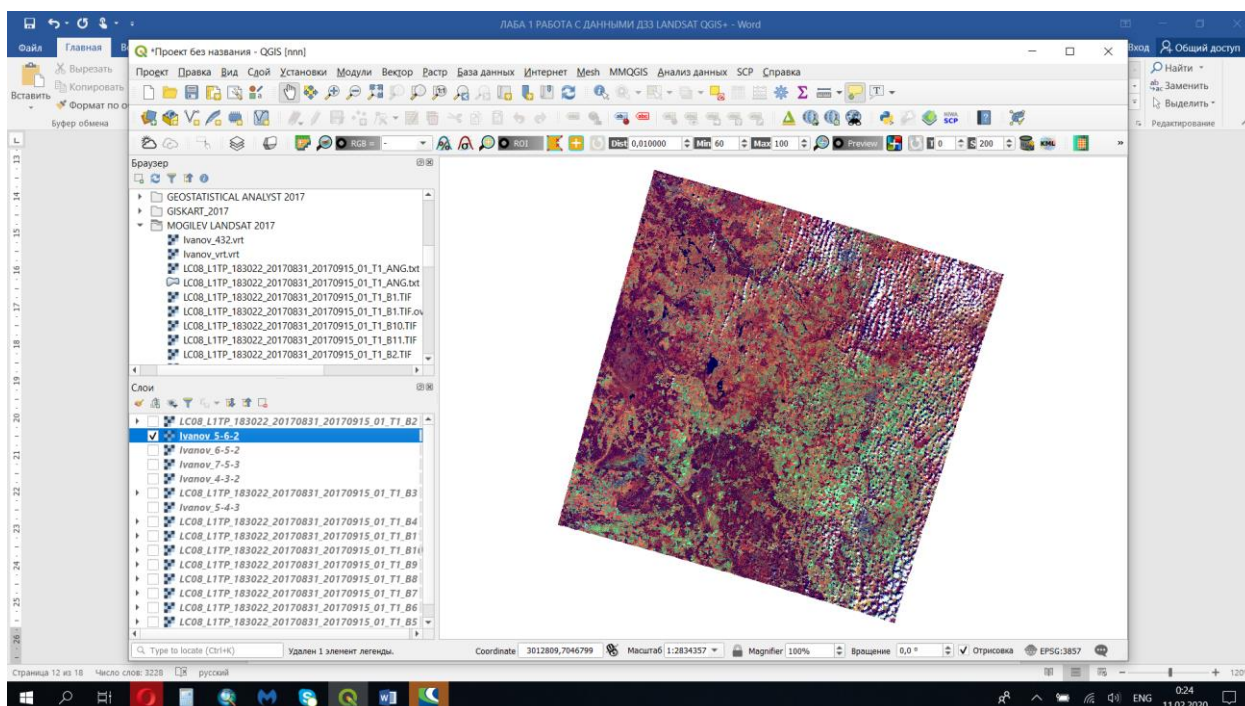


**Рис. 17. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов 7-5-3**



**Рис. 18. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов 6-5-2**

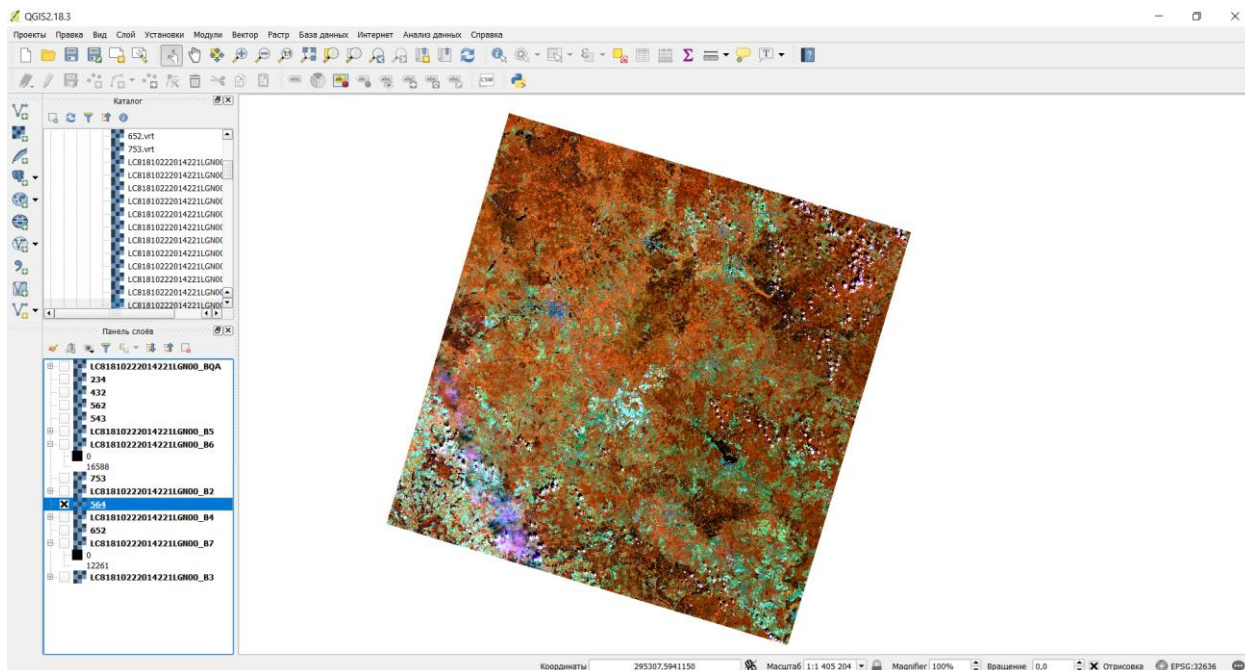
Использование комбинации каналов **5–6–2** параллельно с комбинацией **3–2–1** позволяет различать затопляемые территории и растительность, однако данная комбинация малопригодна для детектирования дорог и шоссе (рис. 19).



**Рис. 19. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов 5-6-2**

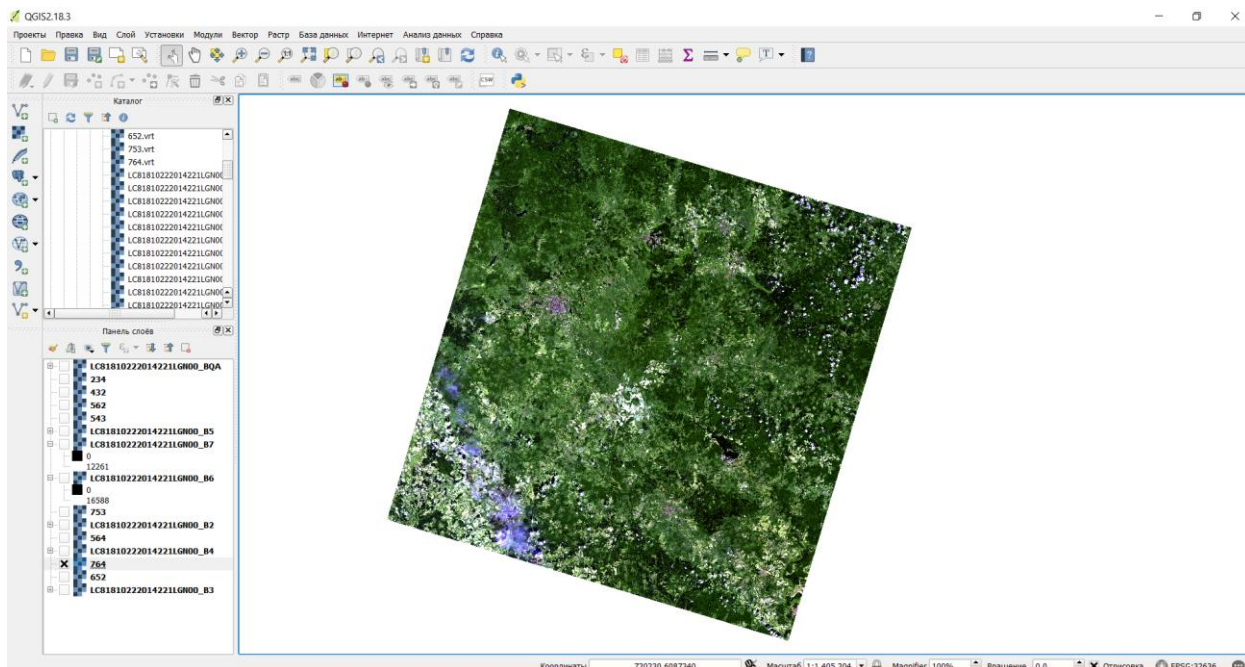
Комбинация ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала (**5–6–4**) позволяет четко различить границу между водой и сушей и подчеркнуть скрытые детали, плохо видимые при использовании только

каналов видимого диапазона. При ее применении с большой точностью будут детектироваться также водные объекты внутри суши (рис. 20).



**Рис. 20. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов 5-6-4**

Комбинация каналов 7–6–4 дает изображение, близкое к естественным цветам, но в тоже время позволяет анализировать состояние атмосферы и наличие в ней аэрозолей, в частности дыма. Одно из возможных применений этой комбинации каналов – мониторинг пожаров (рис. 21).



**Рис. 21. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов 7-6-4**

Комбинация каналов **6–5–4** дает возможность анализировать степень развития растительного покрова и широко используется для анализа состояния лесных сообществ (рис. 22).

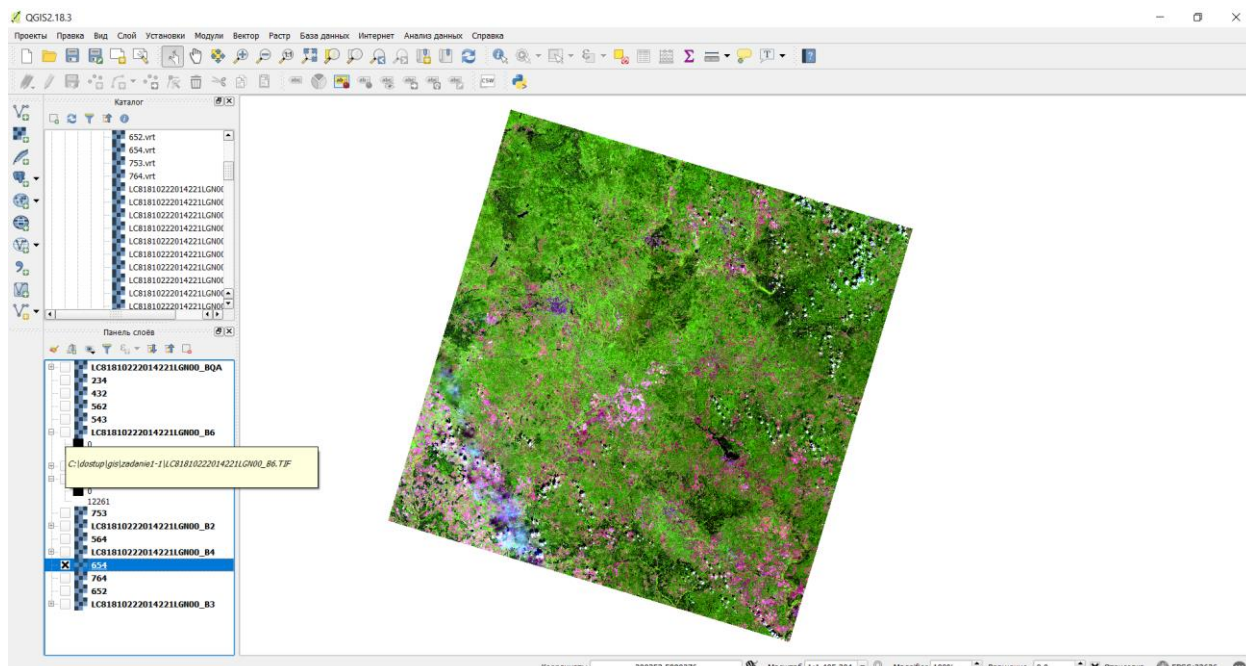


Рис. 22. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов **6-5-4**

Комбинация каналов **7–6–5** обеспечивает оптимальный анализ состояния атмосферы и может быть использована для анализа текстуры и влажности почв (рис. 23).

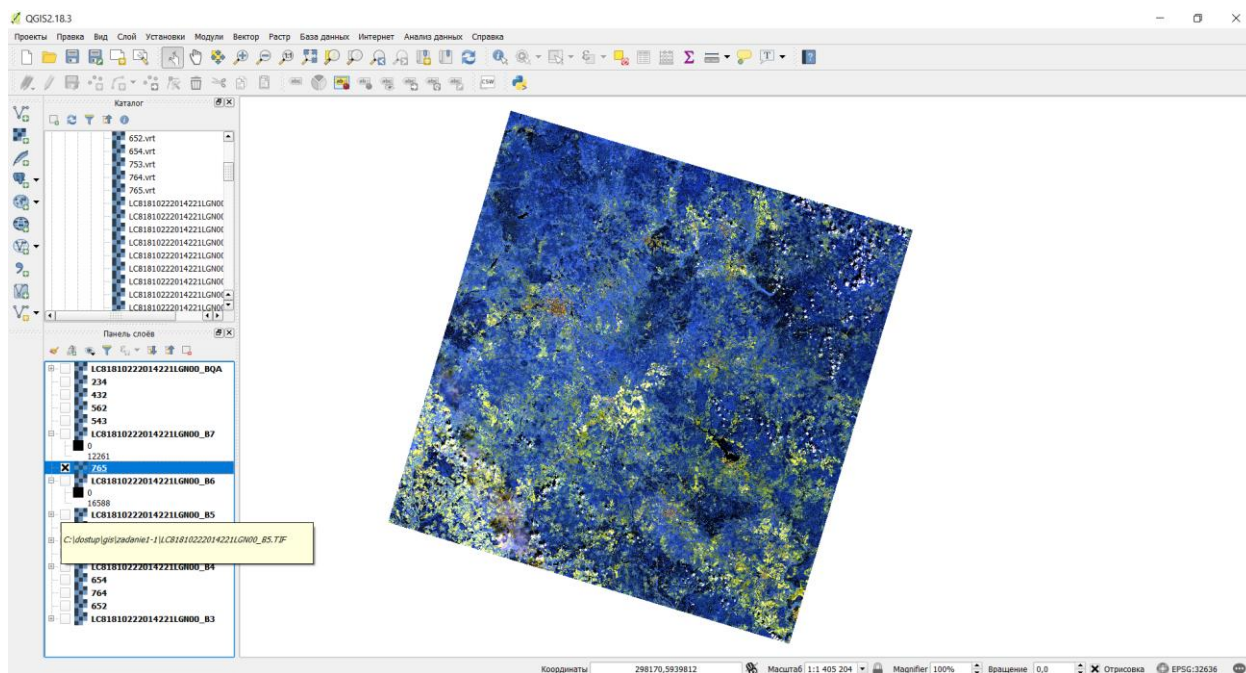


Рис. 23. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов **7-6-5**

Комбинацию каналов 6–4–2 используют для анализа топографических структур (рис. 24), а комбинацию 7–3–1 – для идентификации геологических структур и горных пород (рис. 25).

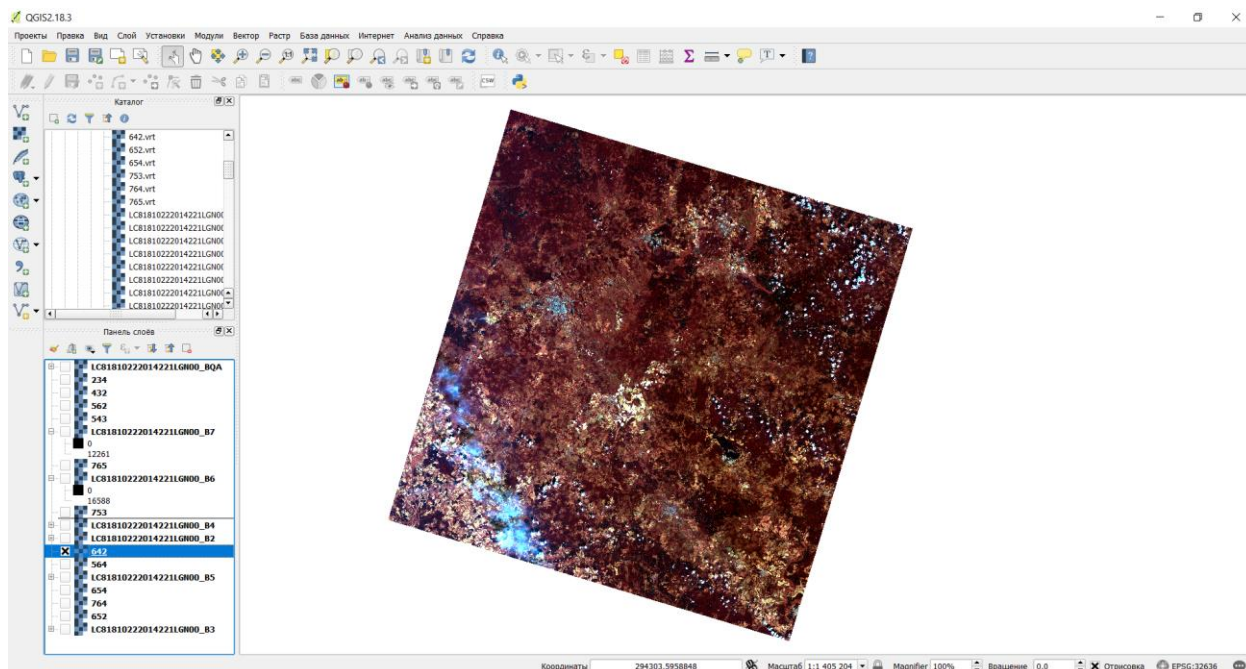


Рис. 24. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов 6-4-2

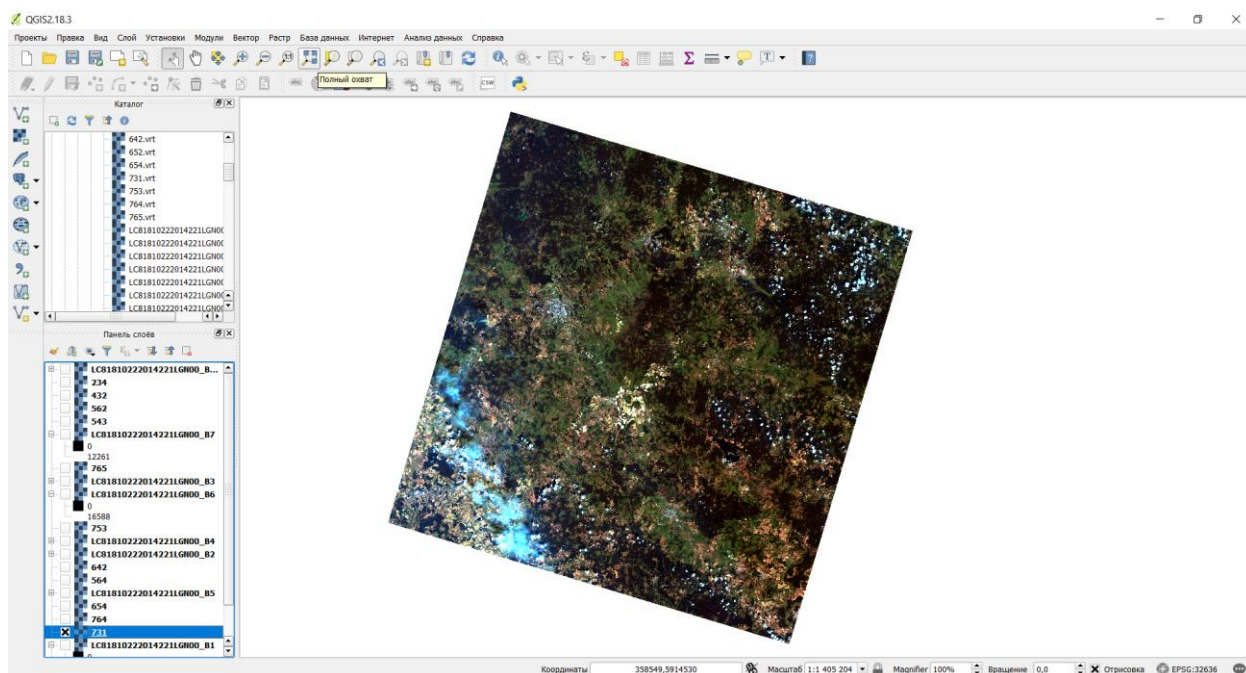


Рис. 25. Виртуальный растр, полученный при комбинации каналов 7-3-1

При помощи космических снимков возможно выявление различных характеристик природных и искусственно созданных экосистем на больших территориях без проведения дополнительных полевых исследований. Наличие данных ДЗЗ позволяет производить специализированные расчеты целого ряда

параметров среды с последующим их отображением и выражением в конкретных величинах. При этом масштабы получаемых данных во много раз превосходят те, которые можно было бы получить при помощи полевых исследований, имеющих локальный, а зачастую и точечный характер.

По результатам выполнения комбинирования необходимо сделать принтскрины изображений, полученных в результате применения различных комбинаций каналов данных Landsat-8 и описать их, используя данные таблицы 2.

Таблица 2. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat-8

Комбинация Landsat-8	Отображаемая информация
1	2
5 – 4 – 3	Стандартная комбинация «искусственные цвета». Растительность отображается в оттенках красного, городская застройка – зелено-голубых, а цвет почвы варьируется от темно до светло коричневого. Лед, снег и облака выглядят белыми или светло голубыми (лед и облака по краям). Хвойные леса будут выглядеть более темно-красными или даже коричневыми по сравнению с лиственными. Эта комбинация очень популярна и используется, главным образом, для изучения состояния растительного покрова, мониторинга дренажа и почвенной мозаики, а также для изучения агрокультур. В целом, насыщенные оттенки красного являются индикаторами здоровой и (или) широколиственной растительности, в то время как более светлые оттенки характеризуют травянистую или редколесную/кустарниковую растительность.
4 – 3 – 2	Комбинация «естественные цвета». В этой комбинации используются каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. Здоровая растительность выглядит зеленой, убранные поля – светлыми, нездоровая растительность – коричневой и желтой, дороги – серыми, береговые линии – белесыми. Эта комбинация каналов дает возможность анализировать состояние водных объектов и процессы седиментации, оценивать глубины. Также используется для изучения антропогенных объектов. Вырубки и разреженная растительность детектируются плохо, в отличие от комбинации 4-5-1 или 4-3-2. Облака и снег выглядят одинаково белыми и трудноразличимы. Кроме того, трудно отделить один тип растительности от другого. Эта комбинация не позволяет отличить мелководье от почв в отличие от комбинации 7-5-3.
7 – 5 – 3	Эта комбинация дает изображение близкое к естественным цветам, но в тоже время позволяет анализировать состояние атмосферы и дым. Здоровая растительность выглядит ярко зеленой, травянистые сообщества – зелеными, ярко розовые участки детектируют открытую почву, коричневые и оранжевые тона характерны для разреженной растительности. Сухостойная растительность выглядит оранжевой, вода – голубой. Песок, почва и минералы могут быть представлены очень большим числом цветов и оттенков. Эта комбинация дает великолепный результат при анализе пустынь и опустыненных территорий. Кроме того, она может быть использована для изучения сельскохозяйственных земель и водно-болотных угодий. Выгоревшие территории, в частности пирогенно деградированные торфяники, будут выглядеть ярко красными. Эта комбинация используется

	для изучения динамики пожаров и постпожарного анализа территории. Городская застройка отображается в оттенках розово-фиолетового, травянистые сообщества – зелеными и светло зелеными тонами. Светло зеленые точки внутри городских территорий могут быть парками или садами. Оливково-зеленый цвет характерен для лесных массивов, более темный цвет является индикатором примеси хвойных пород.
6 – 5 – 2	При данной комбинации здоровая растительность выглядит ярко зеленой, она лучше подходит для анализа сельскохозяйственных культур нежели комбинация 7-4-2.
<i>Продолжение таблицы 2</i>	
1	2
5 – 6 – 2	Здоровая растительность отображается в оттенках красного, коричневого, оранжевого и зеленого. Почвы выглядят зелеными или коричневыми, урбанизированные территории – белесыми, серыми и зелено-голубыми, ярко-голубой цвет может детектировать недавно вырубленные территории, а красноватые тона – восстановление растительности или разреженную растительность. Чистая, глубокая вода будет выглядеть очень темно-синей (почти черной), если же это мелководье или в воде содержится большое количество взвесей, то в цвете будут преобладать более светлые синие оттенки. Добавление среднего инфракрасного канала позволяет добиться хорошей различимости возраста растительности. Здоровая растительность дает очень сильное отражение в 4 и 5 каналах. Использование комбинации 3-2-1 параллельно с этой комбинацией позволяет различать затопляемые территории и растительность. Комбинация малоприспособна для детектирования дорог и шоссе.
5 – 6 – 4	Эта комбинация ближнего, среднего ИК-каналов и красного видимого канала позволяет четко различить границу между водой и суши и подчеркнуть скрытые детали, плохо видимые при использовании только каналов видимого диапазона. С большой точностью будут детектироваться водные объекты внутри суши. Эта комбинация отображает растительность в различных оттенках и тонах коричневого, зеленого и оранжевого. Она дает возможность анализа влажности и полезна при изучении почв и растительного покрова. Чем выше влажность почв, тем темнее будет выглядеть изображение, что обусловлено поглощением водой излучения ИК диапазона.
7 – 6 – 4	Эта комбинация дает изображение близкое к естественным цветам, но в тоже время позволяет анализировать состояние атмосферы и дым. Растительность отображается в оттенках темно- и светло-зеленого, урбанизированные территории выглядят белыми, зелено-голубыми и малиновыми, почвы, песок и минералы могут быть очень разных цветов. Практически полное поглощение излучения в среднем ИК-диапазоне водой, снегом и льдом позволяет очень четко выделять береговую линию и подчеркнуть водные объекты. Горячие точки (например, кальдеры вулканов и пожары) выглядят красноватыми или желтыми. Одно из возможных применений этой комбинации каналов – мониторинг пожаров. Затопляемые территории выглядят очень темно-синими или почти черными, в отличие от комбинации 3-2-1, где они выглядят серыми и плохо различимы.
6 – 5 – 4	Эта комбинация дает очень много информации и цветовых контрастов. Здоровая растительность выглядит ярко-зеленой, а почвы – розовато-лиловыми. В отличие от комбинации 7-4-2, включающей 7-й канал и позволяющей изучать геологические процессы, эта комбинация дает возможность анализировать сельскохозяйственные угодья. Она очень удобна

	для изучения растительного покрова и широко используется для анализа состояния лесных сообществ.
7 – 6 – 5	Эта комбинация не включает ни одного канала из видимого диапазона, и обеспечивает оптимальный анализ состояния атмосферы. Береговые линии четко различимы. Может быть использован для анализа текстуры и влажности почв. Растительность выглядит голубой.
6 – 4 – 2	Эта комбинация показывает топографические текстуры, в то время как комбинация 7-3-1 позволяет различить горные породы.

### **ЛИТЕРАТУРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ:**

1. Жиленев М. Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке / М. Ю. Жиленев // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 56–64.
2. Кашкин В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
3. Сухих В. И. Аэрокосмические методы исследования в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве / В. И. Сухих. – Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2005. – 392 с.
4. Токарева О. С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие / О. С. Токарев. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 148 с.
5. Чандра А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош. – Москва: Техносфера, 2008. – 312 с.
6. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р. А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.