

УДК 633.11:004.738.5

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕБ-СЕРВИСОВ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

<sup>1</sup>Тугуз Р.К., <sup>2</sup>Панеш А.Х.<sup>1</sup>ФГБНУ «Адыгейский НИИ сельского хозяйства», Майкоп, e-mail: gnuaniish@mail.ru;<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Адыгейский государственный университет», Майкоп, e-mail: apanesh@yandex.ru

Отмечается возрастающее распространение сервисов геоинформационных систем (ГИС), доступ к которым осуществляется через Интернет. Показаны преимущества таких систем (Веб-ГИС) в сравнении с настольными (серверными) ГИС. Отмечено, что наличие космических снимков высокого пространственного разрешения у интеграторов Веб-ГИС систем позволяет отслеживать состояние растительности на отдельных, относительно небольших полях площадью в несколько гектаров. Приводится краткая характеристика наиболее развитых Веб-ГИС систем, имеющихся на рынке геоинформационных услуг, а также перечень предоставляемых ими показателей. В исследовании выполнены расчеты прогнозируемой урожайности озимой пшеницы на основе различных подходов, приводится обсуждение полученных результатов. Выявлены взаимосвязи между вегетационным индексом NDVI, площадью ассимиляционной поверхности и содержанием хлорофилла в растениях. Исследования проводились на производственных посевах Адыгейского НИИ сельского хозяйства (по 6 полей) в 2016–2017 гг. Индексы растительности при проведении расчетов были получены из Веб-ГИС «Вега» Института космических исследований РАН и из Веб-ГИС «Геоаналитика. Агро» компании «Совзонд». При расчете влияния площади ассимиляционной поверхности посевов озимой пшеницы на значение вегетационного индекса NDVI коэффициент корреляции между соответствующими наборами данных составил 0,65. Коэффициенты корреляции между относительным содержанием хлорофилла в единице биомассы растений озимой пшеницы и вегетационным индексом NDVI составили значения -0,85 (2016 г.) и -0,82 (2017 г.). В исследовании также изучена связь урожайности озимой пшеницы с хлорофилловым фотосинтетическим потенциалом ХФСП и вегетационным фотосинтетическим потенциалом ВФСП. Рассчитаны регрессивные зависимости урожайности озимой пшеницы от вегетационного индекса фотосинтетического потенциала ВИФП.

**Ключевые слова:** геоинформационные системы (ГИС), Веб-ГИС системы, индексы растительности, озимая пшеница, прогнозирование урожая, коэффициент корреляции, регрессивная зависимость

## THE USE OF WEB SERVICES OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR THE CULTIVATION OF WINTER WHEAT

<sup>1</sup>Tuguz R.K., <sup>2</sup>Panesh A.H.<sup>1</sup>Adyge scientific research Institute of agriculture, Maikop, e-mail: gnuaniish@mail.ru;<sup>2</sup>Adyge State University, Maikop, e-mail: apanesh@yandex.ru

An increasing extension of services of geographic information systems (GIS) accessed via the Internet is noted. The study shows the advantages of such systems (Web-GIS) compared to desktop (server) GIS. Noted that due to the availability of satellite images with high spatial resolution integrators of Web-GIS systems allows you to monitor the status of vegetation on a separate, relatively small fields with an area of several hectares. The paper describes the brief characteristics of the developed Web-GIS systems available on the market of geoinformation services, as well as the list of indicators they can provide. Calculations of predicted winter wheat yields on the basis of different approaches is made in the work, the results are discussed. The article identified the relationship between the vegetation index NDVI, the assimilation surface area and chlorophyll content in plants. Studies were carried out on industrial crops of the Adygeya scientific research Institute of agriculture (6 fields) in 2016–2017. Indices of vegetation in the calculations were obtained from the «VEGA» Web-GIS of the Institute of space research of the Russian Academy of Sciences and the «Geoanalitika.Agro» Web-GIS of Sovzond company. When calculating the impact of assimilation surface area of crops winter wheat to the value of the vegetation index NDVI, the correlation coefficient between the corresponding data sets was 0.65. The correlation coefficients between the relative chlorophyll content per unit biomass of winter wheat plants and the vegetation index NDVI values were -0,85 (2016) and -0,82 (2017). The study also examined the relationship of winter wheat yield with chlorophyll photosynthetic potential HPSP and vegetation photosynthetic potential VPSP. Also a regressive dependences of winter wheat yield and vegetation index photosynthetic potential VIPP were calculated.

**Keywords:** geographic information systems (GIS), Web-GIS system, indexes of vegetation, winter wheat, yield prediction, correlation coefficient, regression dependence

Использование геоинформационных технологий в сельском хозяйстве из разряда инноваций постепенно становится нормой. При этом большое развитие получают сервисы геоинформационных систем (ГИС), доступ к которым предоставляется через Интернет (Веб-ГИС) [1]. Веб-ГИС – это геоинформационная система в сети Интернет, пользователи которой могут просматривать,

редактировать и анализировать пространственные данные с помощью веб-браузеров. В Веб-ГИС могут быть реализованы почти все функции, доступные в настольной ГИС: навигация по карте, редактирование данных, пространственный анализ, поиск, геокодирование и многое другое. Для работы в Веб-ГИС пользователю не требуется квалификация ГИС-специалиста или специ-

ализированное программное обеспечение. Достаточно наличия веб-браузера и подключения к Интернет.

Основными преимуществами от использования Веб-ГИС в сравнении с настольными (серверными) ГИС являются:

- Повышение доступности пространственных данных; для доступа к системе можно использовать персональные компьютеры, ноутбуки, смартфоны и планшеты с установленным веб-браузером.

- Незначительный объем расходов на подключение к Веб-ГИС сервису по сравнению с созданием настольного (серверного) ГИС-приложения.

- Централизация хранения, обработки и доступа к данным с использованием облачных технологий.

Указанные возможности и преимущества позволяют использовать Веб-ГИС не только крупными агропредприятиями, но и отдельными фермерами при возделывании, в частности, зерновых культур [2]. То есть в настоящее время появилась возможность спутникового мониторинга и оценки характеристик растительности не только на больших территориях, но и на отдельных полях площадью в несколько гектаров с целью выявления неоднородностей роста растений

на поле, прогноза урожайности и пр. Это стало возможным в связи с предоставлением пользователям Веб-ГИС космических снимков высокого пространственного разрешения в 3 м или даже в 1 м [3, 4]. На рис.1 показан снимок фрагмента производственных полей Адыгейского НИИ сельского хозяйства с наложенной картой вегетационного индекса NDVI, предоставленный через сервис Веб-ГИС «Геоаналитика.Агро».

На рынке геоинформационных услуг для сельского хозяйства имеет место значительная конкуренция. Наибольшими функциональными возможностями обладают Веб-ГИС системы «Вега» Института космических исследований РАН (имеется возможность предоставления пользователям космических снимков спутниковых группировок Landsat- 30 м, Sentinel-10 м. и других снимков с более низким разрешением), «Геоаналитика. Агро» компании «Совзонд» (предоставляются снимки группировок Landsat – 30 м, Sentinel-10 м, RapidEye – 6,5 м, PlanetScope – 3 м), «КосмосАгро» компании «Сканэкс» (снимки из большого перечня спутниковых группировок, с пространственным разрешением 1 м – за дополнительную плату). Имеются и достойные конкуренты этих систем.



Рис. 1. Фрагмент производственных полей Адыгейского НИИ сельского хозяйства по состоянию на 09.07.2017 г. (Снимок получен от Веб-ГИС «Геоаналитика. Агро», пространственное разрешение 3 м)

Отмеченные Веб-ГИС системы предоставляют значения многих индексов: вегетационного NDVI, содержания хлорофилла в листьях MCARI/OSAVI, содержания азота в листьях растений GNDVI, почвенный вегетационный индекс SAVI, индекс листовой поверхности LAI и др. Также формируются и доступны пользователям соответствующие наборы карт, выполненных в виде растровых изображений.

**Цель исследования.** В последние годы большой интерес приобретают исследования, посвященные прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур [5]. Именно этой проблеме посвящено данное исследование. Мы анализируем методы расчета урожайности озимой пшеницы, предлагаемые в работах [6,7], с целью практической их проверки и выявления наиболее оптимального вегетационного индекса для расчетов. Также исследуем взаимосвязи между вегетационным индексом NDVI, площадью ассимиляционной поверхности и содержанием хлорофилла в растениях, которые являются оптико-биологическими характеристиками посевов. Выявление этих закономерностей позволит с большей объективностью и достоверностью получать информацию о продукционном процессе развития сельскохозяйственных культур.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводились с января 2016 г. по июль 2017 г. (до окончания уборки озимой пшени-

цы). Объекты исследований – производственные посевы Адыгейского НИИ сельского хозяйства (по 6 полей). Вегетационные индексы NDVI и коэффициенты спектральной яркости посевов в период вегетации получены из системы Веб-ГИС «Вега», индекс содержания хлорофилла в листьях MCARI/OSAVI получен из системы Веб-ГИС «Геоаналитика. Агро». Отборы проводились по этапам органогенеза в 3–кратной повторности. Площадь ассимиляционной поверхности определялась весовым методом. Показатели фотосинтетической продуктивности рассчитывались по формулам из [6, 7].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Необходимо отметить существенные различия в метеорологических условиях выращивания озимой пшеницы урожая 2016 и 2017 годов. В 2016 г. рост посевов на всех стадиях развития отличался благоприятными температурными и влажностными условиями. В 2017 г. имели место продолжительные дожди, особенно в критический период по отношению озимой пшеницы к влаге – выход в трубку и колошение. Такое чрезмерное увлажнение снизило темпы роста и урожайность озимой пшеницы.

Изучение влияния площади ассимиляционной поверхности посевов озимой пшеницы на значение их вегетационного индекса NDVI выявило наличие взаимосвязи между этими показателями, которая в среднем за период исследований может быть оценена коэффициентом корреляции, равным 0,65 (табл. 1).

**Таблица 1**

Площади ассимиляционных поверхностей озимой пшеницы ( $m^2/m^2$ ) и их коэффициенты корреляции с NDVI

№ поля	Фазы развития				R <sub>corr</sub>
	кущение	трубкавание	колошение	налив зерна	
2016 г.					
1	2,47	3,02	4,46	2,87	0,31
2	2,05	2,45	3,47	2,02	0,29
3	3,92	4,85	6,46	4,47	0,58
4	2,48	2,49	4,22	2,30	0,83
5	3,81	4,43	6,35	4,37	0,79
6	3,21	4,14	6,03	4,07	0,72
Среднее	2,99	3,56	5,17	3,35	0,69
2017 г.					
1	1,22	2,43	3,41	2,11	0,40
2	1,95	2,12	3,13	1,98	0,37
3	3,41	4,43	5,48	4,18	0,60
4	2,15	2,17	3,29	1,95	0,88
5	3,06	4,02	5,21	3,81	0,81
6	2,65	3,84	5,14	3,73	0,68
Среднее	2,41	3,17	4,28	2,96	0,61
R <sub>corr</sub> средн за 2016–17 гг.					0,65

Также был проведен анализ корреляционной связи между содержанием хлорофилла в листьях (для индекса MCARI/OSAVI, учитывающего количество зеленых пигментов в единице биомассы растений, в мг/г) и вегетационным индексом NDVI (табл. 2).

Чения полученных коэффициентов корреляции объясняются тем, что максимальная концентрация хлорофилла у озимой пшеницы имеет место в начальные периоды роста и развития, а далее происходит уменьшение

**Таблица 2**

Содержание хлорофилла (по индексу MCARI/OSAVI) в листьях озимой пшеницы (мг/г) и их коэффициенты корреляции с NDVI

№ поля	Фазы развития				R <sub>corr</sub>
	кущение	трубкование	колошение	налив зерна	
2016 г.					
1	4,62	3,02	1,32	0,80	-0,87
2	4,07	2,11	0,87	0,79	-0,91
3	4,65	2,13	1,70	0,41	-0,64
4	5,12	2,39	2,31	0,56	-0,63
5	4,63	2,28	1,58	1,22	-0,90
6	5,08	2,03	1,89	0,78	-0,91
Среднее	4,70	2,33	1,61	0,76	-0,85
2017 г.					
1	3,63	1,69	2,29	1,91	-0,78
2	3,39	1,68	2,32	2,06	-0,87
3	3,83	1,69	2,18	1,59	-0,69
4	4,15	1,24	2,84	1,54	-0,61
5	3,02	1,78	2,29	1,36	-0,82
6	3,09	1,49	1,78	0,82	-0,93
Среднее	3,52	1,60	2,28	1,55	-0,82
R <sub>corr</sub> средн за 2016–17 гг.					-0,84

Коэффициенты корреляции в среднем по полям составили 0,85 (2016 г.) и 0,82 (2017 г.). То есть имеет место высокая степень взаимосвязи между относительным содержанием хлорофилла в единице биомассы растений озимой пшеницы и вегетационным индексом NDVI. Отрицательные зна-

количества зеленых пигментов в единице биомассы при одновременном росте NDVI.

Следующим этапом исследования было изучение связи урожайности озимой пшеницы с хлорофилловым фотосинтетическим потенциалом ХФСП и вегетационным фотосинтетическим потенциалом ВФСП (табл. 3).

ХФСП рассчитывался по формуле [6]:

$$XФСП = \sum_{i=1}^n \frac{Chl_i M_i + Chl_{i+1} M_{i+1}}{2} (d_{i+1} - d_i),$$

где *ChL* – относительное содержание хлорофилла в растениях; *M* – биомасса на 1 м<sup>2</sup> посева; *d* – дата отбора; *i* – порядковый номер отбора.

ВФСП рассчитывался по формуле

$$BФСП = \sum_{i=1}^n \frac{NDVI_i K_{mni} + NDVI_{i+1} K_{mni+1}}{2} (d_{i+1} - d_i),$$

где *NDVI* – вегетационный индекс посева; *K<sub>mn</sub>* – коэффициент поверхностной плотности посева (рассчитывается как отношение биомассы посева к 5000); *d* – дата отбора; *i* – порядковый номер отбора.

Таблица 3

Урожаи зерна по полям, фотопотенциалы посевов и коэффициенты корреляции

№ поля	Урожай, т/га	ХФСП, г/м <sup>2</sup> , сутки	ВФСП, NDVI, сутки
2016 г.			
1	4,98	50,9	19,2
2	5,47	25,6	14,7
3	5,92	89,4	37,8
4	4,88	38,7	10,1
5	6,46	87,8	32,9
6	6,12	92,3	35,7
Среднее по полям	5,64	64,1	25,1
R <sub>согг</sub> с урожаем зерна		0,80	0,85
2017 г.			
1	4,23	40,1	18,7
2	4,89	19,3	28,6
3	5,32	73,2	29,8
4	4,18	24,8	12,3
5	6,23	65,6	37,6
6	5,35	88,0	40,5
Среднее по полям	5,03	51,8	27,9
R <sub>согг</sub> с урожаем зерна		0,66	0,88

На заключительном этапе проводились расчеты с использованием предлагаемого в исследовании [7] вегетационного индекса фотосинтетического потенциала ВИФП. Этот показатель рассчитывается с использованием только данных дистанционного зондирования земли, то есть данных, которые могут быть получены из Веб-ГИС систем. При выводе формулы расчета ВИФП использовались следующие факты:

1. Поглощение в красной области спектра электромагнитных волн у растений обусловлено наличием в них зеленых пигментов.

2. Отражение в ближней инфракрасной области спектра связано с площадью фотосинтезирующей поверхности посева.

3. Площадь ассимиляционной поверхности пропорциональна общей биомассе растений.

При замене величины относительного содержания хлорофилла на коэффициент поглощения в красной области спектра в формуле расчета ХФСП, а биомассы – на коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра получается расчетная формула для ВИФП:

$$ВИФП = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - RED_i)NIR_i + (1 - RED_{i+1})NIR_{i+1}}{2} (d_{i+1} - d_i),$$

где  $RED$  – отражение посева в красной области спектра;  $NIR$  – отражение спектра в ближней инфракрасной области;  $d$  – дата измерений;  $i$  – порядковый номер измерений.



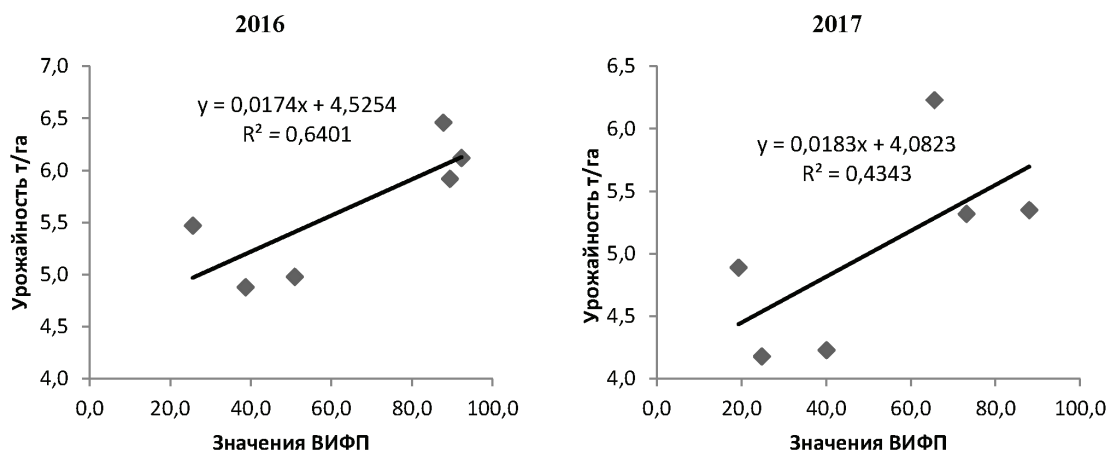


Рис. 2. Зависимости (линейная регрессия) урожайности озимой пшеницы от вегетационного индекса фотосинтетического потенциала ВИФП

На рис. 2 показаны зависимости (линейная регрессия) величины урожая от ВИФП-индекса.

### Заключение

Полученные результаты показывают определенное преимущество вегетационного индекса фотосинтетического потенциала ВИФП при расчетах урожайности озимой пшеницы, заключающееся в том, что эти расчеты могут быть выполнены в короткие сроки с использованием только данных дистанционного зондирования. При этом не требуется выполнять какие-либо измерения непосредственно на земле. Эти обстоятельства упрощают процедуру расчетов. Однако, судя по полученным в нашем исследовании результатам, наилучшая корреляционная связь имеет место в случае использования показателя ВФСР, при этом необходимо предварительно вычислять значение коэффициента поверхностной плотности посева  $K_{плп}$  для конкретного поля. То есть необходимо выполнять измерения на земле.

Также необходимо отметить, что полученные в исследовании результаты в части

расчета урожайности, не учитывают и не могут учитывать негативное влияние неблагоприятных погодных условий, которые как нигде сказываются в сельском хозяйстве.

### Список литературы

1. Веб-ГИС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovzond.ru/services/gis/web/> (дата обращения: 02.08.2017).
2. Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА» / В.А. Толпин [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27, № 7 (306). – С.581–586.
3. Группировка PlanetScope – космический помощник фермеров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovzond.ru/press-center/news/market/3203/> (дата обращения: 02.08.2017).
4. Космическая съемка. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.scanex.ru/data/satellites/> (дата обращения: 02.08.2017).
5. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Н.Н. Кузусул [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9, № 1. – С. 95–107.
6. Ерошенко Ф.В., Дуденко Н.В. Оценка продуктивности фотосинтеза растений // Уральский научный вестник. – 2016. – Т. 5, № 2. – С. 108–120.
7. Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О. Данные дистанционного зондирования и фотосинтетическая продуктивность посевов озимой пшеницы // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 4(24). – С. 157–162.