

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.19>**ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Научная статья

Липна Л.Н.¹, Фролов А.Н.²*¹ ORCID : 0000-0003-0725-5017;^{1,2} Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (2017105159[at]pnu.edu.ru)

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы применения информационных технологий, которые являются одним из современных направлений в развитии координатного или точного земледелия. Возможность применения данных дистанционного зондирования Земли позволяют применять для мониторинга использования земель Дальнего Востока. Для обработки и анализа полученных результатов ДЗЗ использовались профессиональные информационные сервисы (Vega-Pro), (Vega-Science) и компьютерные ГИС программы (MapInfo, ArcGIS). По рассчитанным вегетационным индексам NDVI выявлены проблемные участки опытного поля. Методом локальных отборов почв с применением систем глобального позиционирования, (их исследования) в системе координат можно установить недостаток питательных веществ в почве и рекомендовать вовремя внести удобрения с необходимыми элементами на разных этапах роста среднеспелого сорта овса на участках поля. Рассчитаны участки поля с низкой, средней и высокой вегетацией для описания основных характеристик и учета урожайности, что повысит эффективность принятия управленческих решений.

Ключевые слова: точное земледелие, опытное поле, дистанционное зондирование Земли, NDVI, GPS.**THE APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR IMPROVING AGRICULTURAL YIELDS**

Research article

Lipna L.N.¹, Frolov A.N.²*¹ ORCID : 0000-0003-0725-5017;^{1,2} Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation

* Corresponding author (2017105159[at]pnu.edu.ru)

Abstract

The article examines the application of information technology, which is one of the modern directions in the development of coordinate or precision agriculture. The possibility of applying Earth remote sensing data allows for the monitoring of land use in the Far East. Professional information services (Vega-Pro), (Vega-Science) and computer GIS programs (MapInfo, ArcGIS) were used for processing and analyzing obtained remote sensing results. According to the calculated vegetation indices NDVI, the problem areas of the experimental field were identified. By the method of local soil sampling with the use of global positioning systems, (their research) in the coordinate system, it is possible to identify the lack of nutrients in the soil and to recommend timely fertilization with necessary elements at different stages of growth of mid-season oat variety on the field plots. Plots of a field with low, medium and high vegetation are computed to describe the main characteristics and yield accounting, which will increase the efficiency of management decision-making.

Keywords: precision agriculture, test field, remote sensing, NDVI, GPS.**Введение**

Сельское хозяйство — это одна из крупных и наиболее важных отраслей экономики России. Оно должно не только обеспечивать продовольственную безопасность страны, но и иметь конкурентоспособность отечественных продуктов на мировых рынках. Сельское хозяйство Дальнего Востока развивается в сложных природно-климатических и экономических условиях. Более 80% территории макрорегиона относится к районам Крайнего Севера и приравненным к ним местностям. Сельскохозяйственные угодья занимают 1,2%, а пашня – 0,4% от земельного фонда Дальнего Востока [1]. Ведение сельскохозяйственной деятельности в таких сложных условиях требует неизмеримо больших затрат человеческого и производственного капитала. Благодаря развитию средств связи, спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС, компьютеризации и использованию навигационных и информационных технологий в области автоматизации сельскохозяйственного производства появилась возможность применения новой системы земледелия – координатного или точного земледелия (precision agriculture).

Координатное (точное) земледелие представляет систему управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур, основанную на комплексном использовании современных информационных, навигационных и телекоммуникационных технологий, программно-технических средств и систем, обеспечивающих оптимизацию агротехнологических решений и является одним из современных направлений в развитии ресурсосберегающего земледелия [2]. В ряде работ Балабанова В.И., Березовского Е.В., Личман Г.И., Марченко Н.М., Дринча В.М. и др. рассматривались проблемы и опыт применения технологии точного земледелия [3], [4], [5], [6]. Однако внедрению технических решений и технологий, формирующих так называемое точное сельское хозяйство, а

именно применительно к конкретным почвенно-климатическим и хозяйственным условиям уделено недостаточно внимания.

Целью данной работы является возможность использования данных ДЗЗ в точном земледелии для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. Для решения поставленной цели необходимо решить основные задачи:

- получить точные данные о многочисленных характеристиках выращиваемых культур в режиме реального времени,
- повысить эффективность принятия управленческих решений, на основе полученных данных за счет точного (дифференцированного) расчета норм внесения удобрений и гербицидов.

Методы и принципы исследования

В данной работе использовались данные дистанционного зондирования Земли, полученные со спутников Европейского космического агентства серии Sentinel-2, предназначенных для мониторинга использования земель, растительности, лесных и водных ресурсов.

Для обработки и анализа полученных результатов космического зондирования использовались географические информационные системы [7]. В них входят профессиональные информационные сервисы анализа данных спутниковых наблюдений (Beta-Pro), (Beta-Science), и различные компьютерные ГИС программы (MapInfo, ArcGIS). Для получения данных вегетационного индекса NDVI была использована компьютерная программа «Earth observing system stop-monitoring». Одним из самых популярных вегетационных индексов является NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный вегетационный индекс). Для расчета индекса NDVI используется формула [8]:

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

где NIR – ближний инфракрасный цвет, а RED – видимый красный свет.

Согласно этой формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Значения NDVI для растений лежат в диапазоне от 0 до 1 [9], [10]. Разница в динамике индекса вегетации говорит о диспропорциях в развитии в пределах одной культуры или поля.

Для отбора агрохимических проб почвы в системе координат был использован GNSS приемник EFT M3. Данный прибор базируется на высокотехнологичной GNSS-плате Trimble BD970 с технологией Trimble Maxwell 6 для отслеживания данных со спутников на 220 каналах. Интегрированная GNSS-антенна широкого диапазона позволяет отслеживать сигналы всех имеющихся на сегодняшний день спутниковых систем позиционирования: GPS, включая L2C и L5, ГЛОНАСС, BEIDOU, GALILEO, QZSS, SBAS [12].

В результате исследования, необходимо выявить какие участки опытного поля на разных этапах роста среднеспелого сорта овса являются проблемными для своевременного реагирования в период вегетации этой сельскохозяйственной культуры.

Объект и результаты исследования

В качестве объекта исследования рассматривалось опытное поле №162 «Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства», расположенного вблизи села Чистополье, Хабаровского края, Хабаровского района в кадастровом квартале 27:17:0329201 [13]. Характеристики опытного поля: площадь составляет 10 гектар, тип почв лугово-бурые, по механическому составу представляет тяжелый суглинок. Содержания подвижного фосфора 40 мг/кг, обменного калия 155 мг/кг, кислотность pH составляет 4,5, органическое вещество 3,8%. На данном поле в период исследования был посеян среднеспелый сорт овса «Маршал», который имеет вегетационный период 78-90 дней, средняя урожайность в Дальневосточном регионе составляет 36,4 ц/га, поэтому созрела необходимость совершенствовать технологии.

На разных фазах вегетационного периода на опытном поле были отобраны агрохимические пробы почвы в системе координат (используя материалы ДЗЗ) для дальнейшего анализа в лаборатории «ДВНИИСХ», с целью получения данных о содержании питательных веществ. Отбор проб был сделан по результатам анализа космических снимков с высоким (более 0,65) средним 0,6–0,65) и низким (порядка 0,3–0,4) вегетационным индексом NDVI [14].

Первый локальный отбор агрохимических проб в системе координат был сделан по космическому снимку, обработанному в программе «Earth observing system stop-monitoring» с получением показателей по вегетационному индексу NDVI 13.06.2022 года, что соответствовала вегетационной фазе кущения овса.

Космический снимок вегетационного индекса NDVI и результаты агрохимического анализа с данными по содержанию питательных веществ в почве представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты агрохимических показателей на 13.06.2022 года
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.19.1>

Космический снимок вегетационного индекса NDVI	Номер агрохимической пробы	Показатели индекса NDVI	Фосфор, мг/100гр	Азот, мг/кг	Калий, мг/100гр
	Высокая вегетация (B1)	0,75	2,97	19,28	6,82
	Высокая вегетация (B2)	0,73	2,41	4,99	12,07
	Низкая вегетация (H1)	0,51	0,75	4,19	5,61
	Низкая вегетация (H2)	0,52	0,75	3,64	4,7
	Средняя вегетация (C)	0,6	2,7	4,65	11,19

По данным таблицы можно сделать вывод, что в почве на участках опытного поля с низкой вегетацией наблюдается нехватка фосфора (P_2O_5), так же можно увидеть, что есть небольшая нехватка калия (K_2O).

Второй локальный отбор агрохимических проб в системе координат был сделан по космическому снимку, обработанному в программе «Earth observing system crop-monitoring» с получением показателей по вегетационному индексу NDVI 28 июня, что соответствует вегетационной фазе выхода в трубку овса.

Космический снимок вегетационного индекса NDVI и результаты агрохимического анализа с данными по содержанию питательных веществ в почве представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты агрохимических показателей на 28.06.2022 года
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.19.2>

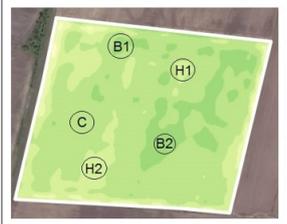
Космический снимок вегетационного индекса NDVI	Номер агрохимической пробы	Показатели индекса NDVI	Фосфор, мг/100гр	Азот, мг/кг	Калий, мг/100гр
	Высокая вегетация (B1)	0,95	3,97	2,75	6,16
	Высокая вегетация (B2)	0,92	4,19	3,39	6,54
	Низкая вегетация (H1)	0,65	2,12	3,96	9,28
	Низкая вегетация (H2)	0,66	3,17	3,09	19,74
	Средняя вегетация (C)	0,75	3,72	3,07	3,61

По данным таблицы можно сделать вывод, что в почве на участках поля с низкой вегетацией так же наблюдается нехватка фосфора (P_2O_5), а содержания калия (K_2O) довольно большое.

Третий локальный отбор агрохимических проб в системе координат был сделан по космическому снимку, обработанному в программе «Earth observing system crop-monitoring» с получением показателей по вегетационному индексу NDVI 27 июля, что соответствует вегетационной фазе созревания зерна овса.

Космический снимок вегетационного индекса NDVI и результаты агрохимического анализа с данными по содержанию питательных веществ в почве представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты агрохимических показателей на 27.07.2022 года
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.19.3>

Космический снимок вегетационного индекса NDVI	Номер агрохимической пробы	Показатели индекса NDVI	Фосфор, мг/100гр	Азот, мг/кг	Калий, мг/100гр
	Высокая вегетация (B1)	0,77	5,58	1,64	6,23
	Высокая вегетация (B2)	0,79	5	1,12	6,47
	Низкая вегетация (H1)	0,55	2,78	1,68	5,14
	Низкая вегетация (H2)	0,54	3,78	2,8	6,58
	Средняя вегетация (C)	0,62	3,67	2,26	4,72

По данным таблицы можно сделать вывод, что в почве на участках с низкой вегетацией все так же наблюдается нехватка фосфора (P_2O_5), другие питательные элементы, такие как калий (K_2O) и азот ($N-NH_4$) практически равны.

Непосредственно перед уборкой сельскохозяйственной культуры, в данном случае овса сорта «Маршал», были собраны для анализа снопы с участков поля с низкой, средней и высокой вегетацией для описания основных характеристик и учета урожайности. Данные характеристики и урожайность сельскохозяйственной культуры (овса) показаны в таблице 4.

Таблица 4 - Основные характеристики сельскохозяйственной культуры (овса) на поле

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.131.19.4>

Степень вегетации	Площадь участков поля, га	Длина стебля, см	Количество стеблей на 25 см. ² , шт	Вес зерна на 25 см. ² , г	Вес зерна на 1 м. ² , г	Урожайность с гектара, ц
Высокая	1,49	120	201	167,6	670,4	67,04
Средняя	8,34	102	138	104,35	417,4	41,74
Низкая	0,61	85	76	41,1	164,4	16,44

Из данных таблицы можно сделать вывод, если бы на всем опытном поле вегетационный индекс NDVI был бы высоким, то урожай зерна составлял бы 670 центнеров, так он составляет 450 центнеров. Так как было установлено, что на вегетацию значительно влияет содержание фосфора (P_2O_5) в почве, то зная проблемные участки поля, необходимо было внести удобрения, в частности фосфоритную муку, это могло бы увеличить урожай практически на 30%.

Заключение

В результате исследования было показано, что по материалам дистанционного зондирования Земли возможно проводить дистанционный мониторинг сельскохозяйственных культур. По рассчитанным вегетационным индексам NDVI выявлены проблемные участки опытного поля. С применением систем глобального позиционирования, методом локальных отборов почв в системе координат можно установить недостаток питательных веществ в почве и рекомендовать вовремя внести удобрения с необходимыми элементами на разных этапах роста среднеспелого сорта овса на участках поля.

Рассчитаны участки поля с низкой, средней и высокой вегетацией для описания основных характеристик и учета урожайности.

Считаем целесообразным повышать эффективность сельскохозяйственного производства с помощью расширения и ускорения использования точного земледелия, что будет способствовать высокой урожайности сельскохозяйственных культур и, как следствие, устойчивому сельскому хозяйству на Дальнем Востоке.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Асеева Т.А. Сельское хозяйство Дальнего Востока: условия, проблемы и потенциал развития / Т.А. Асеева, Е.П. Киселев, Г.И. Сухомиров; под ред. Н.Е. Антоновой. — Хабаровск: Институт экономических исследований Дальневосточного отделения РАН, 2020. — 162 с.
2. Дальний Восток в фокусе. Обзор ситуации в сельском хозяйстве Дальневосточного федерального округа. — URL: <https://www.agroinvestor.ru/opinion/article/35202-dalniy-vostok-v-fokuse-obzor-situatsii-v-selskom-khozyaystve-dalnevostochnogo-federalnogo-okruga/> (дата обращения: 18.02.2023).
3. Васильев М.П. Цифровые технологии в управлении производственным процессом растений / М.П. Васильев // Агротехническое обеспечение цифрового земледелия: Материалы Международной научной конференции, Москва, 01-02 октября 2019 года / Под ред. В.Г. Сычева. — Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2019. — С. 89-93.
4. Березовский Е.В. Опыт применения технологий точного земледелия в компании Amazone / Е.В. Березовский // Агротехническое обеспечение цифрового земледелия: Материалы Международной научной конференции, Москва, 01—02 октября 2019 года / Под ред. В.Г. Сычева. — Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2019. — С. 84-88.
5. Cheng S. Uncertainties of Soil Moisture in Historical Simulations and Future Projections / S. Cheng, J. Huang, F. Ji [et al.] // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2017. — № 122(4). — P. 2239-2253.

6. Ji M. Comparison of Dryland Climate Change in Observations and CMIP5 Simulations / M. Ji, J. Huang, Y. Xie [et al.] // *Advances in Atmospheric Sciences*. — 2015. — № 32(11). — P. 1565-1574.
7. Лупян Е.А. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») / Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Барталев [и др.] // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2011. — Т. 8. — № 1. — С. 190-198.
8. Воробьев О.Н. Анализ трендов временных рядов вегетационных индексов по данным MODIS для оценки влияния засух на лесные насаждения Среднего Поволжья с 2000 по 2020 год / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, Д. Ша [и др.] // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2022. — Т. 19. — № 4. — С. 181-194.
9. NDVI — теория и практика. — URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 17.02.2023).
10. Фролов А.Н. Некоторые возможности использования вегетационных индексов для мониторинга растительности в период вегетации / А.Н. Фролов, Л.Н. Липина // *Материалы 62-й студенческой научно-практической конференции инженерно-строительного института ТОГУ: Доклады студентов, магистров и аспирантов исследовательских работ, Хабаровск, 01-30 апреля 2022 года*. — Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2022. — С. 93-96.
11. Romanelli J.P. Assessing Ecological Restoration as a Research Topic Using Bibliometric Indicators / J.P. Romanelli, J.T. Fujimoto, M.D. Ferreira [et al.] // *Ecol. Eng.* — 2018. — № 120. — P. 311-320.
12. Приемник EFT M3 GNSS. — URL: <https://www.geo-spektr.ru/gps-priyomniki/eft/EFT-M3-GNSS.html> (дата обращения: 17.02.2023).
13. Публичная кадастровая карта. — URL: <http://pk5.rosreestr.ru/> (дата обращения: 17.02.2023).
14. Труфляк Е.В. Точное сельское хозяйство / Е.В. Труфляк. — Лань, 2021. — 512 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aseeva T.A. Sel'skoe hozjajstvo Dal'nego Vostoka: uslovija, problemy i potencial razvitija [Agriculture of the Far East: Conditions, Problems and Development Potential] / T.A. Aseeva, E.P. Kiselev, G.I. Suhomirov; ed. by N.E. Antonova. — Khabarovsk: Institute for Economic Research of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020. — 162 p. [in Russian]
2. Dal'nij Vostok v fokuse. Obzor situacii v sel'skom hozjajstve Dal'nevostochnogo federal'nogo okruga [Far East in Focus. An overview of the Situation in Agriculture in the Far East Federal District]. — URL: <https://www.agroinvestor.ru/opinion/article/35202-dalniy-vostok-v-fokuse-obzor-situatsii-v-selskom-khozyaystve-dalnevostochnogo-federalnogo-okruga/> (accessed: 18.02.2023). [in Russian]
3. Vasil'ev M.P. Cifrovye tehnologii v upravlenii produkcionnym pro-cessom rastenij [Digital Technologies in the Management of the Production Process of Plants] / M.P. Vasil'ev // *Agrohimicheskoe obespechenie cifrovogo zemledelija: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Moskva, 01-02 oktjabrja 2019 goda* [Agrochemical Support of Digital Farming: Proceedings of the International Scientific Conference, Moscow, October 01-02, 2019] / Ed. by V.G. Sycheva. — Moscow: All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikova, 2019. — P. 89-93. [in Russian]
4. Berezovskij E.V. Opyt primeneniya tehnologij tochnogo zemledelija v kom-panii Amazone [Experience in the Application of Precision Farming Technologies in the Amazone Company] / E.V. Berezovskij // *Agrohimicheskoe obespechenie cifrovogo zemledelija: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Moskva, 01—02 oktjabrja 2019 goda* [Agrochemical Support of Digital Agriculture: Proceedings of the International Scientific Conference, Moscow, October 01-02, 2019] / Ed. by V.G. Sychev. — Moscow: All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikova, 2019. — P. 84-88. [in Russian]
5. Cheng S. Uncertainties of Soil Moisture in Historical Simulations and Future Projections / S. Cheng, J. Huang, F. Ji [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2017. — № 122(4). — P. 2239-2253.
6. Ji M. Comparison of Dryland Climate Change in Observations and CMIP5 Simulations / M. Ji, J. Huang, Y. Xie [et al.] // *Advances in Atmospheric Sciences*. — 2015. — № 32(11). — P. 1565-1574.
7. Lupjan E.A. Sputnikovyj servis monitoringa sostojanija rastitel'nosti («VEGA») [Satellite Service for Monitoring the State of Vegetation ("VEGA")] / E.A. Lupjan, I.Ju. Savin, S.A. Bartalev [et al.] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space]. — 2011. — Vol. 8. — № 1. — P. 190-198. [in Russian]
8. Vorob'ev O.N. Analiz trendov vremennyh rjadov vegetacionnyh indeksov po dannym MODIS dlja ocenki vlijanija zasuh na lesnye nasazhdenija Srednego Povolzh'ja s 2000 po 2020 god [Analysis of Trends in Time Series of Vegetation Indices According to MODIS Data to Assess the Impact of Droughts on Forest stands in the Middle Volga region from 2000 to 2020] / O.N. Vorob'ev, Je.A. Kurbanov, D. Sha [et al.] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa* [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space]. — 2022. — Vol. 19. — № 4. — P. 181-194. [in Russian]
9. NDVI — teorija i praktika [NDVI — Theory and Practice]. — URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (accessed: 17.02.2023). [in Russian]
10. Frolov A.N. Nekotorye vozmozhnosti ispol'zovanija vegetacionnyh in-deksov dlja monitoringa rastitel'nosti v period vegetacii [Some Possibilities of Using Vegetation Indexes for Monitoring Vegetation during the Growing Season] / A.N. Frolov, L.N. Lipina // *Materialy 62-j studencheskoj nauchno-prakticheskoj konferencii inzhenerno-stroitel'nogo instituta TOGU : Doklady studentov, magistrrov i aspirantov issledovatel'skih rabot, Habarovsk, 01-30 aprilja 2022 goda* [Proceedings of the 62nd Student Scientific and Practical Conference of the Civil Engineering Institute of the TOGU: Reports students, masters and postgraduate research papers, Khabarovsk, 01—30 April 2022]. — Khabarovsk: Pacific State University, 2022. — P. 93-96. [in Russian]

11. Romanelli J.P. Assessing Ecological Restoration as a Research Topic Using Bibliometric Indicators / J.P. Romanelli, J.T. Fujimoto, M.D. Ferreira [et al.] // *Ecol. Eng.* — 2018. — № 120. — P. 311-320.
12. Приемник EFT M3 GNSS [EFT M3 GNSS receiver]. — URL: <https://www.geo-spektr.ru/gps-priyomniki/eft/EFT-M3-GNSS.html> (accessed: 17.02.2023). [in Russian]
13. Publichnaja kadastravaja karta [Public cadastral map]. — URL: <http://pkk5.rosreestr.ru/> (accessed: 17.02.2023). [in Russian]
14. Truflyak E.V. *Tochnoe sel'skoe hozjajstvo [Precision Agriculture]* / E.V. Truflyak. — Lan', 2021. — 512 p. [in Russian]