



2. РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ КОРРЕКТИРОВКА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ

Цель работы:

- 1) получить навыки выполнения радиометрической корректировки данных дистанционного зондирования, используя базовые программные средства ГИС QGIS;
- 2) получить навыки определения вегетационных индексов и их интерпретации.

Задание работы:

- 1) определить альбедо и откорректировать растры каналов B4 и B5 сцены Landsat-8 с учетом его величины;
- 2) определить радиояркостную температуру подстилающей поверхности по значениям тепловых каналов B10 и B11 сцены Landsat-8;
- 3) определить величину вегетационного индекса NDVI, используя каналы B4 и B5 сцены Landsat-8 (не откорректированные и откорректированные с учетом величины альбедо) для территории отдельных административных районов Могилевской области;
- 4) определить величину относительного вегетационного индекса (RVI) и инфракрасного вегетационного индекса (IPVI).

Исходные данные для выполнения работы: результаты дистанционного зондирования, полученные спутником Landsat-8, охватывающие часть районов Могилевской области Республики Беларусь и Смоленской области Российской Федерации. Получить подобные данные возможно на безвозмездной основе, пройдя простую процедуру регистрации на официальном сайте геологической службы США (USGS).

Выполнение работы:

Задание 1. Откорректировать растры каналов B4 и B5 сцены Landsat-8 с учетом величины альбедо.

Используемые в качестве исходных данных сцены Landsat-8, полученные с сайта USGS (Геологическая служба США – американская научно-исследовательская правительственная организация, основанная 3 марта 1879 г., штаб-квартира – г. Рестон, штат Виргиния, США), уже скорректированы с учетом кривизны поверхности Земли и особенностей рельефа снимаемой территории. Для них также применено масштабирование в пределах возможных значений регистрируемых величин. Однако все эти

корректировки направлены на обеспечение надёжного визуального дешифрирования формы, рисунка и взаимного расположения наземных объектов. В случае, если данные дистанционного зондирования используются для определения индивидуальных спектральных характеристик объектов, требуется дополнительная коррекция изображений. Одним из примеров такого определения является вычисление вегетационных индексов по многозональным материалам, в первую очередь – нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index). При интерпретации схем распределения NDVI по исследуемой территории крайне важными становятся не относительные изменения значений по одной сцене (снимок, выполненный по одному из каналов), а соотношения NDVI по одной сцене или разновременным сценам в абсолютном (числовом) выражении.

Значения, содержащиеся в файлах каналов многозонального изображения, представляют собой безразмерную величину. Эта величина пропорциональна интенсивности излучения, достигающего орбиты, на которой находится спутник Landsat 8. При загрузке снимка с сайта USGS из файла мы получаем дискретное калиброванное значение пикселя Q , которое номинировано в условных относительных единицах DN (Digital Numbers – числовые значения). По этой величине можно определить значения отражающей способности (альбедо) ρ наземных объектов, видимых на снимке, и провести его корректировку с учетом величины данного показателя.

Альбедо (лат. *albus* – белый) – характеристика диффузной отражательной способности поверхности. Значение альбедо для определенной длины волны или диапазона длин волн зависит от спектральных характеристик отражающей поверхности, поэтому альбедо отличается для разных спектральных диапазонов (оптическое, ультрафиолетовое, инфракрасное альбедо) или длин волн (монохроматические альбедо). Величину альбедо используют при расчетах радиационного баланса территории (солнечного баланса). Типичные значения альбедо:

- влажная почва 5-10%;
- чернозем 15%;
- сухая глинистая почва 30%;
- светлый песок 35-40%;
- полевые культуры 10-25%;
- травяной покров 20-25%;
- лес – 5-20%;
- свежеснеженный снег 70- 90%;
- водная поверхность для прямой радиации от 70-80% при солнце у горизонта до 5% при высоком солнце, для рассеянной радиации около 10%;
- верхняя поверхность облаков 50-65%.

Для сцен Landsat-8, взятых из архива USGS, величина альbedo (ρ) вычисляется по формуле (1):

$$\rho = \frac{2 \cdot 10^{-5} Q - 0,1}{\sin \theta} \quad (1),$$

где: ρ – отражающая способность поверхности;

Q – канал, для которого выполняется корректировка;

$\sin \theta$ (тэта) – высота стояния Солнца над горизонтом в момент съёмки/

Сведения о высоте стояния Солнца над горизонтом в момент съёмки содержатся в файле с метаданными сцены, расположенном в папке с данными и имеющем окончание имени файла mtl и расширение txt. Значение высоты стояния Солнца над горизонтом в момент съёмки в файле с метаданными приведено в градусах, поэтому перед подстановкой в формулу (1) его необходимо перевести в радианы, исходя из того, что 1 градус = 0,0174533 радиана. Чтобы выполнить корректировку растра, необходимо войти в меню «Растр» ГИС QGIS и выбрать команду «Калькулятор растров». В открывшемся диалоговом окне калькулятора растров (рис. 1) в поле «Выражение» следует прописать выражение, имеющее следующий вид:

("LC81820222016234LGN00_B4" * 0.00002-0.1)/sin (45.57301111*0.0174533).

Важно помнить, что разделителем в десятичной дроби должна быть точка, а не запятая.

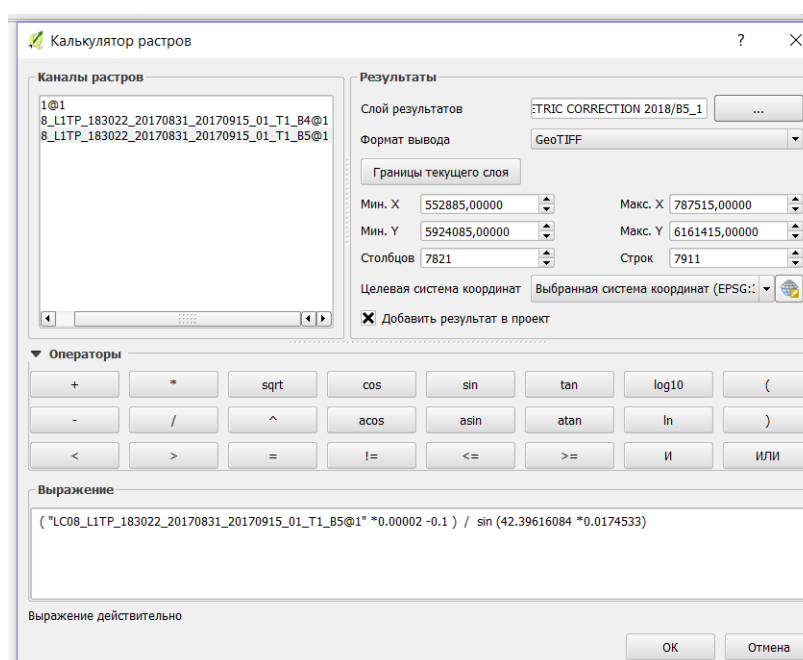


Рис. 1. Диалоговое окно калькулятора растров с прописанным выражением для определения величины альbedo

Полученный результат следует сохранить в своей рабочей папке под именем «B4-1», используя для этого кнопку «Слой результатов» в диалоговом окне калькулятора растров. Аналогичным образом следует выполнить корректировку и сохранение под именем «B5-1» растра канала B5.

Задание 2. Используя каналы B10 и B11 сцены Landsat 8, определить интенсивность излучения R от объекта, достигшего орбиты Landsat 8, температуру поверхности, и выполнить комбинацию растров T10 и T11.

Для корректировки растров каналов B10 и B11 сцены Landsat 8 необходимо определить калибровочные коэффициенты M_R и A_R , которые содержатся в файле с метаданными с именем «*_mtl.txt», который поставляется вместе со сценой в одном архивном файле. Из списка приведённых параметров должны быть выбраны RADIANCE_MULT (M_R) и RADIANCE_ADD (A_R), соответствующие нужному каналу.

Используя значения этих коэффициентов можно определить интенсивность излучения от объекта (R), достигшего орбиты Landsat-8 (2):

$$R = M_R Q + A_R. \quad (2),$$

где R – интенсивность излучения;

Q – канал соответствующей сцены Landsat-8;

M_R и A_R – калибровочные коэффициенты, сведения о которых содержатся в файле с метаданными сцены.

Значение интенсивности излучения имеет размерность Вт/м²/ср/мкм, т. е. мощность излучения, падающая на единицу площади земной поверхности сквозь телесный угол в 1 стерадиан, взятого относительно единицы длины волны излучения.

Чтобы определить интенсивность излучения, необходимо войти в меню «Растр» ГИС QGIS и выбрать команду «Калькулятор растров». В открывшемся диалоговом окне калькулятора растров в поле «Выражение» следует прописать формулу 2 (рис. 2).

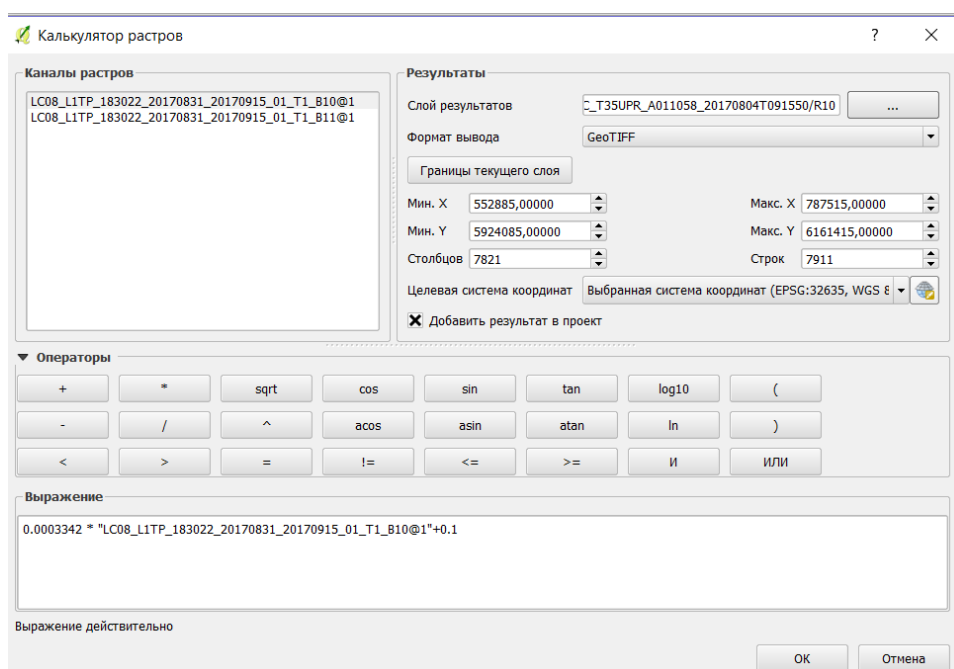


Рис. 2. Диалоговое окно калькулятора растров с прописанным выражением для определения величины интенсивности излучения

Полученный результат следует сохранить в своей рабочей папке под именем «R10», используя для этого кнопку «Слой результатов» в диалоговом окне калькулятора растров. Аналогичным образом следует выполнить корректировку и сохранение под именем «R11» раstra канала V11.

По значениям тепловых каналов V10 и V11 можно определить радиояркостную температуру подстилающей поверхности. Теоретически точность оценки температуры составляет около 0,5°C, однако, дымка в атмосфере занижает значения на несколько градусов. Исходными данными для определения температуры служат значения интенсивности излучения (R), пришедшего на сенсор спутника и зарегистрированного соответствующим тепловым каналом. Температура подстилающей поверхности (T) вычисляется по формуле (3):

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{R} + 1\right)} - 273,15 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (3),$$

где: K_1 и K_2 – калибровочные константы для каналов V10 и V11, значения которых содержатся в файле с метаданными с именем «*_mtl.txt»;

R – интенсивность излучения.

Дистанционное определение температуры поверхности находит применение при геотермическом картировании, которое используется для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач:

- анализа теплового потока Земли;
- исследования распространения вечномёрзлых пород;
- обнаружения природных пожаров;
- экологического мониторинга полигонов ТБО;
- обнаружения теплового загрязнения водоёмов сбросами промышленных вод.

Чтобы выполнить расчеты необходимо войти в меню ГИС QGIS «Растр» и выбрать команду «Калькулятор растров». В открывшемся диалоговом окне калькулятора растров в поле «Выражение» ввести формулу (3) и определить температуру по каждому из каналов, сохранив их под именами T10 и T11.

Значения температуры подстилающей поверхности, определённые по каналам V10 и V11 (они различаются охватываемыми интервалами теплового диапазона) сцены Landsat-8, отличаются друг от друга на 1,5-3,0°C и в общем случае могут быть усреднены. После определения температуры следует настроить стиль отображения растров T10 и T11, как показано на рис. 3., задав тип классификации «Равные интервалы» и выставив в поле «Мин» значение «0».

Далее с помощью создания виртуального раstra следует скомбинировать полученные растры T10 и T11 и настроить стиль

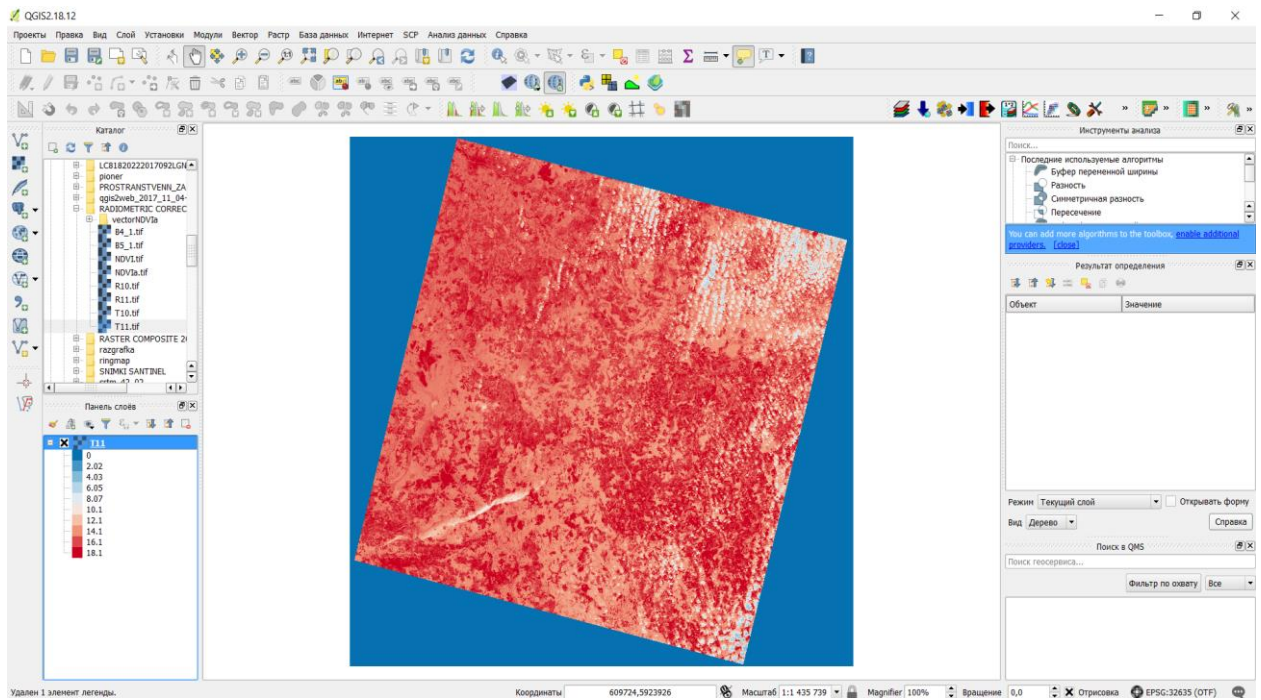


Рис. 5. Растр T11 с отображением температуры подстилающей поверхности, определенной по каналу V11

В результате выполнения комбинации каналов T10 и T11 и настройки стиля отображения будет получен результирующий растр следующего вида (рис. 6).

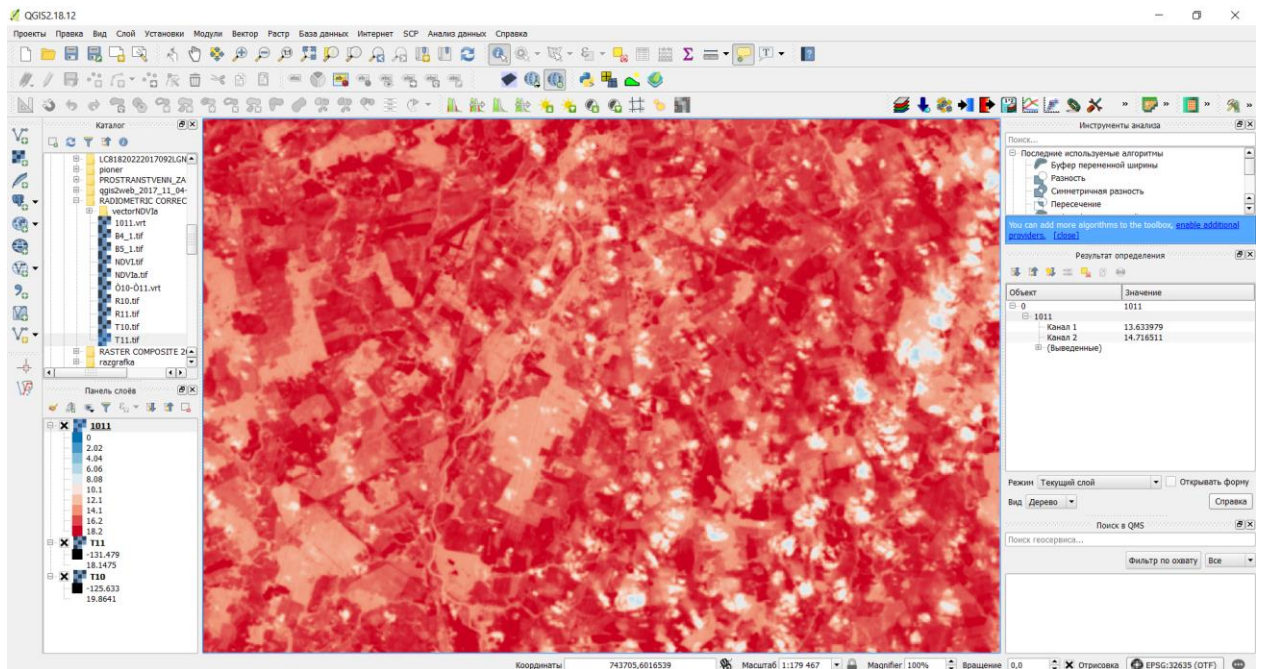


Рис. 6. Растр с отображением температуры поверхности, образованный в результате комбинации каналов T10 и T11

Задание 3. *Используя откорректированные на величину альbedo растры каналов B4 и B5, определить величину нормализованного разностного вегетационного индекса, NDVI.*

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющих спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном (0,75-1,0 мкм) диапазоне. Алгоритм расчета NDVI встроен практически во все распространенные пакеты программного обеспечения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования (ERDAS Imagine, ENVI, ErdMapper, Scanex MODIS Processor, ScanView).

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от других факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6-0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7-1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. Иными словами, высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) приводит к меньшему отражению в красной области спектра и к большему – в инфракрасной. Отношение данных показателей друг к другу позволяет четко отделять растительные объекты от прочих природных объектов и анализировать их состояние. Использование не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения и позволяет уменьшить влияние таких явлений, как различия в освещенности снимка, наличие облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой.

Нормализованный разностной вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом) и один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, связанных с количественными оценками растительного покрова. Его расчет производится по формуле (4):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4),$$

где: NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра (канал B5);

RED – отражение в красной области спектра (канал B4).

Исходя из формулы 4, плотность растительности в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Для выполнения расчета величины NDVI используют возможности калькулятора растров. После выполнения расчетов по откорректированным на величину альbedo и неоткорректированным каналам B4 и B5 выполняют настройку стиля отображения полученных растров NDVIa и NDVI, как показано на рис. 7.

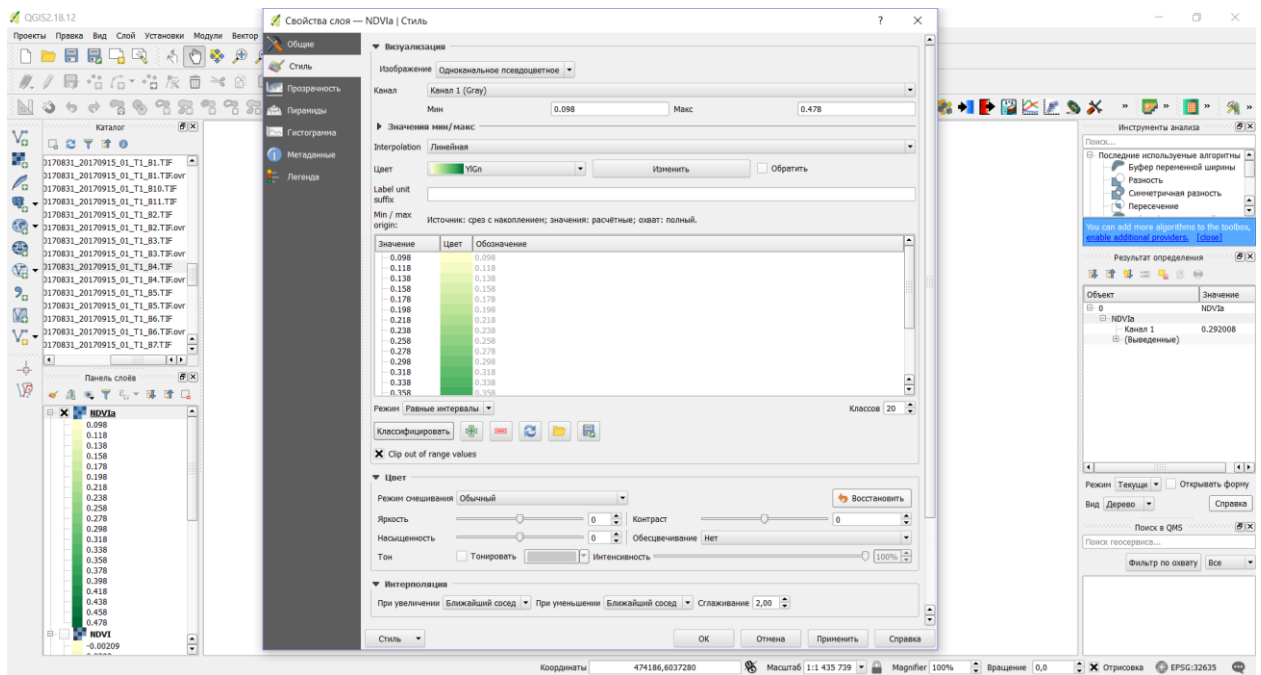


Рис. 7. Диалоговое окно настроек отображения растров NDVIa и NDVI

На рис. 9 и 10 показан результат расчета вегетационного индекса NDVI по данным, откорректированным с учетом величины альбедо, и по неоткорректированным данным.

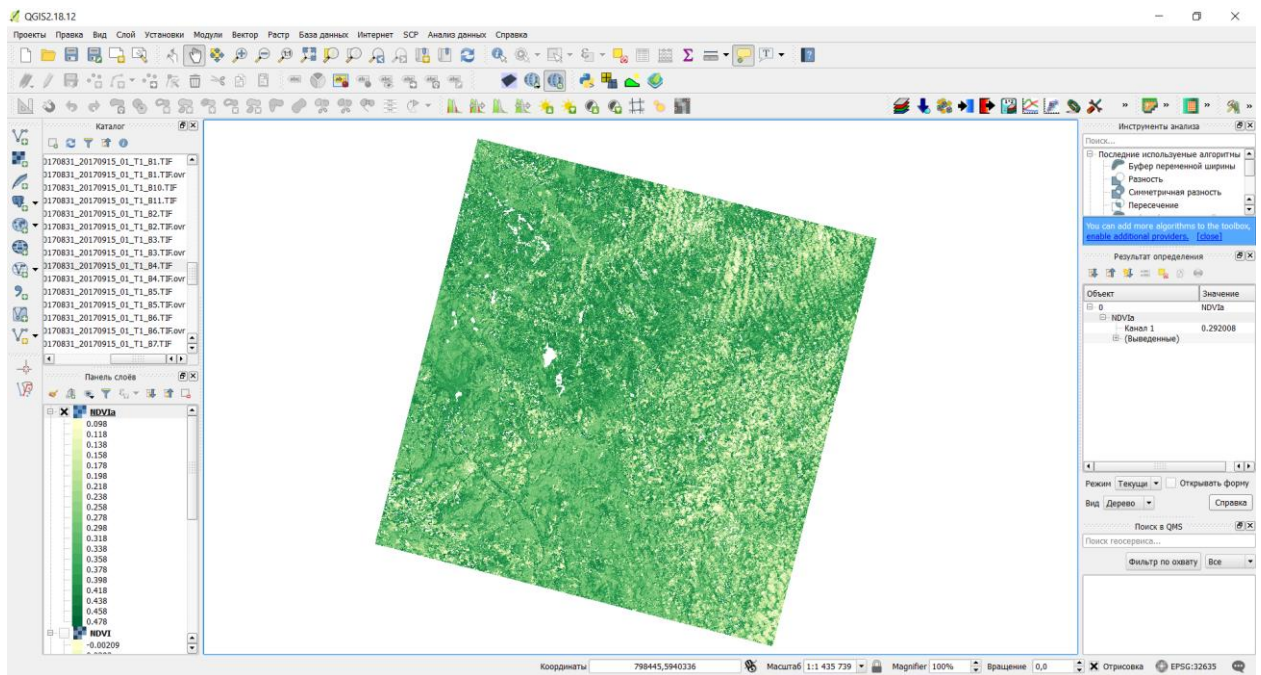


Рис. 10. Растр NDVIa, рассчитанный с учетом альбедо поверхности

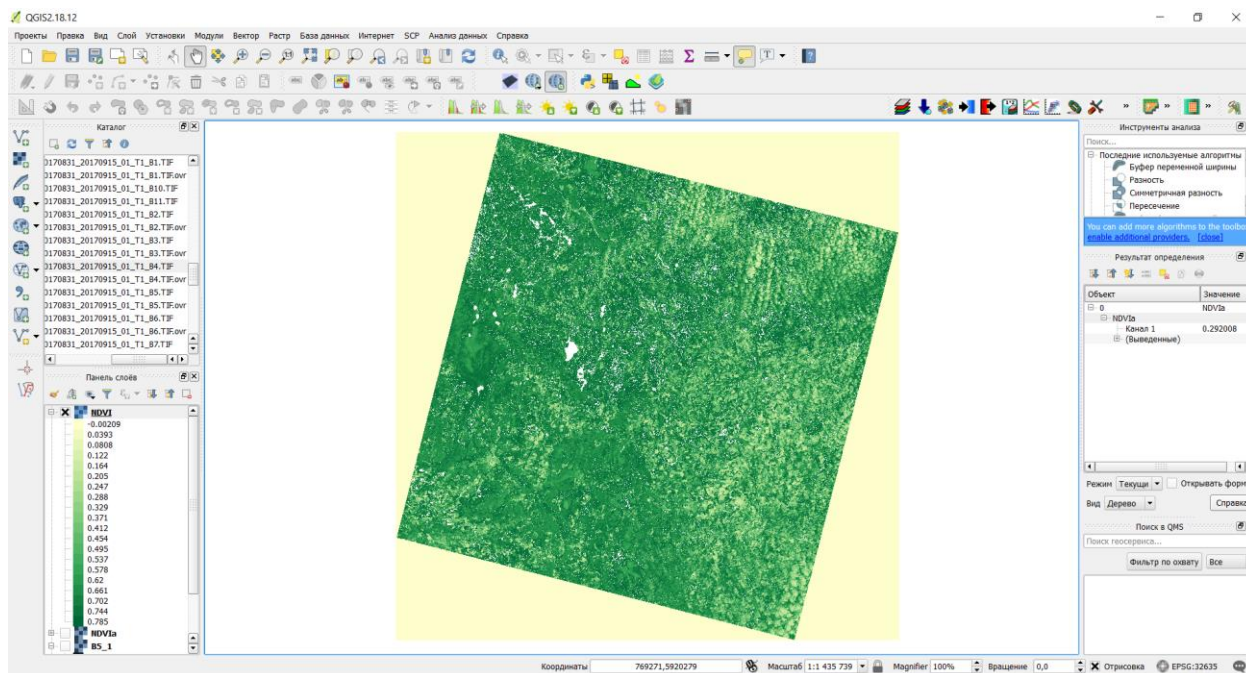


Рис. 11. Растр NDVI, рассчитанный без учета альbedo поверхности

Со времени разработки алгоритма для расчета NDVI (1973 г.) у него появилось довольно много модификаций, предназначенных для уменьшения влияния различных помехообразующих факторов: поглощение аэрозолями атмосферы (Atmospheric Resistant Vegetation Index – ARVI), отражение от почвенного слоя (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI) и др. Для расчета этих индексов используются формулы, учитывающие отношения между отражающей способностью различных природных объектов и растительностью в других диапазонах, помимо красного и инфракрасного, что делает их более сложными в применении. Существуют также индексы, основанные на NDVI, но корректирующие сразу несколько помехообразующих факторов, как, например, EVI (Enhanced Vegetation Index).

Для отображения индекса NDVI используется стандартизованная непрерывная градиентная или дискретная шкала, показывающая значения в диапазоне от -1 до 1 в % или в так называемой масштабированной шкале в диапазоне от 0 до 255 (используется для отображения в некоторых пакетах обработки ДЗЗ, соответствует количеству градаций серого), или в диапазоне 0..200 (-100..100), что более удобно, так как каждая единица соответствует 1% изменения показателя. На рис. 12 изображена дискретная шкала NDVI.



Рис. 12. Дискретная шкала NDVI

Благодаря особенности отражения в NIR-RED областях спектра, природные объекты, не связанные с растительностью, имеют фиксированное

значение NDVI, что позволяет использовать этот параметр для их идентификации. В табл. 1 приведены значения NDVI для отдельных типов объектов.

Таблица 1. Значения NDVI отдельных типов объектов

Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0,1	0,5	0,7
Разреженная растительность	0,1	0,3	0,5
Открытая почва	0,25	0,3	0,025
Облака	0,25	0,25	0
Снег и лед	0,375	0,35	-0,05
Вода	0,02	0,01	-0,25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0,3	0,1	-0,5

Как правило, для задач, связанных с картографированием растительности, используют не масштабированную оценочную шкалу, начинающуюся с 0 (значения NDVI меньше 0 растительность принимать не может). Существует устойчивая корреляция между показателем NDVI и продуктивностью различных типов экосистем (рис. 13).

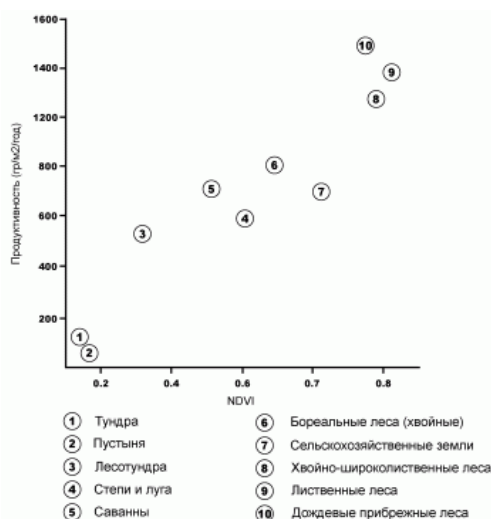


Рис. 13. Корреляция между показателем NDVI и продуктивностью различных типов экосистем

Это свойство довольно активно используется для регионального картографирования и анализа различных типов ландшафтов, при оценке ресурсов и площадей биосистем в масштабе стран и континентов. Однако чаще расчет NDVI проводится и используется на основе серии разновременных (разносезонных) снимков с заданным временным разрешением, позволяя получать динамическую картину процессов

изменения границ и характеристик различных типов растительности (месячные вариации, сезонные вариации, годовые вариации).

Будучи искусственным безразмерным показателем, NDVI предназначен для измерения эколого-климатических характеристик растительности, но в тоже время может показывать и значительную корреляцию с некоторыми параметрами из совсем другой области:

- продуктивностью фитоценозов (временные изменения);
- биомассой фитоценозов;
- влажностью и минеральной (органической) насыщенностью почвы;
- испаряемостью (эвапотранспирацией);
- объемом выпадаемых осадков;
- мощностью и характеристиками снежного покрова.

Зависимость между этими параметрами и NDVI, как правило, не прямая и связана с особенностями исследуемой территории, ее климатическими и экологическими характеристиками, кроме того, часто приходится учитывать временную разнесенность параметра и ответной реакции NDVI.

Благодаря всем этим особенностям, карты NDVI часто используются как один из промежуточных дополнительных слоев для проведения более сложных типов анализа, результатом которого могут являться карты продуктивности лесов и сельхозземель, карты типов ландшафтов, растительности и природных зон, почвенные, аридные, фито- и гидрологические, эколого-климатические карты. Так же на его основе возможно получение численных данных для использования в расчетах оценки и прогнозирования урожайности и продуктивности сельскохозяйственных и лесных культур, биологического разнообразия, степени нарушенности и ущерба от чрезвычайных ситуаций природного и антропогенного характера (торфяных и лесных пожаров, залповых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты).

Основным преимуществом NDVI является легкость его получения: для вычисления индекса не требуется никаких дополнительных данных и методик, кроме непосредственно самой космической съемки и знания ее параметров. Благодаря минимальному временному разрешению данных Landsat, вычисление NDVI на их основе может давать оперативную информацию об эколого-климатической обстановке и возможность отслеживать динамику различных параметров с периодичностью до 16 дней. А большой пространственный охват позволяет проводить мониторинг территорий, соразмерный с площадями областей и целых стран. Данные камер высокого разрешения типа Landsat, IRS, Aster позволяют следить за состоянием объектов размерами вплоть до отдельного поля или лесного выдела.

Задание 4. *Определить величину относительного вегетационного индекса (RVI) и инфракрасного вегетационного индекса (IPVI).*

Относительный вегетационный индекс (Ratio Vegetation Index, RVI), рассчитываемый по формуле (5):

$$RVI = NIR/RED \quad (5)$$

Впервые данный индекс был описан в 1968 г. Наиболее широко распространенный индекс оценки степени развития растительности. Возможные значения величины данного индекса колеблются в пределах от 0 до бесконечности. Для зеленой растительности значение RVI составляет > 1 и возрастает с увеличением нарастания объема зеленой фитомассы и сомкнутости растительности (обычно принимает значения 2–8).

Инфракрасный вегетационный индекс (Infrared Percentage Vegetation Index, IPVI), рассчитывается по формуле (6):

$$IPVI = NIR/(NIR+RED) = (NDVI+1)/2 \quad (6)$$

Впервые данный индекс был описан в 1990 г., когда было установлено, что вычитание красной компоненты из числителя (как это делается при расчете NDVI) не обязательно, что делает этот индекс более удобным с точки зрения вычислений. Индекс IPVI может принимать значения от 0 до +1, что устраняет необходимость хранить знак, так же, как и отсекает отрицательные значения индекса. Функционально IPVI и NDVI эквивалентны.

Для определенных вегетационных индексов существуют свои пороги чувствительности к разреженности растительности: RVI, NDVI, IPVI не стоит применять, если растительный покров меньше 30 %.

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. Черепанов А. С. Вегетационные индексы / А. С. Черепанов // Геоматика. – 2011. – №2. – С. 98-102.
3. Миклашевич Т. С. Метод определения фенологических характеристик растительного покрова на основе временных рядов спутниковых данных / Т. С. Миклашевич, С. А. Барталев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13. – № 1. – С. 9–24.