

УДК 528.88:502.37

*Гребень А.С., Красовская И.Г**Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».*

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДИК ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗЕРНОВЫМ КУЛЬТУРАМ СТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ

Для регіонів України актуальною є задача визначення продуктивності сільськогосподарських земель та постійний моніторинг їх використання. Стаття носить оглядовий характер. На основі аналізу відомих робіт по використанню супутникових систем дистанційного зондування Землі для вирішення тематичних задач України у області сільського господарства проводиться аналіз відомих методик визначення вегетаційних признаков рослин. Розглядаються особливості визначення стану рослин і вирішуються інші задачі у області сільського господарства, підготовлений перехід до вирішення задач точного землекористування.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, вегетаційні індекси, індекси зеленості, індекси вмісту азоту.

Для регионов Украины актуальной является задача определения продуктивности сельскохозяйственных земель и постоянный мониторинг их использования. Статья носит обзорный характер. На основе анализа известных работ по использованию спутниковых систем дистанционного зондирования Земли для решения тематических задач Украины в области сельского хозяйства проводится анализ известных методик определения вегетационных признаков растений. Рассматриваются особенности определения состояния растений и решаются другие задачи в области сельского хозяйства, подготовлен переход к решению задач точного земледелия.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, вегетационные индексы, индексы зелености, индексы содержания азота.

For the regions of Ukraine is the actual task of determining the productivity of agricultural land and permanent monitoring of their use. The article is a review. On the basis of well-known work on the use of satellite remote sensing to solve the problems of Ukraine in case of agriculture the analysis of the known methods for determining vegetation characteristics of plants. The features determine the status of plants and other problems are solved in the field of agriculture, the transition has been prepared for the challenges of precision farming.

Keywords: remote sensing, vegetation index, broadband greenness, canopy Nitrogen.

Введение. Основными тематическими задачами систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в области сельского хозяйства являются: инвентаризация сельскохозяйственных угодий, контроль состояния посевов, выделение участков эрозии, заболачивания, засоленности и опустынивания, определение состава почв, слежение за качеством и своевременностью проведения различных сельскохозяйственных мероприятий, наблюдение за динамикой развития сельскохозяйственных культур и прогнозирование урожайности [3, 4].

Постановка задачи. Характерным признаком растительности и её состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн [10]. Поэтому знания о связи структуры и состояния растительности с её спектральными отражательными способностями лежат в основе решения тематических задач сельского хозяйства.

Для работы со спектральной информацией строят так называемые «индексные» изображения. На основе комбинаций значений яркости в различных спектральных каналах и расчёта по этим значениям «спектрального индекса» строятся изображения объекта, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что позволяет выделить исследуемый объект и оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для оценки состояния растительности, получили название вегетационных индексов. Вегетационные индексы выводятся имперически. В настоящее время известно около 160-ти вариантов вегетационных индексов. Они подбираются экспериментально, исходя из известных особенностей отражательной способности растительности и почв [10].

Результаты исследований.

1. Примеры расчёта и применения вегетационных индексов. Для расчёта большей части вегетационных индексов используются два наиболее стабильных участка спектральной отражательной способности растений [1, 7, 10]. На красную зону спектра (0.62-0.75 мкм) приходится максимум поглощения солнечного излучения хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0.75-1.3 мкм) максимальное отражение солнечной энергии клеточной структурой листа (Рис. 1) [5]. В связи с этим высокая фотосинтетическая активность (связанная с большой фитомассой растительности) ведёт к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной области. Отношение этих показателей друг к другу позволяет чётко отделять растительность от других природных объектов.

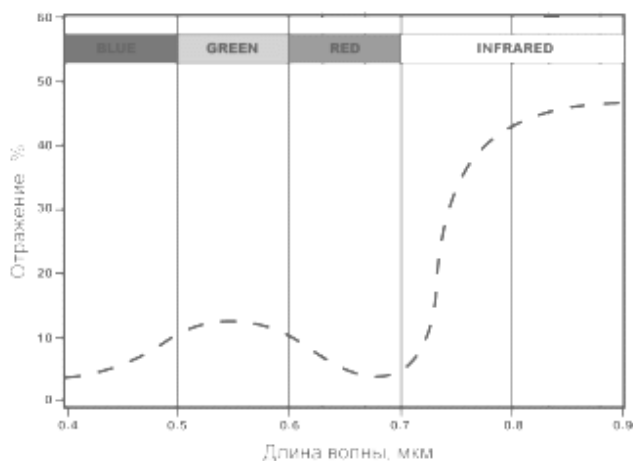


Рис. 1. Участки характеристической кривой отражения растительности (усредненной), используемые для расчета NDVI с помощью данных MODIS.

Для обработки космических снимков разработан специальный программный комплекс ENVI и специальный калькулятор вегетационных индексов ВИ ENVI, который позволяет рассчитывать 27 вегетационных индексов, используемых для оценки состояния растительности [1, 2, 5, 7, 10]. Индексы сгруппированы в категории по свойству растительности, которое они характеризуют.

Broadband Greenness (5 индексов): индексы «зелености», рассчитываемые по данным в широких спектральных зонах:

Normalized Difference Vegetation Index

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}}, \quad (1)$$

Simple Ratio Index

$$SR = \frac{P_{NIR}}{P_{RED}}, \quad (2)$$

Enhanced Vegetation Index

$$EVI = 2.5 \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + 6\rho_{RED} - 7.5\rho_{BLUE} + 1} \right) \quad (3)$$

Atmospherically Resistant Vegetation Index

$$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})}{\rho_{NIR} + (2\rho_{RED} - \rho_{BLUE})}, \quad (4)$$

SumGreenIndex

$$SGI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} - \rho_{BLUE}}. \quad (5)$$

Индексы этой группы отражают общее количество растительности и используются для оценки ее состояния при решении широкого круга задач. Они суммируют и отражают влияние таких факторов, как содержание хлорофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структура растительного покрова. Вегетационные индексы этой группы хорошо коррелируют с индексом фотосинтетически активной радиации (fAPAR) и индексом листовой поверхности (LAI). Их можно использовать при работе с любыми мультиспектральными аэрокосмическими снимками высокого, среднего или низкого разрешения, у которых есть спектральные каналы в красной (0,60 - 0,75 мкм) и ближней инфракрасной (0,75 - 1,3 мкм) зонах.

Основное назначение этих индексов – картирование растительного покрова, выявление площадей покрытых и непокрытых растительностью, оценка и мониторинг состояния растительного покрова, оценка продуктивности и урожайности.

Narrowband Greenness (7 индексов): индексы «зелености», рассчитываемые по данным в узких спектральных зонах:

Red Edge Normalized Difference Vegetation Index

$$NDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}}, \quad (6)$$

Modified Red Edge Simple Ratio Index

$$mSR_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{445}}{\rho_{705} + \rho_{445}}, \quad (7)$$

Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index

$$mNDVI_{705} = \frac{\rho_{750} - \rho_{750}}{\rho_{750} + \rho_{705} - 2\rho_{445}}, \quad (8)$$

Vogelmann Red Edge Index 1

$$VOG1 = \frac{\rho_{740}}{\rho_{720}}, \quad (9)$$

Vogelmann Red Edge Index 2

$$VOG2 = \frac{\rho_{734} - \rho_{747}}{\rho_{715} + \rho_{720}}, \quad (10)$$

Vogelmann Red Edge Index 3

$$VOG3 = \frac{\rho_{734} - \rho_{747}}{\rho_{715} + \rho_{720}}, \quad (11)$$

Red Edge Position Index

$$RedEdgePositionIndex = NDVI_{205} + mSR_{205} + VOG1_1 + VOG2 + VOG3. \quad (12)$$

Индексы этой группы также отражают общее количество и состояние растительности. Все, сказанное для предыдущей группы индексов (Broadband Greenness), справедливо и здесь. Отличие в том, что для расчетов этих индексов используются значения коэффициентов отражения на участке спектра от 0,690 до 0,750 мкм, т. е. рассматривается область ближнего инфракрасного склона спектральной кривой растительности (red edge).

Использование значений коэффициентов отражения в узких спектральных зонах позволяет с помощью индексов фиксировать даже небольшие изменения состояния растительности. Расчет индексов возможен только по гиперспектральным аэрокосмическим снимкам.

Light Use Efficiency (3 индекса): индексы эффективности использования света:

Photochemical Reflectance Index

$$PRI = \frac{\rho_{531} - \rho_{570}}{\rho_{531} + \rho_{570}} \quad (13)$$

Structure Insensitive Pigment Index

$$SIPi = \frac{\rho_{800} - \rho_{445}}{\rho_{800} + \rho_{680}} \quad (14)$$

Red Green Ratio Index

$$RGI = \frac{\rho_{green}}{\rho_{red}} \quad (15)$$

Индексы этой группы отражают эффективность, с которой растительность способна использовать поступающий свет для фотосинтеза. Они хорошо коррелируют с эффективностью усвоения углерода и с активностью роста, а также тесно связаны с поглощением фотосинтетически активной радиации.

Вегетационные индексы учитывают соотношение между различными типами пигментов для оценки общей эффективности использования света. Индексы помогают оценить рост и продуктивность растений, что актуально при решении сельскохозяйственных задач.

Canopy Nitrogen (1 индекс): индекс содержания азота в растительном покрове:

Normalized Difference Nitrogen Index

$$NDNI = \frac{\log\left(\frac{1}{\rho_{1510}}\right) - \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}{\log\left(\frac{1}{\rho_{1510}}\right) + \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)} \quad (16)$$

Этот индекс отражает концентрацию азота в растительном покрове. Азот входит в состав белков, хлорофилла и многих других органических соединений. Высокие концентрации обычно наблюдаются в быстрорастущей растительности. При азотном голодании листья приобретают бледно-зеленую окраску, мельчают, уменьшается ветвление побегов. При избытке азота усиливается рост, ткани образуются рыхлые, цветение задерживается. Вегетационные индексы, чувствительные к хлорофиллу, часто одновременно отражают содержание азота. Для расчета относительного содержания азота в растительном покрове используется средний инфракрасный диапазон (SWIR).

Dry or Senescent Carbon (3 индекса): индексы содержания углерода в виде лигнина и целлюлозы:

Normalized Difference Lignin Index

$$NDLI = \frac{\log\left(\frac{1}{\rho_{1754}}\right) - \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}{\log\left(\frac{1}{\rho_{1754}}\right) + \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)} \quad (17)$$

Cellulose Absorption Index

$$CAI = 0.5(\rho_{2000} + \rho_{2200}) - \rho_{2100} \quad (18)$$

Plant Senescence Reflectance Index

$$PSRI = \frac{\rho_{680} - \rho_{500}}{\rho_{750}} \quad (19)$$

Эти индексы разработаны для учета общего количества «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы. Такой углерод в больших количествах присутствует в древесине и в мертвых или сухих растительных тканях. Увеличение этих показателей может отражать процесс «старения» и отмирания растений. Для расчета относительного содержания азота в растительном покрове используется средний инфракрасный диапазон (SWIR).

Эти индексы широко используются при оценке пожароопасности на территории.

Leaf Pigments (4 индекса): индексы содержания пигментов – каротиноиды и антоцианины:

Carotenoid Reflectance Index 1

$$CRI1 = \left(\frac{1}{\rho_{510}} \right) - \left(\frac{1}{\rho_{550}} \right), \quad (20)$$

Carotenoid Reflectance Index 2

$$CRI2 = \left(\frac{1}{\rho_{510}} \right) - \left(\frac{1}{\rho_{700}} \right), \quad (21)$$

Anthocyanin Reflectance Index 1

$$ARI1 = \left(\frac{1}{\rho_{550}} \right) - \left(\frac{1}{\rho_{700}} \right), \quad (22)$$

Anthocyanin Reflectance Index 2

$$ARI2 = \rho_{800} \left[\left(\frac{1}{\rho_{550}} \right) - \left(\frac{1}{\rho_{700}} \right) \right]. \quad (23)$$

Индексы этой группы оценивают пигменты, характерные для растений в состоянии стресса. К ним относятся каротиноиды и антоцианины, которые наблюдаются в значительных количествах у угнетенной растительности. Индексы не учитывают хлорофилл, так как он измеряется с использованием индексов «зелености». Областями применения индексов Leaf Pigments является сельское хозяйство (мониторинг состояния полей и оценка урожайности), а также выявление участков растительного покрова, находящихся в стрессовом состоянии.

Часто индексы могут показать стрессовое состояние растительности еще до того, как оно будет заметно «невооруженным глазом». Для их расчета используются данные в узких спектральных зонах видимого диапазона.

Canopy Water Content (4 индекса): индексы для оценки содержания влаги в растительном покрове:

Water Band Index

$$WBI = \frac{\rho_{900}}{\rho_{970}}, \quad (24)$$

Normalized Difference Water Index

$$NDWI = \frac{\rho_{857} - \rho_{1241}}{\rho_{857} + \rho_{1241}}, \quad (25)$$

Moisture Stress Index

$$MSI = \frac{\rho_{1599}}{\rho_{819}}, \quad (26)$$

Normalized Difference Infrared Index

$$NDII = \frac{\rho_{819} - \rho_{1649}}{\rho_{819} + \rho_{1649}}. \quad (27)$$

Эти индексы разработаны для оценки содержания влаги в растительном покрове. Содержание воды – важный показатель, высокое содержание влаги характерно для здоровой растительности, которая быстрее растет и более устойчива к пожарам. Для расчетов индексов используется ближний и средний инфракрасный диапазоны. Индексы

широко применяются при оценке пожароопасности на территории вместе с индексами группы Dry or Senescent Carbon.

Каждая из перечисленных групп индексов предназначена для оценки какого-либо из свойств растительного покрова и содержит несколько индексов. Для конкретных природных условий и различных задач одни индексы из группы могут дать более точные результаты, чем другие. Сравнивая результаты расчетов индексов с полевыми данными, можно выбрать индекс, максимально точно отражающий исследуемое свойство. Таким образом существенно повышается точность результатов при последующей обработке.

Наиболее популярный и часто используемый индекс - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный разностный индекс растительности, впервые был описан Rouse В.Ј. в 1973 г. – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. Проанализировав перечень вегетативных индексов и их параметров мы также пришли к выводу, чтобы использовать для наших дальнейших исследований вегетативный индекс NDVI.

По снимкам, где есть только красная и ближняя инфракрасная спектральные зоны, можно рассчитать только два индекса – NDVI и RVI.

Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) характеризует плотность растительности, что позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Индекс рассчитывается как разность значений коэффициентов отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра (таблица 1) [5], делённая на их сумму. В результате значения NDVI меняются в диапазоне от -1 до 1.

Известно [1, 2, 5, 7], что для зелёной растительности, отражения в красной области спектра всегда меньше чем в ближней инфракрасной за счёт поглощения света хлорофиллом. Поэтому значение NDVI для растительности не могут быть меньше нуля.

Таблица 1

Значения коэффициента отражения для различных типов объектов

Тип объекта	Коэффициент отражения в красной области спектра	Коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0,1	0,5	0,7
Разряженная 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

Расчёт индекса для каждого пиксела космического снимка по красной и ближней инфракрасной спектральным зонам позволяет получить производное изображение – карту NDVI (рис. 2).



Рис. 2. Карта NDVI

NDVI позволяет выявить проблемные зоны угнетённой растительности, давая возможность принимать решения, направленные на повышение урожайности. Участки с различным состоянием растительности или объёмом зелёной фитомассы изображаются на карте NDVI различными цветами (рис. 2) [5]. Путём статистической обработки карт NDVI, кроме определения количества фитомассы, можно также выделить площади посева различных сельскохозяйственных культур. NDVI является интегральным показателем развития растительности, общепринятым индикатором «зелёного в отражённом от поверхности земли солнечного излучения».

На территории земной поверхности, не покрытой облачностью, NDVI есть индикатором участков с зелёной растительностью. NDVI рассчитывается как отношение разности яркости пикселей изображения в инфракрасном (ИК) и красном (К) диапазонах спектра к их сумме:

$$NDVI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}} \quad (28)$$

При этом, чем большее значение данного индекса, тем более яркой является растительность.

Расчёт NDVI территории Украины с использованием информации спектрорадиометра КА NOAA проводился по формуле [2]:

$$NDVI = \frac{2K - 1K}{1K + 2K}, \quad (29)$$

где 1 канал – видимый диапазон (длина волны 0,58 – 0,68 мкм),

2 канал – видимый диапазон (длина волны 0,725 – 1,1 мкм).

Ниже на рис. 3 приведена тематическая карта, которая наглядно демонстрирует распределение NDVI в период вегетации растительности на территории Украины в 2007 году [8].

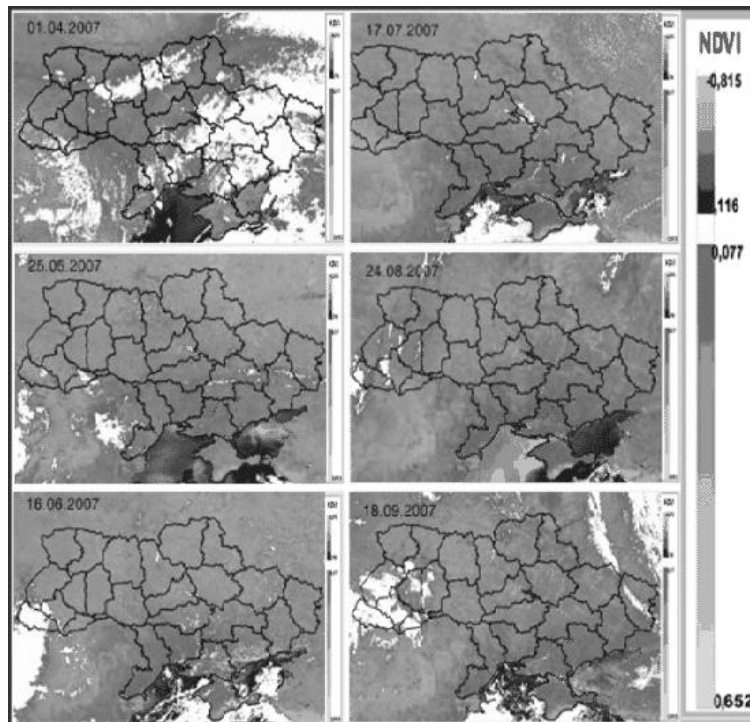


Рис. 3. Индекс вегетации растительности на территории Украины за 2007 г.

На рис. 4 приведены сравнительные характеристики нормализованного вегетационного индекса на территории Украины за период весна – осень 2002 – 2007г. [8].

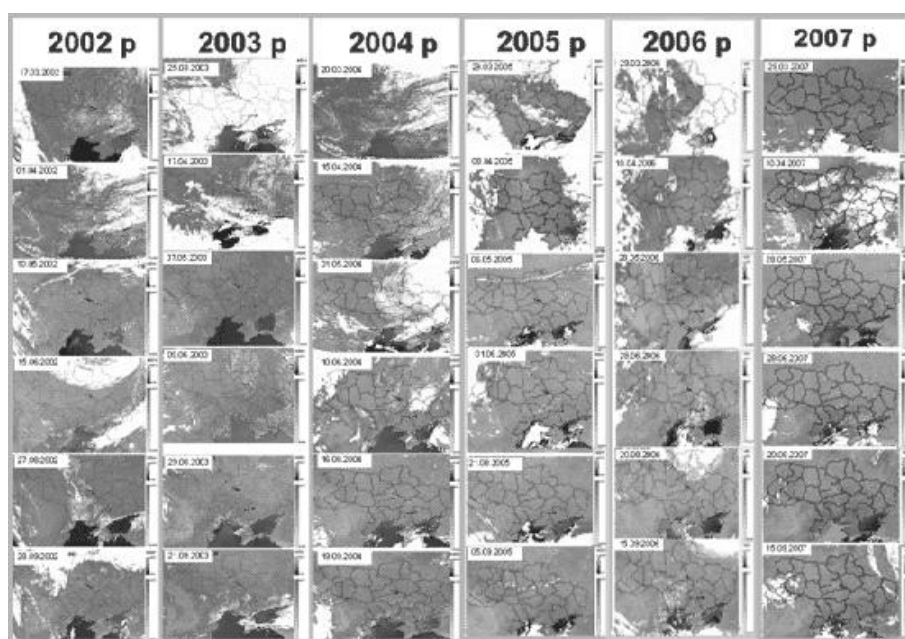


Рис. 4. Сравнительные характеристики нормализованного вегетационного индекса (NDVI) на территории Украины за период весна-осень 2002-2007г.

Динамика сезонного изменения NDVI позволяет оценивать состояние растений в разных фазах развития.

Для оценки прироста биомассы растений в [5] на основании NDVI рассчитывался относительный показатель развития растительности K_{veg} :

$$K_{veg} = \frac{S_{расл}}{S_{суша}}, \quad (30)$$

где $S_{суша}$ – все пиксели в диапазоне 0,007 – 0,2 NDVI (суша),

$S_{расл}$ – все пиксели в диапазоне 0,2 – 0,6 NDVI (растительность).

Результаты расчёта относительного показателя развития растительности K_{veg} в Украине за 2002 – 2007 года сведены в таблице 2 [8] и отражены на диаграмме (рис. 5) [8].

Таблица 2

Результаты расчета K_{veg} в Украине за 2002-2007 года

Украина. K_{veg} .						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Март	0,081	0,011	0,02	0,12	0,09	0,19
Апрель	0,181	0,11	0,21	0,29	0,55	0,61
Май	6,96	2,01	4,12	6,1	6,28	5,83
Июнь	8,06	6,24	6,14	10,14	6,41	6,84
Июль	10,11	11,01	9,3	12,8	10,54	10,2
Август	4,01	2,96	8,1	10,6	8,6	7,92
Сентябрь	2,01	1,11	1,5	8,4	8,11	6,64
Октябрь	0,77	0,48	0,66	0,89	0,97	0,95



Рис. 5. Диаграмма зависимости Kveg от времени в вегетационный период в Украине за 2002-2007 года

Анализируя зависимость Kveg от времени в вегетационный период в Украине за 2002 – 2007 г., можно сделать вывод, что самый большой прирост зелёной биомассы был в 2005 г. А значит и урожай сельскохозяйственных растений в 2005 г. прогнозировался наиболее высоким, в сравнении с другими годами, и эти прогнозы сбылись. Урожай озимой пшеницы и многих сельскохозяйственных культур в 2005 г. были наивысшими [8].

2 Определение засухи. В 2007 г. были проведены работы по мониторингу поверхности территории Украины на предмет определения засушливых зон с помощью данных дистанционного зондирования Земли [8]. Засуха - наиболее неблагоприятное природное воздействие на сельскохозяйственное производство. Раннее выявление этого воздействия позволяет уменьшить последствия засухи. На тематической карте (рис. 6) [8] показано состояние влагосодержания почвы на территории Украины.



Рис. 6. Карта влагосодержания почвы на территории Украины за 23 мая 2007 года по данным КА Terra (MODIS)

Красными оттенками показаны участки местности, наиболее пострадавшие от засухи в мае 2007г.

В качестве примера наиболее пострадавших от засухи областей Украины на рис. 7 приведена тематическая карта Херсонской области [8]. Тёмно-коричневыми оттенками показаны участки местности, которые имеют наименьшее влагосодержание.

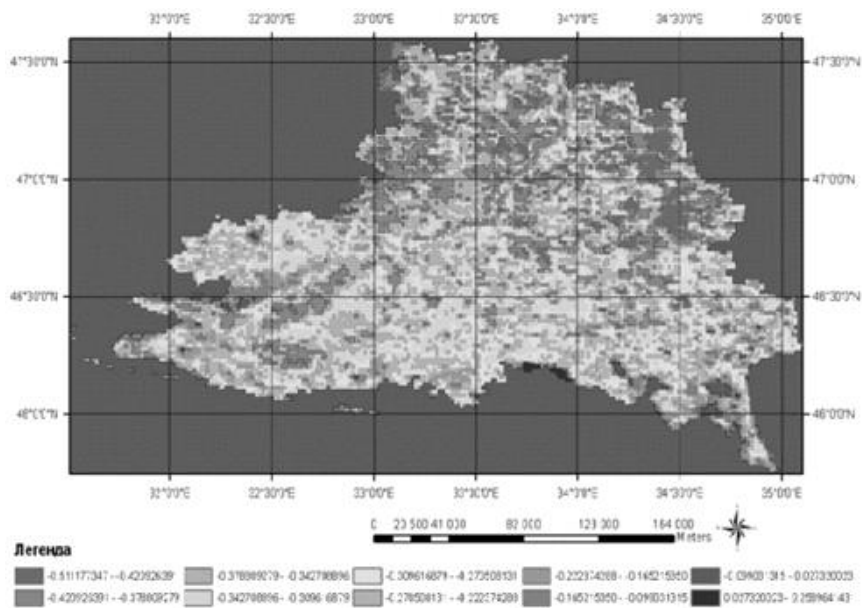


Рис. 7. Влагосодержание почвы на территории Херсонской области за 23 мая 2007 года по данным КА NOAA.

3 Определение типов грунтов. Областными управлениями «Облдержродючість» Волынской, Хмельницкой и Ровенской областей проводились исследования возможности использования данных космической съёмки для определения типов грунтов и создания картосхем (рис. 8, 9) [8].



Рис. 8. Выделение классов по индексу вегетации на тестовом участке по данным КА Landsat

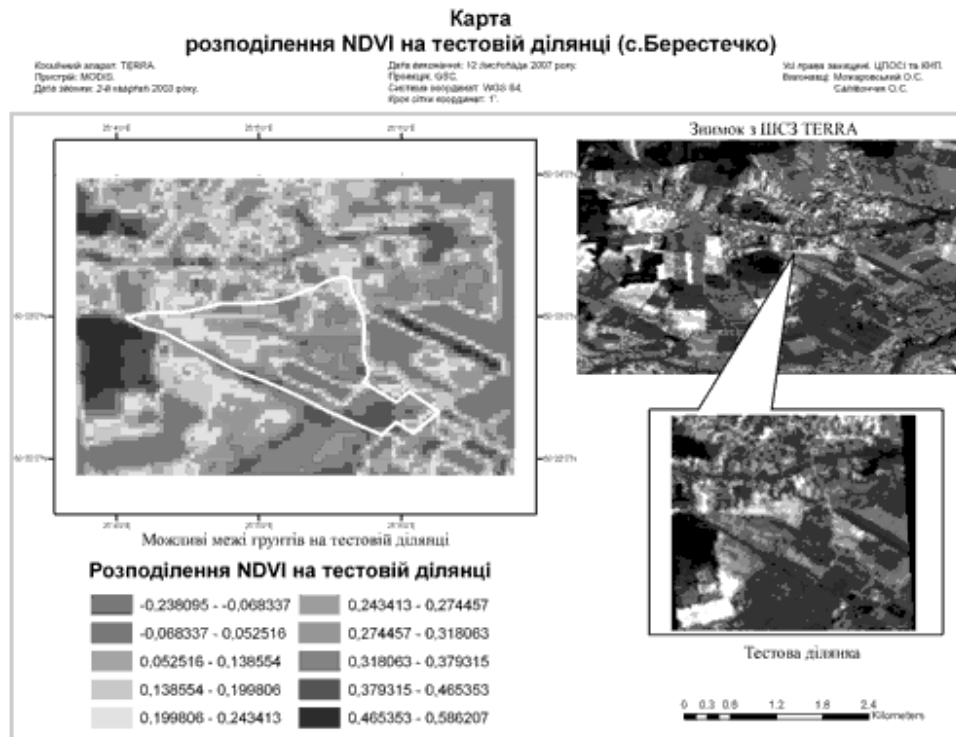


Рис. 9. Выделение классов по индексу вегетации на тестовом участке по данным КА TERRA(MODIS)

Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью. Индекс умеренно чувствителен к изменениям почвенного фона, кроме случаев, когда густота растительного покрова ниже 30%. Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности индекс обычно принимает значения от 0,2 до 0,8.

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм) [6]. Алгоритм расчета NDVI встроен практически во все распространенные пакеты программного обеспечения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования (таблица 3).

Таблиця 3

Комбинации каналов камер спутников используемые для расчета NDVI

Космический аппарат/Прибор	Используемые каналы (длина волны)	Пространственное разрешение
NOAA/AVHRR	1 (0.58-0.68 мкм), 2 (0.72-1.0 мкм)	1100 м.
Terra(Aqua)/MODIS	1 (0.62-0.67 мкм), 2 (0.841-0.876 мкм)	250 м.
Landsat(4)/MSS	5 (0.6-0.7 мкм), 6 (0.7-0.8 мкм) или 7 (0.8-1.1 мкм)	30 м.
Landsat(5)/TM	3 (0.63-0.69 мкм), 4 (0.76-0.90 мкм)	30 м.
Landsat7/ETM+	3 (0.63-0.69 мкм), 4 (0.75-0.90 мкм)	30 м.
EO-1 (Hyperion, ALI)	4 (0,630-0,690 мкм) 5 (0,775-0,805 мкм)	30 м.
Resourcesat-1 (IRS-P6)/LISS-4/LISS-3/AViFS	2 (0,62-0,68 мкм) 3 (0,77-0,86 мкм)/3 (0,62-0,68 мкм) 4 (0,77-0,86 мкм)/3 (0,62-0,68 мкм) 4 (0,77-0,86 мкм)	5,8 м./23,5 м./50-70 м.
IRS(1C/1D)/LISS	2 (0.62-0.68 мкм), 3 (0.77-0.86 мкм)	23,5 м.
SPOT 2, 4	2 (0.61 – 0.68 мкм), 3 (0.78 – 0.89 мкм)	20 м.
Монитор-Э	3 (0,626-0,672 мкм) 4 (0,783-0,883 мкм)	20 м.
СBERS-1, 2/CCD	3 (0,63 - 0,69 мкм) 4 (0,77 - 0,89 мкм)	20 м.
Terra/ASTER	2 (0.63-0.69 мкм), 3 (0.76-0.86 мкм)	15 м.
THEOS	3 (0.62-0.69 мкм) 4 (0.77-0.90 мкм)	15 м.
SPOT 5	2 (0.61 – 0.68 мкм), 3 (0.78 – 0.89 мкм)	10 м.
ALOS/AVNIR	3 (0.61-0.69 мкм) 4 (0.76-0.89 мкм)	10 м.
Formosat-2	3 (0,63-0,69 мкм) 4 (0,76-0,90 мкм)	8 м.
RapidEye	3 (0,63-0,685 мкм) 5 (0,76-0,85 мкм)	5 м.
Kompsat-2	3 (0,63-0,69 мкм) 4 (0,76-0,90 мкм)	4 м.
OrbView-3	3 (0,625-0,695 мкм) 4 (0,76-0,90 мкм)	4 м.
Ikonos	3 (0.63 - 0.70 мкм), 4 (0.76 - 0.85 мкм)	3,2 м.
Quickbird	3 (0.63 - 0.69 мкм), 4 (0.76 - 0.9 мкм)	2,44 – 2,88 м.
Ресурс-ДК	2 (0,60-0,70 мкм) 3 (0,70-0,80 мкм)	2 - 3 м.
WorldView-2	5 (0,63-0,69 мкм) 7 (0,77-0,89 мкм)	1,84 м.
GeoEye-1	3 (0,66 – 0,69 мкм) 4 (0,78 – 0,92 мкм)	1,65 м.

4. Использование карт вегетационных индексов, полученных по космическим снимкам. Как известно, отражение растительного покрова в красной и ближней инфракрасной областях электромагнитного спектра тесно связано с его зеленой фитомассой. Для того чтобы количественно оценить состояние растительности, широко применяется индекс NDVI. NDVI характеризует также плотность растительности, позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий (рис. 10).



Рис. 10. Значения NDVI и соответствующие им типы растительного покрова.

5. Мониторинг сельскохозяйственных территорий с использованием космических снимков среднего и высокого разрешения со спутников TERRA, AQUA,

LANDSAT, IRS. Спутники Terra и Aqua позволяют получать информацию на обширные территории в тысячи квадратных километров дважды в день, что способствует оперативной оценке сельскохозяйственных угодий в масштабах 1:350000–1:1000000 [2].

Спутники Landsat и IRS позволяют получать детализированную информацию с частотой 2 раза в месяц и проводить исследования территории в масштабном ряду 1:15000–1:300000 [2].

Мониторинг сельскохозяйственных территорий:

- 1) Октябрь–март:
 - Изучение динамики снежного покрова;
 - Оценка влагонакопления;
 - Оценка паводковой ситуации;
 - Оценка готовности угодий к следующему сезону.
- 2) Апрель–май:
 - Определение площади пашни, занимаемой озимыми культурами;
 - Определение площади земель без осенней послеуборочной обработки почвы;
 - Оценка состояния озимых культур для выявления и определения площади ареалов деградированных и погибших озимых;
 - Определение площади земель, на которых проведены инженерно- мелиоративные мероприятия. Оценка качества проведения осушительной мелиорации;
 - Определение площади земель, занятых сельскохозяйственными культурами;
 - Определение степени увлажнения почв;
 - Определение температуры поверхности.
- 3) Июнь–июль:
 - Определение площади земель под зерновыми, пропашными и техническими культурами;
 - Оценка состояния всходов культур;
 - Выявление очагов повышенной засоренности зерновых культур;
 - Определение площади паров (пары — поля, не занятые сельскохозяйственными культурами, находящиеся в стадии восстановления);
 - Оценка степени засоренности паров. Определение площади паров, требующих проведения противосорняковых мероприятий;
 - Выявление очагов поражения зерновых культур вследствие стихийных явлений (град, ливни, ураганы, засуха, пожары);
 - Динамика сенокосных работ. Определение площади скошенных сенокосных угодий;
 - Оперативная оценка состояния растительности, оценка фитомассы урожая;
 - Проведение работ по определению участков, требующих внесения удобрений и ядохимикатов в почву для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур;
 - Мониторинг и оценка качества оросительных работ;
 - Прогнозирование и предварительная оценка урожайности.
- 4) Август–сентябрь:
 - Мониторинг уборочных работ;
 - Оценка готовности угодий к следующему сезону.

Космические снимки высокого разрешения позволяют решать задачи исследования гидрологического режима почв, установления источников и границ обводнения, выделения (по косвенным признакам) ареалов распространения различных видов растений. Данные дистанционных измерений помогают следить за состоянием естественных угодий, пастбищ и сенокосов, выявлять и контролировать развитие эрозионных процессов и вырабатывать противоэрозионные мероприятия.

6. Объект исследования. Объектом дальнейшего исследования планируется избрать степную зону Украины [9], которая протянулась с юго-запада на северо-восток украинских территорий, от низовой реки Дунай до южных отрогов Среднерусской возвышенности на расстояние свыше 1000 километров. Ширина степной зоны меняется от 105 км на западе до 310 км на востоке. На долготе Перекопского перешейка ширина степи достигает 450 км. В степной зоне Украины расположены следующие области: Запорожская, Днепропетровская, Одесская, Херсонская, Николаевская, Луганская и Донецкая. Площадь степной зоны Украины составляет 245 тыс. квадратных километров, или 41 % территории страны.

Рельеф украинских степей равнинный, но неоднородный. Юго-западную, центральную и северокрымскую зону занимает слаборасчлененная неглубокими балками, местами плоская Причерноморская низменность. На востоке она переходит в узкую волнистую Приазовскую низменность.

Украинские степи расположены на четырех различных по строению геоморфологических уровнях: донецком, приднепровском, бугско-днепровском и причерноморском. Строение каждого уровня, их высоты, особенности форм поверхности и их генетическое разнообразие, глубина расчленения определяются неотектоническими движениями и своеобразным сочетанием экзогенных процессов.

Климатические условия степей Украины мягче, чем в степях Восточной Евразии. В степной зоне равнинной части Украины наибольшие тепловые ресурсы, самый продолжительный вегетационный период, самая малая увлажненность.

Средняя температура января от 2 до 9 градусов ниже нуля, июля +20...+24°C. Безморозный период продолжается 220 дней на западе зоны, 150 — на северо-востоке, вегетационный период (время для роста растений) длится 210—245 дней. Годовая сумма осадков изменяется от 450 мм на севере зоны до 350—300 мм в Причерноморье. Максимум осадков выпадает в первой половине лета. Вместе с тем часты весенне-летние засухи, особенно на юго-востоке зоны. Снежный покров неустойчивый, зимой обычны оттепели.

Степная зона Украины — это одна из признанных житниц Европы. Пахотные земли составляют около 75 % ее земельного фонда. Здесь выращивают зерновые, главным образом озимую пшеницу, кукурузу, в южных районах — рис. Из технических культур преобладают подсолнечник, соя, клещевина, лекарственные и эфиромасличные травы (кориандр, шалфей, лаванда). На северо-западе зоны, в северных степях выращивают сахарную свеклу. Украинские степи богаты природными ресурсами — ценными ископаемыми, равнинными землями, плодородными почвами, южным теплом и светом, пресными водами крупных рек. Это реальные предпосылки для развития народного хозяйства на промышленной основе с последовательным преодолением неблагоприятных природных условий [9].

Таким образом в дальнейшем планируется производить анализ и планирование плодородия зерновых культур в степной зоне Украины (а именно, Донецкой и Луганской областях) при помощи данных космического мониторинга Земли украинским спутником «Січ-2» путём анализа вегетативного индекса NDVI.

Выводы. Главным преимуществом вегетационных индексов является надёжность и лёгкость их получения, а также широкий диапазон решаемых с их помощью задач. Вегетационный индекс NDVI является основным инструментом при проведении более сложных типов анализа, результатом которых являются тематические карты сельскохозяйственных земель. Недостатками использования NDVI индекса являются:

- невозможность использования данных, не прошедших этап радиометрической коррекции (калибровки);
- наличие погрешностей, вносимых погодными условиями, сильной облачностью и дымкой;

• ограничение по использованию съёмки только временем сезонной вегетации для исследуемого региона.

Указанные недостатки определяют направления для дальнейших исследований. Индекс NDVI в дальнейшем планируется использовать для решения задач точного земледелия в регионе Донецкой и Луганской областей при использовании космических снимков от украинского спутника «Січ-2».

Литература

1. В.Н. Антонов. Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ / В.Н. Антонов, Л.А. Сладких. – М.: «Проспект», Геоматика №4, 2009. – 115с., с. 50-53.
2. Вегетационные индексы. Основы, формулы, практическое использование / MapExpert http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news - 30.12.2011.
3. Гарбук С.В. Космические системы дистанционного зондирования земли // С.В.Гарбук, В.Е. Гершензон – М. : Издательство АИБ, 1997. – 296с.
4. Гарбук С.В. Изображение земли из космоса: Примеры применения / С.В. Гарбук. - М.:ИТЦ СканЭкс, 2005. - 100с.
5. Зерновое сельское хозяйство – вид из космоса / R&D Center ScanEx http://www.scanex.ru/ru/data/Applications_ScanEx_p19-31.pdf – 28.12.2011.
6. Красовский Г.Я. Введение в методы космического мониторинга окружающей среды / Г.Я. Красовский, В.А. Петросов – Х.: ХАИ, 1999. – 206с.
7. Н. Кукуль. Оценка состояния растительности и прогнозирование урожайности озимых культур Украины по спутниковым данным / Н. Кукуль, Н. Ильин, С. Скакун, А. Лавренюк. – К.: Институт космических исследований НАНУ-НКАУ, 2005. – 25с.
8. Применение данных ДЗЗ в сельском хозяйстве / ЦПОСІ та КНП http://dzz.gov.ua/CPOSI/style/page_2/print_ru.php?id=26&table=info – 5.01.2012.
9. Степная зона Украины / Smotret-Mir.Ru <http://smotret-mir.ru/ukraina/stepnaya-zona-ukrainy.html> - 12.02.2012.
10. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина. – М.: «Проспект», Геоматика №3, 2009. – 104с., с. 28-32.

Поступила в редакцію 23 квітня 2012 р.

Рекомендував до друку д.т.н., проф. Г.Я. Красовський