

## О влиянии засоренности на NDVI посевов ярового ячменя, определяемый по спутниковым данным MODIS

И.Ю. Савин<sup>1,2</sup>, П.А. Докукин<sup>2</sup>, Ю.И. Вернюк<sup>1,2</sup>, А.В. Жоголев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, 119017, Россия

<sup>2</sup>Аграрно-технологический институт РУДН, Москва, 117198, Россия

E-mail: savin\_iyu@esoil.ru

Проведено сравнение полевых данных о надземной фитомассе посевов ярового ячменя на отдельных полях в Тульской области со значениями NDVI MODIS, представленными на интернет-сервисе «ВЕГА». В качестве индикаторов состояния посевов использовались расчетные значения величины проективного покрытия, общий вес надземной фитомассы и вес сорняков. В результате проведенных исследований было установлено, что величина NDVI в середине сезона вегетации определяется суммарным эффектом культурной растительности и сорняков, а в конце сезона роль сорняков в формировании NDVI преобладает. Теоретически в это время NDVI может использоваться для оценки общей степени засоренности пахотных угодий сорняками. При использовании NDVI в качестве предиктора урожайности культур более целесообразно использовать значения индексов, полученные лишь в первую половину вегетационного периода. Исходя их физиологии и фенологии сельскохозяйственных культур, можно предположить, что подобные закономерности имеют место не только для посевов ячменя, но и для посевов пшеницы, тритикале и ржи. Установленные закономерности справедливы лишь для территорий с аналогичными агротехнологиями возделывания культур и севооборотами. Они должны учитываться при использовании данных сервиса «ВЕГА» для мониторинга состояния посевов на уровне отдельных полей и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** MODIS, вегетационные индексы, Тульская область, засоренность посевов, прогнозирование урожайности

Одобрена к печати: 14.03.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-185-195

### Введение

Спецификой сельскохозяйственного производства большинства стран мира является его сильная зависимость от климатических условий, которая приводит к значительной изменчивости производства сельскохозяйственной продукции от года к году (The State..., 2016). Особенно сильно это проявляется в странах с недостаточно интенсивным сельским хозяйством. Подобная изменчивость оказывает значительное влияние на рынки сельскохозяйственной продукции, на объемы импортно-экспортных операций, на цены, а также во многом предопределяет затраты на субсидирование сельского хозяйства и страхование. В связи с этим большое значение имеет независимая оценка объемов производства сельскохозяйственной продукции и их заблаговременное прогнозирование, а также независимый контроль за информацией, поступающей от производителей, которая используется для регулирования рынков сельскохозяйственной продукции и планирования ее производства.

В настоящее время при решении подобных вопросов наиболее эффективным средством (особенно на уровне отдельных регионов и стран) является использование технологий спутникового мониторинга (Savin, Nègre, 2006; Methodology..., 2008; Becker-Reshef et al., 2010; Wu et al., 2014). В большинстве случаев спутниковые данные используются для мониторинга сельскохозяйственных угодий, для оценки площадей посевов сельскохозяйственных культур и их состояния, а также для прогнозирования их урожайности (Savin, 2007; Толпин и др., 2010; Rembold et al., 2013; Береза и др., 2015).

Разработка спутниковых технологий оперативного мониторинга посевов началась с появлением многолетних рядов данных NOAA-AVHRR (Brown et al., 1982; Kogan, 1998; Liu, Kogan, 2002; Esquerdo et al., 2011). Позднее широко стали использоваться данные со спутника SPOT-VGT (Royer, Genovese, 2004; Savin, 2007). В настоящее время наиболее широко используются данные MODIS, на основе которых построены системы оперативного дистанционного мониторинга посевов многих стран мира (Methodology..., 2008; Becker-Reshef et al., 2010; Wu et al., 2014).

Опыт использования MODIS показывает, что успешность мониторинга зависит от конкретной страны. Это может быть связано с размером полей, с используемой агротехникой, с набором возделываемых культур. Одна из вероятных причин – засоренность посевов, которая может существенно исказить результаты определения по спутниковым данным вегетационных индексов и, соответственно, результаты спутникового мониторинга (Savin, Negre, 2006).

В качестве основного дистанционного показателя состояния посевов чаще всего используют NDVI (Bouman et al., 1992; Benedetti, Rossinni, 1993; Quarmby et al., 1993; Groten, 1993; Rasmussen, 1997; Unganai, Kogan, 1998; Yang et al., 2000; Liu, Kogan, 2002; Bala, Islam, 2009; Савин и др., 2010).

Засоренность посевов является большой проблемой особенно при низком уровне агротехники и недостатке средств у фермеров на приобретение гербицидов. На территории бывшего СССР более 65% посевов сельскохозяйственных культур засорены в средней и сильной степени, в результате чего потери урожая увеличились за последние годы в два раза (Захаренко, 1997). Тип засоренности, распространенность сорняков в пространстве, их фенология значительно варьируют от сезона к сезону из-за особенностей метеорологических условий года, севооборота возделываемых культур, почвенных условий, особенности агротехники (Засоренность..., 1986; Синещеков, Васильева, 2015).

В данной статье излагаются результаты оценки влияния засоренности посевов на NDVI, определяемый по данным MODIS, на примере тестовых полей с яровым ячменем в Тульской области России.

### **Объект**

Ключевой участок расположен на территории Плавского плато в центре Среднерусской возвышенности в границах Тульской области.

Рельеф представлен пологоволнистой равниной, расчлененной овражно-балочной сетью. Преобладающими покровными отложениями на территории ключа являются карбонатные лёссовидные суглинки мощностью 3–6 м. Почвенный покров тестовых полей представлен ареалами черноземов оподзоленных и выщелоченных на тяжелосуглинистых суглинках.

Территория хорошо освоена в сельскохозяйственном отношении. Площадь пашни превышает 80%. Холмистый рельеф и развитость овражно-балочной системы предопреде-

ляют неровную и неправильную форму пахотных полей. Размер полей в среднем составляет около 90 га.

На полях в богарных условиях выращиваются яровая и озимая пшеница, яровой ячмень, озимая рожь, соя, картофель, гречиха, озимый рапс, козлятник. Сезон вегетации яровых культур начинается в среднем с середины апреля и продолжается до августа. Озимые культуры, как правило, сеют в сентябре, а убирают урожай в июле. На многих полях отмечается засоренность посевов.

## Методы

Для анализа было выбрано 16 полей с яровым ячменем. Засоренность посевов определялась 4 раза в течение сезона вегетации: 15 апреля, 15 мая, 22 июля и 2 сентября 2015 года. В день полевых работ предварительно проводилась съемка полей с использованием квадрокоптера DJI Phantom 4. Квадрокоптер может вести съемку с высоты от 0 до 500 метров над поверхностью Земли. Съемка велась 12-мегапиксельной фотокамерой.

Полученные изображения использовались для визуального выделения зон засоренности посевов на каждом поле. В каждой выделенной зоне выбирались 3 представительные площадки. Посевы на каждой площадке фотографировались 5 раз в надир на камеру Canon с объективом «рыбий глаз». Затем делался укос для определения надземной фитомассы ячменя и сорняков с участка посевов 0,5×0,5 метров. Скошенные растения разделялись на ячмень и сорняки и взвешивались отдельно на весах с точностью ±0,1 грамм. Для каждой зоны рассчитывались арифметические средние значения параметров засоренности.

По полученным фотографиям в лабораторных условиях производился расчет проективного покрытия посевов в целом и сорняков в отдельности на основе подходов CanEye (<https://www6.paca.inra.fr/can-eye/>).

Данные, полученные в результате анализа 5 фотографий и укоса растений для каждой площадки, осреднялись на зоны засоренности посевов и затем взвешенно осреднялись для всего поля.

Далее, для каждого поля с использованием спутникового сервиса «ВЕГА» (Лупян и др., 2011; Толпин и др., 2011) была осуществлена экстракция еженедельных величин вегетационного индекса NDVI, осредненных для каждого поля с ячменем для 2015 года. Сервис «ВЕГА» содержит NDVI, рассчитанные по данным MODIS (продукт MOD09). Непрерывно пополняемый архив ежедневных данных MODIS охватывает территорию России за период с 2002 года по настоящее время, а разработанная технология их предварительной обработки позволяет получать очищенные от влияния мешающих факторов композитные еженедельные изображения с пространственным разрешением 250 метров для дальнейшего тематического анализа. Границы всех полей были оцифрованы в «ВЕГА» и для них определялось среднее значение индекса NDVI.

После этого проводился анализ влияния засоренности посевов на величину NDVI, полученную с использованием сервиса «ВЕГА». Для этого проводился дисперсионный и регрессионный анализ в Statistica.

### Результаты и обсуждение

В сезоне 2015 года засоренность посевов ярового ячменя на территории исследований в целом была средней. Для каждого из проанализированных полей по данным изображений БПЛА в каждый срок удавалось выделить 2 зоны по степени визуальной засоренности: зона без видимой засоренности и зона засоренная сорняками.

Необходимо отметить, что пространственное распространение засоренности посевов изменялось в разные сроки наблюдений (рис. 1).

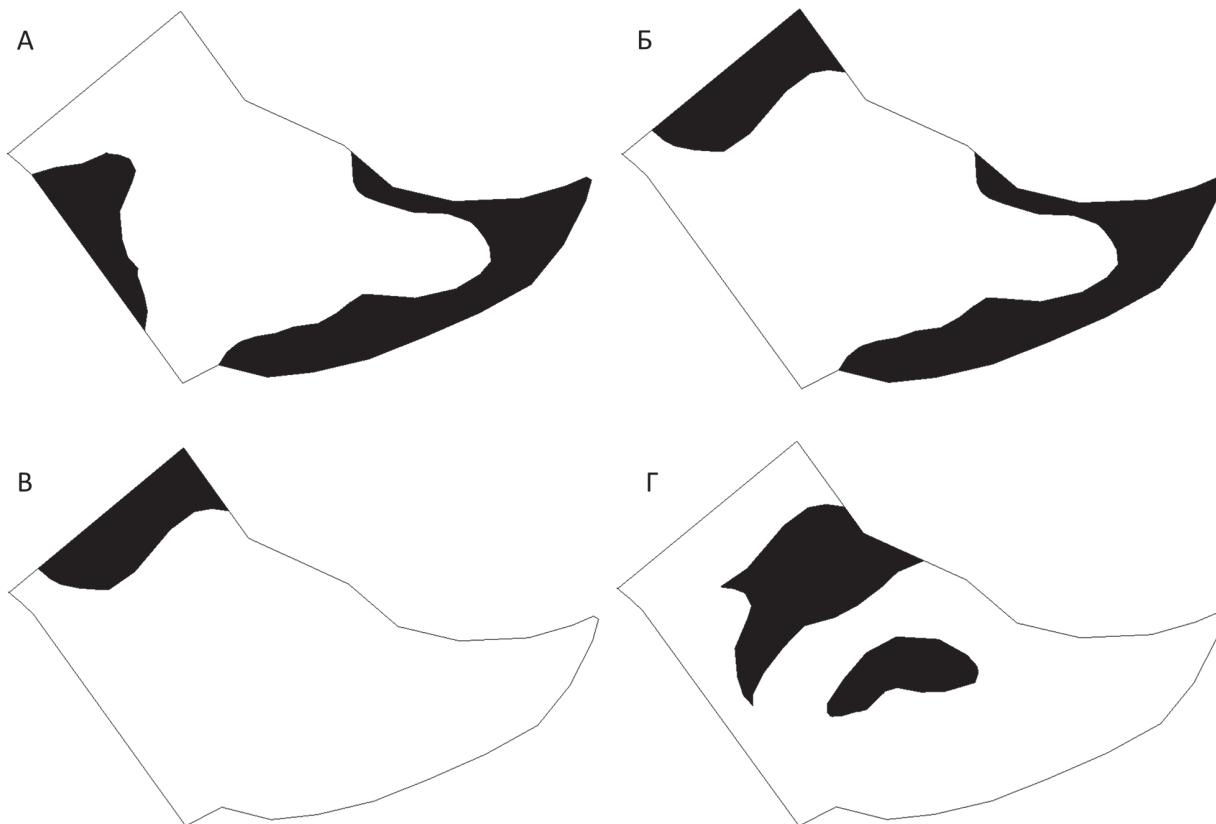


Рис. 1. Пример изменений зон засоренности (черный цвет) для одного из полей в разные сроки наблюдений (А – 15 апреля, Б – 15 мая, В – 22 июля, Г – 2 сентября)

Основными сорняками в посевах ячменя были марь белая, ярутка полевая, пастушья сумка, виды горца, пикульник, подмаренник цепкий, звездчатка средняя, осот, ромашка и др. Общей закономерностью для всех полей является то, что сорняки начинают вегетировать с ранней весны и сохраняются на полях до начала механической обработки поверхно-

сти перед севом ячменя. Основными видами сорняков в этот период являются однолетние и многолетние двудольные. В первые фазы развития ячменя количество сорняков невелико и их качественный состав сильно отличается от сорняков, которые наблюдались на полях перед посевом культуры. Уменьшается доля двудольных видов, и увеличивается доля видов злаковых. Максимум их активности приходится на период кущения культуры. К фазе созревания видимое количество сорняков уменьшается и опять изменяется их видовой состав. При этом большая часть сорняков не выходят на поверхность посевов и находятся близ поверхности почвы. В видовом составе в этот период увеличивается количества осота, ромашки, горцев. После уборки культуры все эти сорняки оказываются на поверхности и продолжают вегетировать до вспашки почвы.

Выделяемые визуально зоны по степени засоренности достаточно хорошо отличаются друг от друга по весу и проективному покрытию сорняков практически во все сроки наблюдений (табл. 1).

Таблица 1. Пример полевых данных о засоренности посевов для одного из тестовых полей

<i>Дата наблюдений</i>	<i>Зона</i>	<i>Вес сорняков (г/м<sup>2</sup>)</i>	<i>Доля от веса посевов (%)</i>	<i>Проективное покрытие сорняков</i>	<i>Доля в проективном покрытии зеленых посевов (%)</i>
15 апреля	Засоренная	54	23,1	0,03	9,3
	Незасоренная	12	15,2	<0,01	2,6
15 мая	Засоренная	237	49,7	0,14	25,1
	Незасоренная	19	5,9	0,02	4,1
22 июля	Засоренная	219	46,1	0,19	50,0
	Незасоренная	23	6,8	0,03	9,6
2 сентября	Засоренная	183	100,0	0,59	100,0
	Незасоренная	14	100,0	0,04	100,0

При анализе подобных данных необходимо учитывать то, что площади одной и той же зоны в разные сроки были неодинаковыми, а для некоторых полей различались в несколько раз. Это учитывалось при вычислении средних взвешенных показателей засоренности для каждого поля (табл. 2).

Таблица 2. Осредненные показатели засоренности тестовых полей

<i>Поле</i>	<i>Параметр</i>	<i>15 апреля</i>	<i>15 мая</i>	<i>22 июля</i>	<i>2 сентября</i>
1	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	46,3	216,0	76,6	340,2
	Проективное покрытие сорняков	0,02	0,29	0,21	0,48
2	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	61,5	228,8	224,1	328,6
	Проективное покрытие сорняков	0,02	0,22	0,18	0,39
3	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	56,3	652,1	256,2	216,4
	Проективное покрытие сорняков	0,03	0,36	0,27	0,33
4	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	54,1	384,6	392,0	296,9
	Проективное покрытие сорняков	0,02	0,39	0,36	0,37

Таблица 2. Продолжение

5	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	68,6	178,9	344,1	192,4
	Проективное покрытие сорняков	0,03	0,27	0,32	0,31
6	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	22,3	352,7	144,5	148,3
	Проективное покрытие сорняков	0,01	0,41	0,21	0,24
7	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	44,7	260,8	364,4	264,0
	Проективное покрытие сорняков	0,01	0,27	0,35	0,32
8	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	58,8	352,4	172,2	152,9
	Проективное покрытие сорняков	0,04	0,42	0,33	0,22
9	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	51,2	140,2	72,6	36,7
	Проективное покрытие сорняков	0,02	0,21	0,18	0,05
10	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	59,4	120,9	96,4	68,6
	Проективное покрытие сорняков	0,03	0,17	0,16	0,08
11	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	48,4	220,9	36,8	156,5
	Проективное покрытие сорняков	0,03	0,21	0,05	0,18
12	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	41,7	132,9	40,3	104,3
	Проективное покрытие сорняков	0,02	0,18	0,04	0,09
13	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	24,8	188,5	218,8	124,1
	Проективное покрытие сорняков	0,01	0,22	0,23	0,15
14	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	40,3	96,3	68,0	84,4
	Проективное покрытие сорняков	0,02	0,16	0,14	0,09
15	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	75,7	328,4	80,3	184,5
	Проективное покрытие сорняков	0,05	0,35	0,18	0,19
16	Вес сорняков (г/м <sup>2</sup> )	50,9	118,7	69,9	40,9
	Проективное покрытие сорняков	0,02	0,24	0,15	0,04

Как следует из *табл. 2*, варьирование параметров засоренности между полями достаточно велико. Это, скорее всего, связано с историей полей (культура-предшественник, количество вносимых удобрений, применение в прошлом гербицидов и т. п.).

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показывают, что из всех проанализированных показателей засоренности посевов (вес сорняков, доля от веса посевов, проективное покрытие сорняков, доля от проективного покрытия зеленых посевов (культура и сорняки)) наиболее значимое влияние на NDVI оказывает проективное покрытие сорняков. Причем вклад этого параметра в варьирование NDVI изменяется в течение сезона вегетации, в целом нарастая и достигая максимума после уборки культуры (91%).

Подобные же результаты получены и в ходе регрессионного анализа (*табл. 3*).

Таблица 3. Результаты регрессионного анализа

<i>Дата</i>	<i>Уравнение регрессии между NDVI и осредненным для поля проективном покрытии сорняков</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
15 апреля	* $y = 0,136x - 0,0264$	0,10
15 мая	$y = 0,1735x + 0,0223$	0,37
22 июля	$y = 1,6465x - 0,5181$	0,76
2 сентября	$y = 1,7015x - 0,2157$	0,94

\* регрессия статистически не значима

Из таблицы следует, что после прохождения максимума сезона вегетации (сезонный пик NDVI) начинает сильно возрастать влияние сорной растительности на величину NDVI.

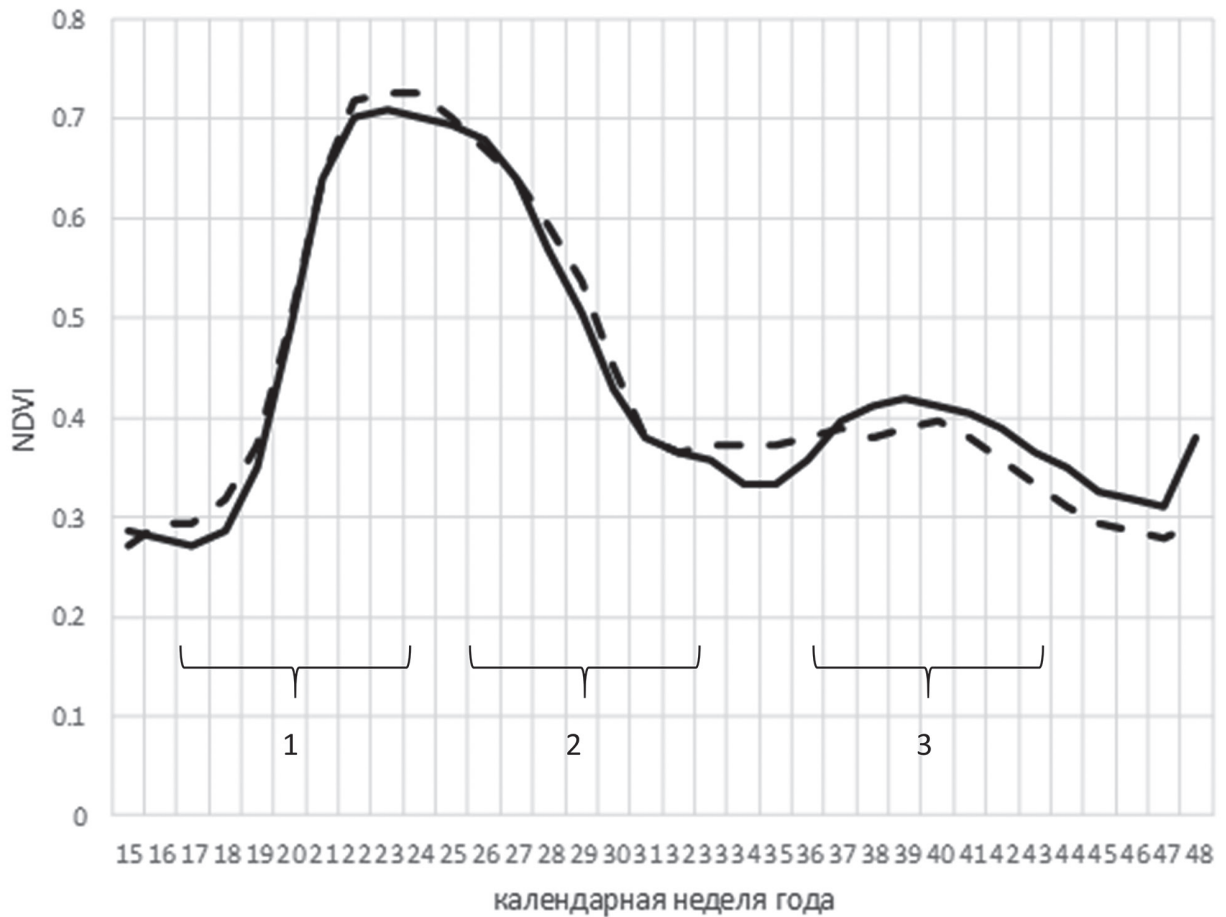


Рис. 2. Пример кривых NDVI для двух полей с яровым ячменем. Цифрой 1 обозначена зона формирования NDVI преимущественно ячменем, цифрой 2 – зона нарастающего влияния на NDVI сорной растительности, и цифрой 3 – зона формирования NDVI сорной растительностью

В период пожелтения ячменя воздействие сорной растительности на формирование осредненного NDVI постепенно возрастает, а после уборки урожая NDVI практически полностью формируется за счет засорения посевов (рис. 2).

NDVI в системах глобального и регионального спутникового мониторинга посевов наиболее часто используется как основной предиктор урожайности сельскохозяйственных культур. Причем для прогнозирования используются как сезонные максимумы NDVI, так и его значения за другие периоды вегетации и кумулятивные производные (Savin, 2007; Methodology..., 2008). Полученные данные позволяют сделать вывод, что значения NDVI, полученные во вторую половину вегетации (как минимум для яровых зерновых культур), могут отражать не столько состояние культуры, как степень ее засоренности. Поэтому использование подобных данных при прогнозировании может служить причиной низкого качества прогнозных моделей в регионах, где развита засоренность посевов.

## Выводы

Проведенные исследования показали, что засоренность посевов ярового ячменя может существенно влиять на осредненные значения NDVI, получаемые для отдельных полей с использованием сервиса «ВЕГА». Исходя их физиологии и фенологии сельскохозяйственных культур, можно предположить, что подобные закономерности имеют место не только для посевов ячменя, но и для посевов пшеницы, тритикале и ржи.

Вклад засоренности посевов в формирование NDVI в регионе исследований постепенно нарастает с начала сезона вегетации, достигая максимума в момент уборки урожая и особенно в послеуборочный период. Теоретически в это время NDVI может использоваться для оценки общей степени засоренности пахотных угодий сорняками.

При использовании NDVI в качестве предиктора урожайности культур более целесообразно использовать значения индексов, полученные лишь в первую половину вегетационного периода культуры.

Установленные закономерности справедливы лишь для территорий с аналогичными агротехнологиями возделывания культур и севооборотами. В регионах с преобладанием других сельскохозяйственных культур особенности засоренности посевов (как набор сорняков, так и их фенология) могут быть совершенно другими, и ее влияние на NDVI может отличаться от установленного на исследованном нами участке. Но в любом случае потенциальное влияние засоренности посевов на NDVI должно учитываться пользователями сервиса «ВЕГА».

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (грант 15-16-30007). Благодарим отдел технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН за предоставленную возможность использования сервиса «ВЕГА».

## Литература

1. Береза О.В., Страшная А.И., Лупян Е.А. О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 18–30.
2. Засоренность посевов сельскохозяйственных культур и борьба с сорной растительностью. Ставрополь: СНИИСХ, 1986. 205 с.
3. Захаренко В.А. Тенденции изменения потерь урожая сельскохозяйственных культур от вредных организмов в земледелии в условиях реформирования экономики России // Агротехнология. 1997. № 3. С. 67–74.
4. Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
5. Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Хвостиков С.А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 275–285.
6. Синещиков В.Е., Васильева Н.В. Фитосанитарная ситуация в зерновых агроценозах при минимизации обработки почвы. Новосибирск: ФГБНУ «СибНИИЗиХ», 2015. 96 с.
7. Толпин В.А., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Савин И.Ю., Флитман Е.В. Возможности информационного сервера СДМЗ АПК // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 221–232.
8. Толпин В.А., Балашов И.В., Лупян Е.А., Савин И.Ю. Спутниковый сервис «Вега» // Земля из космоса. 2011. Вып. 9. Весна. С. 32–37.
9. Bala S.K., Islam A.S. Correlation between potato yield and MODIS-derived vegetation indices // International



- Journal of Remote Sensing. 2009. Vol. 30. Issue 10. P. 2491–2507.
10. *Becker-Reshef I., Justice C., Sullivan M., Vermote E., Tucker C., Anyamba A., Small J.* Monitoring Global Croplands with Coarse Resolution Earth Observations: The Global Agriculture Monitoring (GLAM) Project // *Remote Sensing*. 2010. Vol. 2 (6). P. 1589–1609.
  11. *Benedetti R., Rossinni P.* On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna // *Remote Sensing of Environment*. 1993. Vol. 45. P. 311–326.
  12. *Bouman B.A.M., Uenk D., Haverkort A.J.* Estimation of ground cover of potato by reflectance measurements // *Potato Research*. 1992. Vol. 35. P. 111–125.
  13. *Brown R.J., Bernier M., Fedosejevs G., Skretkiewicz L.* NOAA-AVHRR Crop Condition Monitoring // *Canadian Journal of Remote Sensing*. 1982. No. 8. P. 107–117.
  14. *Esquerdo J.C.D.M., Zullo J.J., Antunes J.F.G.* Use of NDVI/AVHRR Time Series Profiles for Soybean Crop Monitoring in Brazil // *International Journal of Remote Sensing*. 2011. Vol. 32 (13). P. 3711–3727.
  15. *Groten S.M.E.* NDVI crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso // *International Journal of Remote Sensing*. 1993. Vol. 14 (8). P. 1495–1515.
  16. *Kogan F.N.* Global Drought and Flood-Watch from NOAA Polar-orbiting Satellites // *Advances in Space Research*. 1998. Vol. 21. No. 3. P. 477–480.
  17. *Liu W.T., Kogan F.* Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices // *International Journal of Remote Sensing*. 2002. Vol. 23 (6). P. 1161–1179.
  18. *Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System*. Eur Rep 21291 EN/1–4. Luxembourg: OPOCE, 2008. 438 p.
  19. *Quarby N.A., Milnes M., Hindle T., Silicos N.* The use of multitemporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction // *International Journal of Remote Sensing*. 1993. Vol. 14. P. 199–210.
  20. *Rasmussen M.S.* Operational Yield forecast using AVHRR NDVI data: reduction of environmental and inter-annual variability // *International Journal of Remote Sensing*. 1997. Vol. 18. No. 5. P. 1059–1077.
  21. *Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O.* Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection // *Remote Sensing*. 2013. Vol. 5. No. 4. P. 1704–1733.
  22. *Royer A., Genovese G.* Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System. Vol. 3. Remote Sensing Information, Data Processing and Analysis. Luxembourg: OPOCE, 2004. 459 p.
  23. *Savin I.* Crop yield prediction with SPOT VGT in Mediterranean and Central Asian countries // *ISPRS Archives XXXVI-8/W48 Workshop proceedings: Remote sensing support to crop yield forecast and area estimates*. Commission VIII, WG VIII/10. Stresa: OPOCE, 2007. P. 130–134.
  24. *Savin I.Yu., Nègre T.* Agro-meteorological Monitoring in Russia and Central Asian Countries. Ispra: OPOCE, 2006. 214 p.
  25. *The State of Food and Agriculture 2016 (SOFA): Climate change, agriculture and food security*. Rome: FAO, 2016. 190 p.
  26. *Unganai L.S., Kogan F.N.* Drought monitoring and Corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR data // *Remote Sensing of Environment*. 1998. Vol. 63. P. 219–232.
  27. *Wu B., Meng J., Li Q., Yan N., Du X., Zhang M.* Remote sensing-based global crop monitoring: experiences with China's CropWatch system // *International Journal of Digital Earth*. 2014. Vol. 7. No. 2. P. 113–137.
  28. *Yang C., Everitt J.H., Bradford J.M., Escobar D.E.* Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery // *Transactions of ASAE*. 2000. Vol. 43. No. 6. P. 1927–1938.

## **About the influence of weeds on spring barley NDVI determined from MODIS satellite data**

**I.Yu. Savin<sup>1,2</sup>, P.A. Dokukin<sup>2</sup>, Yu.I. Verniuk<sup>1,2</sup>, A.V. Zhogolev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow 117019, Russia*

<sup>2</sup>*Agrarian-Technological Institute of RUDN, Moscow 117198, Russia*

*E-mail: savin\_iyu@esoil.ru*

A comparison of field data on aboveground barley biomass on a certain plots in Tula Region with NDVI MODIS values presented by the internet service VEGA was conducted. The crop fractions, as well as total weight of crop and weeds aboveground biomass, were used as the indicators of crop status. As a result of investigations it was found that NDVI in the middle of the growing season is predefined by the combined effect of cultivated plants and weeds, and at the end of the season the role of weeds becomes predominant. Theoretically, NDVI for this period can be used as a proxy of general weedness of crops. In the case of NDVI usage as a predictor of crop yields it seems better to use index values, received during the first half of the vegetative season. Based on specifics of crop phenology and physiology, one can conclude that the same results can be received not only for barley, but also for wheat, triticale,

and rye. The results obtained are valid only for the areas with the same agro-technologies and crop rotations. They should be considered when using the VEGA data for monitoring crop status at the level of individual fields and when predicting crop yield.

**Keywords:** MODIS, vegetative index, Tula Region, crop weedness, crop yield prediction

Accepted: 14.03.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-185-195

## References

1. Bereza O.V., Strashnaya A.I., Loupian E.A., O vozmozhnosti prognozirovaniya urozhainosti ozimoi pshenitsy v Srednem Povolzh'e na osnove kompleksirovaniya nazemnykh i sputnikovykh dannykh (On the possibility to predict the yield of winter wheat in the Middle Volga region on the basis of integration of land and satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 18–30.
2. *Zasorenost' posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur i bor'ba s sornoi rastitel'nost'yu* (Weedness of crops and struggle against weeds), Stavropol': SNIISKh, 1986, 205 p.
3. Zakharenko V.A., Tendentsii izmeneniya poter' urozhaya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur ot vrednykh organizmov v zemledelii v usloviyakh reformirovaniya ekonomiki Rossii (Tendencies in crop yield lost due to pests and weeds in conditions of transit of economy in Russia), *Agrokimiya*, 1997, No. 3, pp. 67–74.
4. Loupian E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E., Sputnikovyi servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti ("Vega") (Satellite Service for Vegetation Monitoring VEGA), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 190–198.
5. Savin I.Yu., Bartalev S.A., Loupian E.A., Tolpin V.A., Khvostikov S.A., Prognozirovanie urozhainosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur na osnove sputnikovykh dannykh: vozmozhnosti i perspektivy (Crop yield forecasting based on satellite data: opportunities and perspectives), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 3, pp. 275–285.
6. Sineshchekov V.E., Vasil'eva N.V., *Fitosanitarnaya situatsiya v zernovykh agrotsenozakh pri minimizatsii obrabotki pochvy* (Phytosanitary status of grain agrocoenosis at minimal soil treatment). Novosibirsk: FGBNU "SibNII ZiKh", 2015, 96 p.
7. Tolpin V.A., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Savin I.Yu., Flitman E.V., Vozmozhnosti informatsionnogo servera SDMZ APK (Capabilities of the informational server SDMZ), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 2, pp. 221–232.
8. Tolpin V.A., Balashov I.V., Loupian E.A., Savin I.Yu., Sputnikovyi servis "Vega" (Satellite service "Vega"), *Zemlya iz kosmosa*, 2011, No. 9, Vesna, pp. 32–37.
9. Bala S.K., Islam A.S., Correlation between potato yield and MODIS-derived vegetation indices, *International Journal of Remote Sensing*, 2009, Vol. 30, Issue 10, pp. 2491–2507.
10. Becker-Reshef I., Justice C., Sullivan M., Vermote E., Tucker C., Anyamba A., Small J., Monitoring Global Croplands with Coarse Resolution Earth Observations: The Global Agriculture Monitoring (GLAM) Project, *Remote Sensing*, 2010, Vol. 2 (6), pp. 1589–1609.
11. Benedetti R., Rossini P., On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna, *Remote Sensing of Environment*, 1993, Vol. 45, pp. 311–326.
12. Bouman B.A.M., Uenk D., Haverkort, A.J., Estimation of ground cover of potato by reflectance measurements, *Potato Research*, 1992, Vol. 35, pp. 111–125.
13. Brown R.J., Bernier M., Fedosejevs G., Skretkovic L., NOAA-AVHRR Crop Condition Monitoring, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1982, No. 8, pp. 107–117.
14. Esquerdo J.C.D.M., Zullo J.J., Antunes J.F.G., Use of NDVI/AVHRR Time Series Profiles for Soybean Crop Monitoring in Brazil, *International Journal of Remote Sensing*, 2011, Vol. 32 (13), pp. 3711–3727.
15. Groten S.M.E., NDVI crop monitoring and early yield assessment of Burkina Faso, *International Journal of Remote Sensing*, 1993, Vol. 14 (8), pp. 1495–1515.
16. Kogan F.N., Global Drought and Flood-Watch from NOAA Polar-orbiting Satellites, *Advances in Space Research*, 1998, Vol. 21, No. 3, pp. 477–480.
17. Liu W.T., Kogan F., Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices, *International Journal of Remote Sensing*, 2002, Vol. 23 (6), pp. 1161–1179.
18. *Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System. Eur Rep 21291 EN/I-4*, Luxembourg: OPOCE, 2008, 438 p.
19. Quarby N.A., Milnes M., Hindle T., Silicos N., The use of multitemporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction, *International Journal of Remote Sensing*, 1993, Vol. 14, pp. 199–210.
20. Rasmussen M.S., Operational Yield forecast using AVHRR NDVI data: reduction of environmental and inter-annual variability, *International Journal of Remote Sensing*, 1997, Vol. 18, No. 5, pp. 1059–1077.
21. Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O., Using low resolution satellite imagery for yield prediction and yield anomaly detection, *Remote Sensing*, 2013, Vol. 5, No. 4, pp. 1704–1733.
22. Royer A., Genovese G., *Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System. Vol. 3. Remote Sensing Information, Data Processing and Analysis*, Luxembourg: OPOCE, 2004, 459 p.
23. Savin I., Crop yield prediction with SPOT VGT in Mediterranean and Central Asian countries, *ISPRS Archives XXXVI-8/W48 Workshop proceedings: Remote sensing support to crop yield forecast and area estimates. Commission VIII, WG VIII/10*, Stresa: OPOCE, 2007, pp. 130–134.
24. Savin I.Yu., Negre T., *Agro-meteorological Monitoring in Russia and Central Asian Countries*, Ispra: OPOCE, 2006, 214 p.
25. *The State of Food and Agriculture 2016 (SOFA): Climate change, agriculture and food security*, Rome: FAO,

- 2016, 190 p.
26. Uganai L.S., Kogan F.N., Drought monitoring and Corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR data, *Remote Sensing of Environment*, 1998, Vol. 63, pp. 219–232.
  27. Wu B., Meng J., Li Q, Yan N., Du X., Zhang M., Remote sensing-based global crop monitoring: experiences with China's CropWatch system, *International Journal of Digital Earth*, 2014, Vol. 7, No. 2, pp. 113–137.
  28. Yang C., Everitt J.H., Bradford J.M., Escobar D.E., Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery, *Transactions of ASAE*, 2000, Vol. 43, No. 6, pp. 1927–1938.