

## СПЕКТРАЛЬНАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ И РАПСА И ИХ ИЗОБРАЖЕНИЕ НА МАТЕРИАЛАХ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК

Ю. С. Давидович

магистрант кафедры геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, г. Минск,  
[seg98001@gmail.com](mailto:seg98001@gmail.com)

В работе изложены результаты исследований по изучению взаимосвязи спектральной отражательной способности озимого ячменя и рапса со степенью увлажнения почв и изображением их на материалах дистанционных съемок. Выполнен сравнительный анализ коэффициентов спектральной яркости озимого ячменя и рапса с нормализованным вегетационным индексом NDVI в зависимости от степени увлажненности почв.

**Ключевые слова:** материалы дистанционных съемок; спектральная отражательная способность; коэффициенты спектральной яркости; озимый ячмень; озимый рапс; увлажненность почв.

Спектрометрическая съемка – одно из самых перспективных направлений дистанционного зондирования природных ресурсов. Это связано с тем, что данный тип съемки позволяет получать количественные характеристики в виде коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) не только состава атмосферы, но и объектов земной поверхности [1].

Одним из важнейших направлений дистанционного зондирования Земли является изучение растительности. Особое внимание уделяется изучению спектральной отражательной способности (СОС) сельскохозяйственных культур и влиянию на нее различных факторов [2].

В связи с этим цель работы заключалась в изучении СОС сельскохозяйственных культур на примере озимого ячменя и рапса.

Объектом исследования в данной работе являются посевы разных стадий вегетации (озимый ячмень и рапс), а также почвы, на которых они произрастают, предметом – спектрометрическая съемка.

В исследовании использовался метод ключевых участков. Под ключевым участком следует понимать ограниченный участок территории, который отражает основное разнообразие и закономерности формирования почв и растительности в пределах конкретного ландшафта или исследуемой территории. Этот метод широко используется как при крупномасштабном, так и при среднемасштабном картографировании почв и растительности [3–4].

Ключевой участок «Щомыслица» расположен к северо-востоку от одноименного поселка (рисунок 1), между МКАД и железной дорогой Минск–Брест. Рельеф холмисто-рядовый, характеризуется преобладанием высот от 250 до 300 м. Участок представляет собой поле для выращивания различных культур. Исследования на этом участке проводились осенью в ясную безоблачную погоду.



Рисунок 1 – Космический снимок ключевого участка «Щомыслица» [5]

Почвы ключевого участка сформированы на однородных почвообразующих породах – лессовидных суглинках. На территории ключевого участка выделено четыре типа почв: дерново-подзолистые автоморфные (70,39% от общей площади), дерново-подзолистые временно-избыточно увлажненные (20,01%), дерново-подзолистые глеевые (5,98%) и дерново-подзолистые глееватые (3,62%). С увеличением степени увлажнения возрастает и влажность почв с 13,3% у дерново-подзолистых автоморфных до 22,4% у дерново-подзолистых глеевых.

Исследование СОС сельскохозяйственных культур проводилось в полевых условиях с помощью фотоспектрорадиометра ФСР-02 (спектральный диапазон 400–900 нм, разрешение 1,2–2,0 нм) [6]. Съемка производилась в надир. Устройство было подключено к мобильному телефону с помощью кабеля. В качестве эталонной поверхности для определения КСЯ использовалось молочное стекло с маркой МС-20.

Кроме того, на исследуемую территорию были получены мультиспектральные космические снимки системы PlanetScope. Созвездие спутников PlanetScope состоит из нескольких групп отдельных спутников. Созвездие из 130 спутников способно ежедневно охватывать всю земную поверхность (200 миллионов км / сутки).

В исследованиях использовались мультиспектральные изображения, полученные с помощью сенсора PS2. С помощью этого сенсора изображения могут быть получены в четырех диапазонах электромагнитного спектра: синем (455–515 нм), зеленом (500–590 нм), красном (590–670 нм) и ближнем инфракрасном (780–860 нм). Доступные для бесплатного использования материалы космической съемки имеют пространственное разрешение 3 м. Используемые мультиспектральные изображения имеют уровень обработки 3В: они прошли радиометрическую и атмосферную коррекцию [7].

Для обработки полученных данных полевых измерений использовался программный продукт MS Excel. Возможности языка программирования Python в

среде разработки Anaconda были использованы для устранения влияния вторых порядков в электромагнитном спектре. Обработка космических снимков проводилась в программных продуктах ENVI 5.6 (на технической базе НИУ «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» БГУ), SNAP Desktop и ArcGIS 10.7.

Значения КСЯ озимого ячменя в фенологической фазе формирования 2–3 листьев тесно коррелируют со степенью увлажнения почв. Из таблицы 1 и рисунка 2 видно, что ячмень, произрастающий на автоморфных почвах, имеет более высокую СОС, чем ячмень, растущий на временно-избыточно увлажненных почвах.

Таблица 1 – КСЯ озимого ячменя фенологической фазы формирования 2–3 листьев на почвах различной степени увлажнения

| Почвы                          | Спектральный диапазон, мкм |           |           |           |           |           |           |
|--------------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                | 0,40–0,45                  | 0,45–0,48 | 0,48–0,50 | 0,50–0,56 | 0,56–0,59 | 0,59–0,62 | 0,62–0,75 |
| Автоморфные                    | 7,5                        | 9,4       | 10,4      | 19,8      | 23,7      | 20,5      | 33,7      |
| Временно-избыточно увлажненные | 4,5                        | 4,8       | 5,2       | 7,7       | 9,0       | 8,7       | 11,8      |

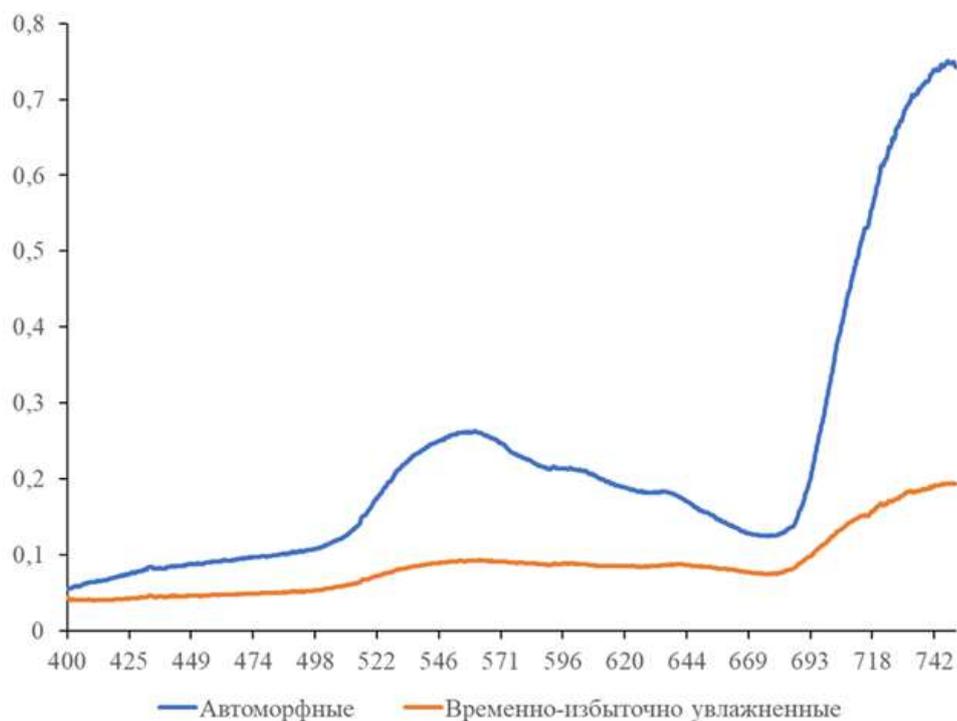


Рисунок 2 – Кривые спектральной яркости озимого ячменя в фенологическую фазу формирования 2–3 листьев на почвах различной степени увлажнения

На глеевых почвах съемка ячменя не проводилась из-за вымочки и незначительного проективного покрытия. Наибольшие различия в КСЯ ячменя данной вегетационной фазы наблюдаются в диапазонах длин волн от 522 до 596 нм (зеленая и желтая цветовая зона) и от 693 до 750 нм (красная зона).

Измерение озимого рапса проводилось недалеко от ключевого участка «Щомыслица» в пределах участка пашни, прилегающего к ул. Курчатова. Исследуемый участок представлен аналогичными типами почв. Во время проведения спектрометрической съемки рапс был в фенологической фазе формирования третьего листа. Из кривых спектральной яркости и КСЯ мы видим, что наибольшие различия в КСЯ рапса данной фенологической фазы наблюдаются в диапазонах длин волн от 522 до 571 нм (зеленая зона) и от 693 до 720 нм (красная зона) (таблица 2 и рисунок 3).

Таблица 2 – КСЯ озимого рапса фенологической фазы формирования третьего листа на почвах различной степени увлажнения

| Почвы                          | Спектральный диапазон, мкм |           |           |           |           |           |           |
|--------------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                | 0,40–0,45                  | 0,45–0,48 | 0,48–0,50 | 0,50–0,56 | 0,56–0,59 | 0,59–0,62 | 0,62–0,72 |
| Автоморфные                    | 10,1                       | 12,6      | 13,7      | 26,0      | 30,4      | 24,3      | 33,9      |
| Временно-избыточно увлажненные | 4,0                        | 4,4       | 4,4       | 9,8       | 10,5      | 7,4       | 13,0      |
| Глееватые                      | 2,6                        | 2,8       | 2,8       | 5,3       | 5,7       | 4,6       | 6,1       |

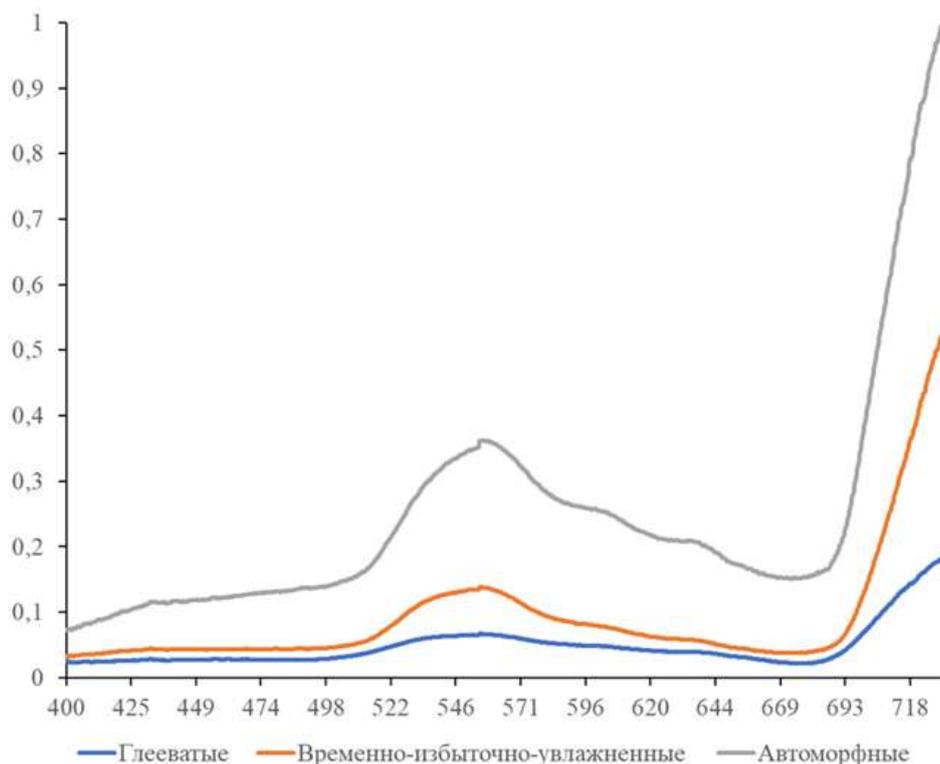


Рисунок 3 – Кривые спектральной яркости озимого рапса в фенологическую фазу формирования третьего листа на почвах различной степени увлажнения

Для оценки биопродуктивности рассмотренных сельскохозяйственных культур и корректного анализа их спектральной отражательной способности были использованы следующие индексы: NDVI, CI, GVI, DVI, GLI, PVI, BGI, SR, TSR, EVI, NDWI, а так же частные случаи NDVI и SR для длины волны 0,705 нм. Были так же рассчитаны отношения индексов MCARI, TCARI и OSAVI [8]. Од-

нако наиболее корректные результаты были получены только при использовании NDVI.

Анализ изображения, почвенной карты и цветокодированного изображения NDVI (рисунок 4) показал, что озимый ячмень визуальнo на космическом снимке в период формирования 2–3 листьев дифференцируется недостаточно. Однако контуры вегетационных индексов со значениями от 0,2 до 0,4 согласуются с отдельными контурами ячменя на почвах с различной степенью увлажнения. Для автоморфных почв соответствует вегетационный индекс 0,27, а временно-избыточно увлажненных – 0,38.

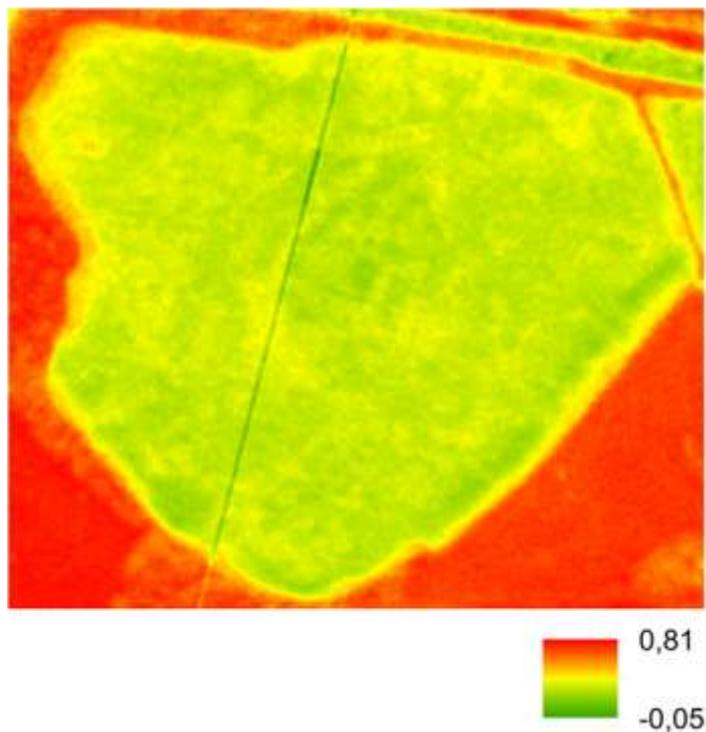


Рисунок 4 – Нормализованное вегетационное изображение NDVI озимого ячменя вегетационной фазы формирования 2–3 листьев

Озимый рапс фенологической фазы формирования 3 листа, как и озимый ячмень, на космическом снимке дифференцируется недостаточно. Для автоморфных почв соответствует вегетационный индекс 0,29, временно-избыточно увлажненных – 0,39, а глееватых – 0,51 (рисунок 5).

Более подробно и точно на снимках различного пространственного разрешения дифференцируются яровой ячмень фенологических фаз колошения и созревания, а также яровой рапс фенологической фазы формирования стручков [9–10].

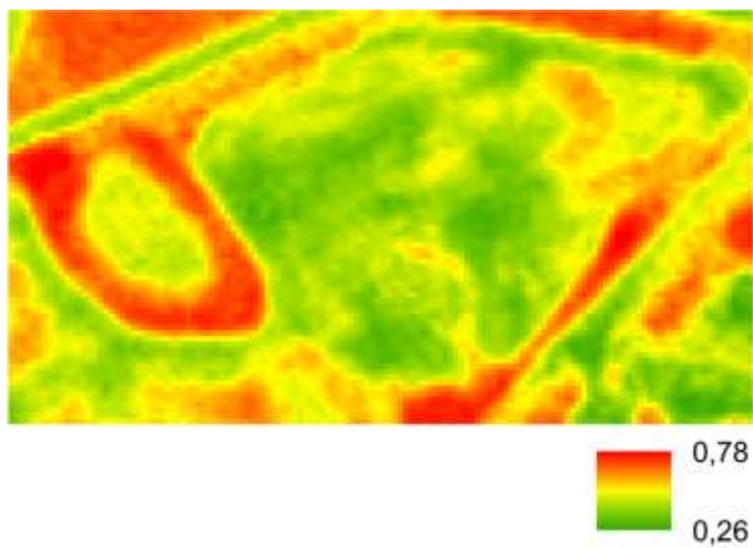


Рисунок 5 – Нормализованное вегетационное изображение NDVI озимого рапса вегетационной фазы формирования 3 листа

Собственные полевые спектрометрические исследования сельскохозяйственной растительности на примере озимого ячменя и рапса показали зависимость их СОС от влажности почв и значения нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI. Результаты исследований показывают, что КСЯ и вегетационные индексы позволяют судить не только о состоянии сельскохозяйственных культур в различные стадии вегетации, но и о почвах, на которых они произрастают.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Шалькевич Ф.Е., Жмойдяк Р.А., Топаз А.А. Составление тематических карт на основе дешифрирования аэрокосмических снимков: учебн.-метод. пособие. Минск: Изд-во БГУ, 2000. 40 с.
2. Кравцов С.Л., Голубцов Д.В., Лисова Е.Н. Анализ спектральных каналов для дистанционного мониторинга состояния растительности (по зарубежным публикациям) // Исследование Земли из космоса. 2013. №1. С. 79–91.
3. Курьянович М.Ф., Давидович Ю.С., Шалькевич Ф.Е. Дистанционная индикация мелиорированных земель Белорусского Полесья // Весці БДПУ. Серыя 3. 2021. № 1. С. 54–59.
4. Шалькевич, Ф.Е. Методы аэрокосмических исследований: курс лекций. Минск: БГУ, 2006. 161 с.
5. Давидович, Ю.С. Использование лабораторных измерений при исследовании спектральной отражательной способности сельскохозяйственных культур // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч.-практ. оч.-заоч. конф., посвящ. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 60-летию каф. физ. географии и образоват. технологий, 100-летию со дня рождения проф. О.Ф. Якушко, Минск, 24–26 марта 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; под общ. ред. П.С. Лопуха; редкол.: П.С. Лопух (гл. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2021. С. 674–679.
6. Беляев Б.И., Сосенко В.В., Хомицевич А.Д. Авиакосмические системы и технологии в дистанционном зондировании Земли // Геоматика: образование, теория и практика [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию каф. геодезии и космоаэрокартографии и 85-летию фак. географии и геоинформатики БГУ, Респ. Беларусь, Минск, 20–22 нояб. 2019 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А.П. Романкевич (отв. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2019. С. 87–90.
7. PLANET imagery product specifications. Planet Labs Inc., 2021. 100 p.

8. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. №2. С. 98–102.

9. Давидович Ю.С., Литвинович Г.С., Шалькевич Ф.Е. Изменение спектральной отражательной способности сельскохозяйственных культур в зависимости от степени увлажнения почв // Геоматика: образование, теория и практика [Электронный ресурс]: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию каф. геодезии и космоаэрокартографии и 85-летию фак. географии и геоинформатики БГУ, Респ. Беларусь, Минск, 20–22 нояб. 2019 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А.П. Романкевич (отв. ред.) [и др.]. Минск: БГУ, 2019. С. 111–114.

10. Davidovich Y. Spectral reflectivity variations of Brassica napus depending on degree of soil moisture // EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-15781. Copernicus GmbH, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-15781>.