

Вегетационный индекс NDVI в оценке зерновых культур опытных полей Пермского НИИСХ

*Д.С. Фомин, к.с.-х.н., А.Н. Чашин, к.б.н.,
ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ*

Ежегодно в России на территории не только Черноземья, но и Предуралья ведущие сельскохозяйственные предприятия, агрохолдинги всё больше внедряют элементы точного земледелия в свой производственный процесс [1]. Значительную роль при этом имеют наблюдения за состоянием посевов в течение вегетационного периода по аэрофотоснимкам или космоснимкам. Получаемые в результате обработки таких снимков спектральные индексы достоверно отражают состояние посевов на полях хозяйства. Наиболее достоверным и распространённым спектральным индексом является NDVI (normalized difference vegetation index) – нормализованный разностный вегетационный индекс [2–4]. Исследования возможности оценки по вегетационному индексу (ВИ) NDVI состояния посевов, а также показателей, характеризующих растения, активно ведутся за рубежом, в центральных районах России [5, 11, 12]. На территории Пермского края исследования

информативности NDVI выполняются в основном при оценке лесных ресурсов [6], а работ по NDVI возделываемых сельскохозяйственных культур крайне мало [7, 8]. Использование спутниковых данных в растениеводстве является актуальным и инновационным направлением развития аграрной науки в Среднем Предуралье. Исследования возможностей спутниковых данных именно на примере опытных полей Пермского НИИСХ позволяют выявить взаимосвязь NDVI не только с урожайностью, но и с рядом качественных показателей (содержание хлорофилла, белка в растениях и т.д.), а также условий проводимых опытов.

Цель настоящего исследования – оценить посевы зерновых на опытных полях Пермского НИИСХ ПФИЦ УрО РАН по вегетационному индексу NDVI.

Материал и методы исследования. Исследовали поля на территории Пермского НИИСХ в 2016 году. Всего было изучено 24 поля. Произрастающими зерновыми культурами в 2016 г. являлись: ячмень (сорт Родник Прикамья), озимая рожь (сорт Фаленская 4), яровая пшеница (сорта Горноуральская, Баженка), овёс (сорт Стайер).

Создание индексных карт NDVI выполнено на основе мультиспектральных снимков серии Landsat 8 с помощью калькулятора растров в программе QGIS. Использовалась традиционная формула вычисления индекса NDVI [4]:

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

где *NIR* – отражение в ближнем инфракрасном канале снимка;

RED – отражение в красном канале снимка.

Для снимков серии Landsat 8 значения красного канала содержатся в четвёртой сцене, а ближнего инфракрасного – в пятой. С целью рационального использования цифровой памяти остальные сцены снимка удалялись после распаковки архива, полученного с earthexplorer.usgs.gov [9]. Всего было обработано четыре снимка, которые отображают вегетационный период 2016 г. по датам: 24 мая, 2 июня, 4 июля, 3 августа. Выбор дат съёмки обусловлен наименьшей облачностью. После визуализации в QGIS снимки были обрезаны по маске оцифрованных полей, изображённых на рисунке 1.

Для наглядности индексной карты NDVI полученное изображение классифицировано на 10 классов в цветах от красного до зелёного (цветовая схема RdYIGn). Статистическая обработка NDVI по исследуемым полям выполнена с помощью встроенного в ГИС-программу QGIS модуля «Зональная статистика». Расчёт коэффициентов корреляции урожайности и NDVI выполнен в Microsoft Office Excel.

Результаты исследования. Индексные карты NDVI полей Пермского НИИСХ наглядно отражают динамику изменения биомассы зерновых и их биологические особенности. Из четырёх полученных индексных изображений наибольшая степень вегетации отмечалась 4 июля 2016 г. Карта NDVI на эту дату приведена в качестве примера на рисунке 2. По рисунку видно, что наибольшей биомассой среди зерновых обладает ячмень, а наименьшей – озимая рожь. Следует отметить, что на отдельных полях NDVI оказался очень низким: яровая пшеница сорта Баженка полей 38, 39 – всего 0,14; озимая рожь сорта Фаленская 4 полей 63, 64, 65 – 0,23; ячмень поля 3 – 0,25.

В течение вегетационного периода 2016 г. динамика NDVI посевов, построенная по четырём мультиспектральным снимкам, чётко отражает прирост и изменение биомассы растений. Карты NDVI показаны на рисунке 3.

Визуальная оценка динамики ВИ позволяет отметить, что посеvy яровой пшеницы сорта Баженка на поле 3 показали по первым двум наблюдениям наиболее высокие значения NDVI. Ячмень и яровая пшеница имеют повышенную величину биомассы только в начале июля. Индекс NDVI на 3 августа наглядно иллюстрирует красными тонами убранные поля пшеницы (38, 39, 15–18, 7–9). На представленных индексных картах NDVI поля имеют пространственную неоднородность внутри границ. Это обуславливается условиями проведения опытов, неоднородностью почв, рельефом и другими факторами. Для количественной оценки неоднородности NDVI по пикселям в границах



Рис. 1 – Объекты исследования

полей были рассчитаны показатели зональной статистики: среднее, медиана, стандартное отклонение, мин.-макс., большинство, коэффициент вариации. Зональная статистика NDVI яровой пшеницы существенно отличалась по полям (табл. 1). Самыми высокими средними значениями обладало поле 0, а самыми низкими – поля 13, 14.

Заметное варьирование NDVI на полях 0, 60, 66, 67 может быть обусловлено неоднородностью почвенных условий. Наличие высоких, нехарактерных для пшеницы значений 2 июня и 4 июля (0,54 и 0,53) на полях 66 и 67, вероятно, связано с присутствием сорняков. По всем полям пшеницы наблюдается снижение варьирования ВИ от начала

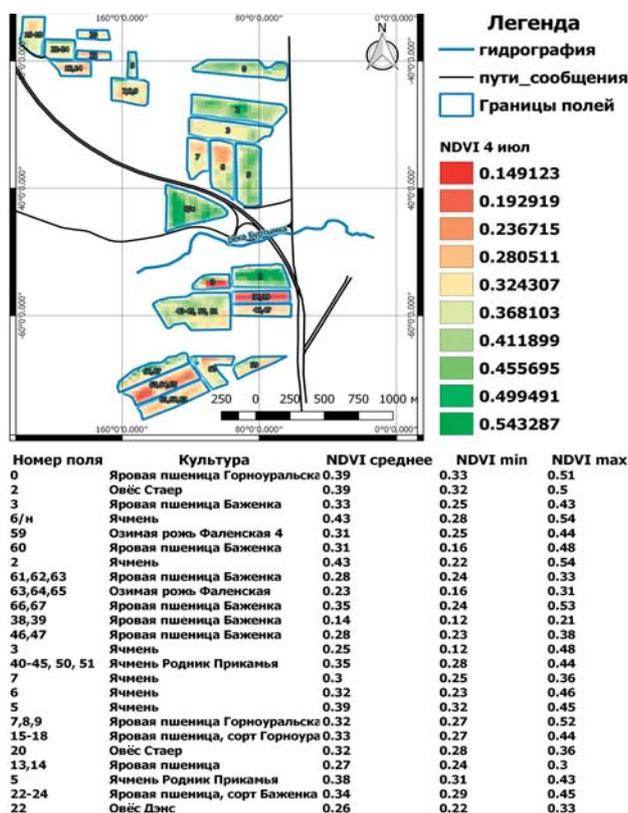


Рис. 2 – Vegetation index NDVI, calculated on July 4, 2016.

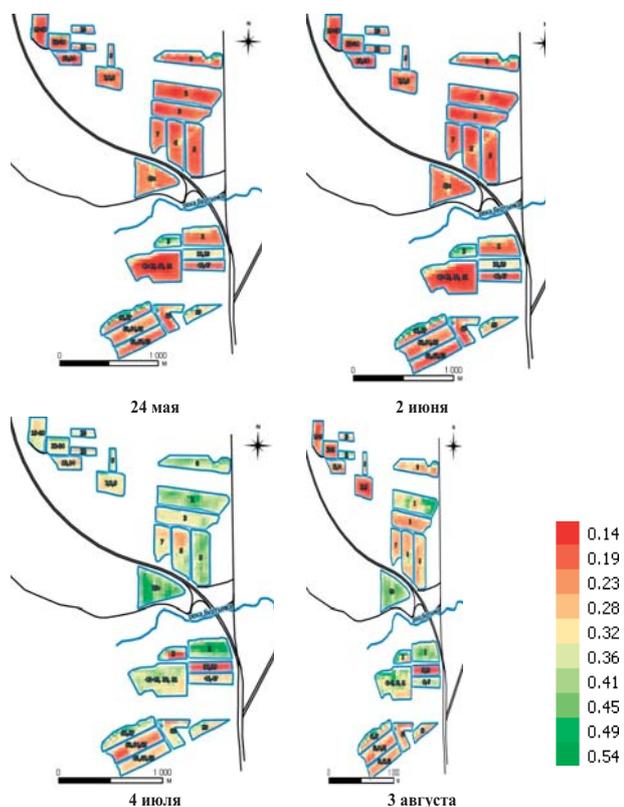


Рис. 3 – Dynamics of NDVI for grain crops in 2016.

1. Statistics of NDVI for grain crops of some fields of the Permian NIIISX

Номер поля, культура	n	Дата снимка	Среднее	Медиана	Ст. откл.	Мин.	Макс.	Большинство	V_%
0, яровая пшеница, сорт Горноуральская	74	24 мая	0,15	0,12	0,06	0,11	0,36	0,11	41
		2 июня	0,18	0,14	0,08	0,12	0,44	0,12	45
		4 июля	0,39	0,39	0,04	0,33	0,51	0,33	11
		3 августа	0,24	0,23	0,04	0,19	0,38	0,19	16
7, ячмень	44	24 мая	0,13	0,13	0,01	0,12	0,15	0,12	5
		2 июня	0,13	0,13	0,01	0,12	0,16	0,12	7
		4 июля	0,30	0,31	0,03	0,25	0,36	0,25	9
		3 августа	0,22	0,22	0,01	0,21	0,27	0,21	6
63, 64, 65, озимая рожь, сорт Фаленская	76	24 мая	0,15	0,15	0,01	0,13	0,19	0,13	10
		2 июня	0,16	0,16	0,02	0,13	0,20	0,13	11
		4 июля	0,23	0,23	0,04	0,16	0,31	0,16	19
		3 августа	0,21	0,21	0,02	0,17	0,25	0,17	9
2, овёс, сорт Стаер	111	24 мая	0,12	0,12	0,01	0,10	0,17	0,10	9
		2 июня	0,13	0,13	0,02	0,10	0,18	0,10	13
		4 июля	0,39	0,39	0,04	0,32	0,50	0,32	10
		3 августа	0,30	0,28	0,05	0,22	0,40	0,22	16

и до конца наблюдений. Поэтому к моменту созревания биомасса посевов распределилась наиболее равномерно. Наименьшим варьированием NDVI характеризовались поля 38 и 39. По сравнению с пшеницей посевы ячменя были более однородны. Наибольшее варьирование наблюдалось на поле 3, а поле 7 оказалось самым однородным. Озимая рожь в среднем имела более высокий NDVI на полях 63, 64, 65, однако варьирование было больше на поле 59, где выборка в 2 раза меньше. Наибольшие значения ВИ овса во время вегетации отмечались на поле 2.

Динамика среднего NDVI зерновых была рассмотрена по полям, имеющим наиболее представительную выборку пикселей: овёс Стаер – поле 2; ячмень Родник Прикамья – поля 40–50, 50, 51; яровая пшеница Баженка – поле 60. По полученным данным средние значения вегетационного индекса NDVI имели резкий рост со 2 июня по 4 июля (рис. 4).

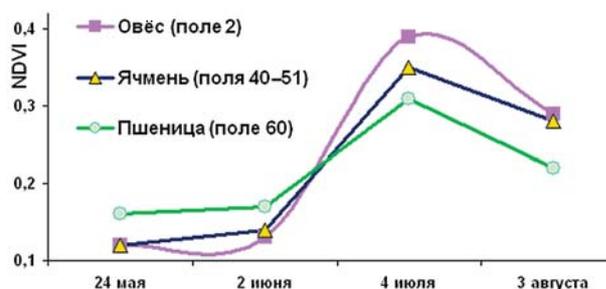


Рис. 4 – Динамика средних значений NDVI зерновых в 2016 г.

График сезонных изменений NDVI указывает на прирост биомассы с 24 мая по 4 июля, когда вегетационный индекс достигает максимальных значений. 3 августа происходит резкое снижение ВИ, что обусловлено наступлением фазы колошения, при которой содержание хлорофилла сокращается и приводит к уменьшению NDVI. На примере пшеницы такая же зависимость выявлена в Ставропольском крае по данным И.Г. Сторчак [10].

Влияние урожайности на вегетационный индекс имеет важное значение при прогнозировании на основе спутниковых данных. Поскольку учёт урожайности проводился по полям, коэффициенты корреляции были рассчитаны по среднему, медиане и большинству значений пикселей этих полей (табл. 2).

2. Коэффициенты корреляции урожайности и NDVI (n = 19)

Дата	NDVI среднее	NDVI медиана	NDVI большинство
24 мая	-0,3	-0,2	-0,3
2 июня	-0,3	-0,1	-0,2
4 июля	0,3	0,3	0,4
3 августа	0,8	0,8	0,7

На начальных фазах формирования урожая (24 мая и 2 июня) корреляционная связь урожайности зерновых и NDVI не наблюдались. В июле, когда вегетационные индексы были максимальны, проявилась средняя связь с урожайностью, особенно с большинством типичных пикселей. Сильная связь урожайности и NDVI установлена 3 августа. Наибольшие коэффициенты корреляции – 0,8 выявлены по среднему и медиане.

Выводы. В границах полей с посевами зерновых NDVI показывает сезонную динамику роста зелёной биомассы по мере развития растений и её снижение при созревании зерна. Пространственное варьирование вегетационного индекса может свидетельствовать о неоднородности отдельных опытных полей. Прогнозирование урожайности зерновых по NDVI на основе снимка landsat 8 (уровень обработки 1) возможно с середины вегетационного периода. При этом сильная зависимость среднего NDVI от урожайности происходит на фоне снижения величины вегетационного индекса.

Литература

1. Абросимов А.В., Дворкин Б.А. Перспективы применения данных ДЗЗ из космоса для повышения эффективности сельского хозяйства в России // Геоматика. 2009. № 4. С. 46–49.
2. Дубинин М. Вегетационные индексы: Географические информационные системы и дистанционное зондирование // Интернет-журнал. 2006. URL: <http://gis-lab.info/qa/vi.html> (Дата обращения: 14.10.2017).
3. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Гоматика. 2011. № 2. С. 98–102.
4. NDVI: теория и практика. 2002 [Электронный ресурс]. GIS-Lab, 2011. URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (Дата обращения: 14.10.2017).
5. Сторчак И.Г. Прогноз урожайности озимой пшеницы с использованием вегетационного индекса NDVI для условий Ставропольского края: дисс. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь, 2016. 160 с.
6. Шихов А.Н., Перминов Е.С., Перминов С.И. Закономерности пространственного распределения лесных пожаров и ветровалов в бореальных лесах Урала: анализ по многолетним спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса. Дистанционное зондирование растительных и почвенных покровов: сб. тезисов докладов XV Всерос. откр. конф. М.: ИКИ РАН, 2017. 407 с.
7. Пьянков С.В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных культур в Пермском крае по данным дистанционного зондирования земли / С.В. Пьянков Н.А. Калинин, Е.М. Связов [и др.] // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2009. Вып. 10 (36). С. 147–153.
8. Связов Е.М. Геоинформационная система космического мониторинга сельскохозяйственных угодий Пермского края / Е.М. Связов, С.В. Пьянков, И.Б. Некрасов [и др.] // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2008. С. 52–56.
9. Дубинин М. Получение бесплатных космических снимков Landsat TM, ETM+ через Glovis. [Электронный ресурс] / GIS-Lab, 2011. URL: <http://gis-lab.info/qa/landsat-glovis.html> (Дата обращения: 14.10.2017).
10. Сторчак И.Г., Ерошенко Ф.В. Использование NDVI для оценки продуктивности озимой пшеницы в Ставропольском крае // Земледелие. 2014. № 7. С. 12–15.
11. Deforestation and Loss of Biodiversity Surrounds the Ethiopian Church Forests [Элек-тронныйресурс] / Tree foundation, 2013. URL: <http://treefoundation.org/projects/church-forests-of-ethiopia/regional-view-of-deforestation/> (Дата обращения: 14.10.2017).
12. Wall L. Larocque D., Leger P.M. The early explanatory power of NDVI in crop yield modeling //International Journal of Remote Sensing, 2007. 29. P. 2211–2225.