

**Глава I/88: ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ С ПОМОЩЬЮ СЕРВИСОВ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**  
**Chapter I/88: Evaluation of Winter Wheat Yield Through the Services of Geoinformation Systems**

**Рашид К. Тугуз\*<sup>1</sup>; Адам Х. Панеш<sup>2</sup>**

DOI 10.25680/6129.2018.76.74.088

\*Эл. Почта: [gnuaniish@mail.ru](mailto:gnuaniish@mail.ru)

1. Адыгейский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, ул. Ленина 48, 385064 п. Подгорный, Майкоп, Россия

2. Адыгейский государственный университет, Факультет математики и компьютерных наук, ул. Первомайская 208, 385000 Майкоп, Россия

**РЕЗЮМЕ.** Отмечается возрастающее распространение сервисов геоинформационных систем (ГИС), доступ к которым осуществляется через Интернет. В исследовании 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. Также выявлены взаимосвязи между вегетационным индексом NDVI, площадью ассимиляционной поверхности и содержанием хлорофилла в растениях. Исследования проводились на производственных посевах Адыгейского НИИ сельского хозяйства (Майкоп, Россия) в 2016-2017 гг. 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.).

**Abstract.** An increasing extension of services of geographic information systems (GIS) accessed via the Internet is noted. The study examined the relationship of winter wheat yield with chlorophyll photosynthetic potential HPSP and vegetation photosynthetic potential VPSP. Regressive dependences of winter wheat yield and vegetation index photosynthetic potential VIPP were calculated. We have also 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 (Maikop, Russia) in 2016-2017. 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).

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

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

**ВВЕДЕНИЕ**

Использование геоинформационных технологий в сельском хозяйстве получает все большее распространение. Особенно быстро развиваются сервисы геоинформационных систем (ГИС), доступ к которым предоставляется через Интернет (Веб-ГИС) [1]. В Веб-ГИС могут быть реализованы почти все функции, доступные в настольной ГИС. Для работы в Веб-ГИС пользователю не требуется квалификация ГИС-специалиста или специализированное программное обеспечение. Достаточно наличия веб-браузера и подключения к Интернет. Также большим преимуществом являются незначительные расходы на подключение к Веб-ГИС сервису по сравнению с созданием настольного (серверного) ГИС-приложения. Указанные преимущества позволяют использовать Веб-ГИС не только крупными агропредприятиями, но и

отдельными фермерами при возделывании, в частности, зерновых культур [2]. Появилась возможность спутникового мониторинга и оценки характеристик растительности не только на больших территориях, но и на отдельных полях площадью в несколько гектаров. Это стало возможным в связи с предоставлением пользователям Веб-ГИС космических снимков высокого пространственного разрешения в 3 м. или даже в 1 м. [3].

На рынке геоинформационных услуг для сельского хозяйства имеет место значительная конкуренция. В России широкое распространение получают Веб-ГИС системы «Вега» Института космических исследований Российской академии наук (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., PlanetScore -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. 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.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В последние годы проводится немало исследований, посвященных прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур [4,5]. В этих исследованиях используются различные методы: визуальная оценка состояния полей, статистическая обработка, поиск и сравнение по году-аналогу, построение моделей роста, разработка регрессивных подходов. В частности, для мониторинга и прогнозирования урожайности активно используется и вегетационный индекс NDVI. Спутниковая группировка Sentinel-2, чьи снимки используют многие Веб-ГИС, предоставляет своим пользователям для расчета NDVI снимки в спектральных каналах B4 (665 нм.) и B8 (842 нм.) с пространственным разрешением 10 м. [6]. Проводимые исследования показывают, что урожайность озимой пшеницы демонстрирует во многих случаях наличие достаточно тесной корреляции с NDVI. Однако наличие такой корреляции не отличается стабильностью. По этой причине проводились исследования по разработке новых, отличающихся более высоким уровнем инвариантности взаимосвязей, более высоким уровнем достоверности вегетационных индексов, демонстрирующих наличие достаточно устойчивой и тесной взаимосвязи с величиной урожайности озимой пшеницы [7,8]. Данное исследование посвящено анализу методов расчета вегетационных индексов, предлагаемых в работах [7,8], практической их проверке и выявлению наиболее оптимального вегетационного индекса для расчетов. Исследования проводились в 2015-2016 и 2016-2017 сельскохозяйственные годы. Объекты исследований – производственные посевы Адыгейского НИИ сельского хозяйства (Майкоп, Россия, по 6 полей, Рисунок 1). 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». Сбор наземных данных о характеристиках посевов озимой пшеницы проводился в различных фазах развития: кущение, трубкование, колошение, налив зерна. Отборы проводились с учетных площадок площадью 0,25 м<sup>2</sup> в 6-кратной повторности. Площадь ассимиляционной поверхности определялась весовым методом. Показатели фотосинтетической продуктивности рассчитывались по формулам из [7, 8].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И 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 (Таблица 1).



**Рисунок 1-** Опытное поле Адыгейского научно-исследовательского института сельского хозяйства.  
 Фото: АДЫГЕЙСКИЙ НИИСХ  
 (<http://adygniish.ru/index.php/ob-institute>)

**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       | трубкование | 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              |

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 значения полученных коэффициентов корреляции объясняются тем, что максимальная концентрация хлорофилла у озимой пшеницы имеет место в начальные периоды роста и развития, а далее происходит уменьшение количества зеленых пигментов в единице биомассы при одновременном росте NDVI.

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 (Таблица 2).

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

**Таблица 2-** Содержания хлорофилла (по индексу MCARI/OSAVI) в листьях озимой пшеницы (мг/г) и их коэффициенты корреляция 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             |

**Таблица 3 -** Урожай 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                           | 5,64         | 64,1                           | 25,1              |
| R <sub>corr</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                           | 5,03         | 51,8                           | 27,9              |
| R <sub>corr</sub> с урожаем зерна |              | 0,66                           | 0,88              |

ХФСП рассчитывался по формуле [7]:

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

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:

$$\text{ВФСП} = \sum_{i=1}^n \frac{NDVI_i * K_{\text{плп}} + NDVI_{i+1} * K_{\text{плп}+1}}{2} * (d_{i+1} - d_i),$$

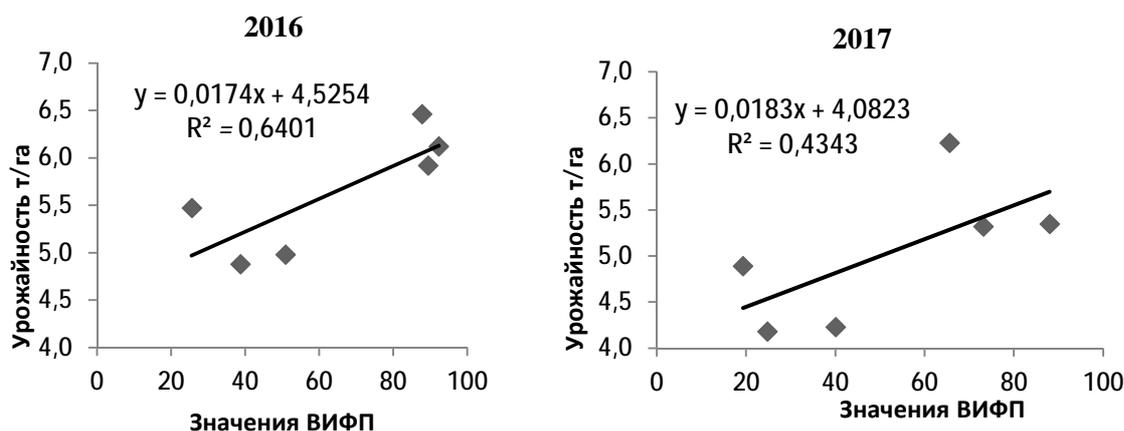
где: *NDVI*-вегетационный индекс посева; *K<sub>плп</sub>*-коэффициент поверхностной плотности посева (рассчитывается как отношение биомассы посева к 5000); *d*-дата отбора; *i*-порядковый номер отбора.

На заключительном этапе проводились расчеты с использованием предлагаемого в исследовании [8] 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.

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

где: *RED*-отражение спектра в красной области спектра; *NIR*- отражение спектра в ближней инфракрасной области; *d*-дата измерений; *i*-порядковый номер измерений.

Ниже показаны зависимости (линейная регрессия) величины урожая от ВИФП-индекса (Рисунок 2).



**Рисунок 2-** Зависимости (линейная регрессия) урожайности озимой пшеницы от вегетационного индекса фотосинтетического потенциала ВИФП

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Расчеты урожайности озимой пшеницы с использованием индекса ВИФП имеют определенное преимущество, так как могут быть выполнены в короткие сроки с использованием только данных дистанционного зондирования.
2. Наилучшая корреляционная связь имеет место в случае использования индекса ВФСП, при этом необходимо предварительно вычислять значение коэффициента поверхностной плотности посева  $K_{\text{плп}}$  для конкретного поля.
3. Полученные в исследовании результаты в части расчета урожайности не учитывают,- и не могут учитывать, негативное влияние неблагоприятных погодных условий.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pascaul, M., Alves, E., Almeida, T., França, G., Roig, H., Holanda M. An Architecture for Geographic Information Systems on the Web – webGIS. In: GEOProcessing 2012 : The Fourth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services, pp. 209-214.
- [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 PlanetScore – космический помощник фермеров. [Электронный ресурс]. URL: <https://sovzond.ru/press-center/news/market/3203/>. Дата обращения: 05.09.2017.
- [4] Becker-Reshef I., Vermote E., Lindeman M., Justice C., A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data, Remote Sensing of Environment, 2010, 114 (6), pp. 1312–1323.
- [5] Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Н.Н. Куссуль [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2012. – Т. 9. -№ 1. – С. 95-107.
- [6] Spatial Resolution. [Электронный ресурс]. URL: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>. Дата обращения: 05.09.2017.
- [7] Ерошенко Ф.В., Дуденко Н.В. Оценка продуктивности фотосинтеза растений // Уральский научный вестник. – 2016. - Т. 5. - № 2. – С. 108-120.

[8]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.

**Глава I/89: ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В АНАЛИЗЕ  
ЛАНДШАФТНОГО РАЗНООБРАЗИЯ МАЛОНАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**  
**Chapter I/89: Forest Characteristics in the Analysis of Landscape Diversity of Largely Intact Areas**

**Елена М. Климина\*, Анатолий А. Бабурин**

DOI 10.25680/5224.2018.48.43.089

\*Эл. Почта: [kliminaem@bk.ru](mailto:kliminaem@bk.ru)

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, 680000, ул. Дикопольцева, 64, Хабаровск, Россия.

**РЕЗЮМЕ.** Многолесные территории большинства краев и областей восточных регионов России часто рассматриваются как ненарушенные или малонарушенные. Однако, несмотря на сохранение значительных площадей данных лесов, по сравнению с западными регионами России, отмечается ухудшение их качества, усиление раздробленности и фрагментации контуров. При переходе на уровень муниципальных районов выявляются значительные расхождения в структуре землепользования, сочетании и динамике лесорастительных характеристик. Рассматривая динамику ненарушенных площадей как критерий устойчивого развития территории, при совмещении методов анализа лесорастительных характеристик и ландшафтного подхода можно выявить реальные тенденции, а через анализ структуры геосистем – качественные и количественные характеристики этой динамики. На примере Хабаровского края России рассматриваются возможности анализа лесорастительных характеристик на основе ландшафтного подхода, применения метода оценки состояния лесной растительности через расчеты средних запасов древесины по трем категориям – фоновому, теневому и оперативному.

**Abstract.** The areas rich in forests in most regions of the eastern territories of Russia are often regarded as undisturbed or intact. However, despite the preservation of significant areas of these forests in comparison with the western regions of Russia, there is a deterioration in their quality, increased fragmentation and fragmentation of contours. The transition to municipal areas reveals significant differences in the structure of land use and the combination and dynamics of forest plant composition. Considering the dynamics of undisturbed areas as a criterion for sustainable development of a territory, combining methods for analyzing forest characteristics applying a landscape approach, one can identify real trends, and through analysis of the structure of geosystems - the qualitative and quantitative characteristics of this dynamics. On the example of the Khabarovsk Territory of Russia, the possibilities of analyzing forest characteristics based on an landscape approach, applying the method of assessing the state of forest vegetation through calculations of average timber reserves in three categories - reference, shadow (теневой запас) and operational ones - are considered.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ландшафтное разнообразие, лесорастительные характеристики, лесистость.

**Keywords:** landscape diversity, forest characteristics, amount of woodland.

**ВВЕДЕНИЕ**

Комплексный характер анализа геосистем предполагает использование методов смежных наук в оценке ландшафтного разнообразия (ЛР). Исследование ЛР, под которым понимается число природно-территориальных комплексов, особенности их пространственного сочетания в пределах какого-либо региона, разнообразие иерархической организации природных систем, предполагает помимо интегрального применения частных оценок состояния разных компонентов геосистем [1]. К их числу относятся оценки состояния лесной растительности.