

УДК 551.578.7

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

АНАЛИЗ КОНТРОЛЬНОГО ПОЛЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УЩЕРБА ОТ ГРАДОБИТИЯ ДИСТАНЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Лиев Кайсын Борисович
к. ф.-м. н.
e-mail: buffy_li@mail.ru

Кущев Станислав Александрович
мнс
e-mail: stasuk6@mail.ru

Гергоков Ахмат Хисаевич
нс
e-mail: ahmat-0007@mail.ru
*ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»,
Российская Федерация, 360030, г. Нальчик, пр-т
Ленина, 2*

Цель данной работы является определение хода нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) на всех стадиях развития культуры. В статье рассмотрен вопрос использования дистанционных методов для анализа ущерба сельскохозяйственным культурам от градобития. В качестве основы для сопоставления данных поврежденных участков использовано контрольное поле кукурузы, не подвергавшееся воздействию неблагоприятных метеорологических явлений. Съёмки проводились с использованием беспилотной авиационной системы Geoscan Gemini, оснащённой мультиспектральной камерой, и спутниковых данных. Результаты показали высокую корреляцию между данными, полученными с беспилотника и со спутника. Установлено, что активный рост NDVI наблюдается в период 25–60 суток после посадки, а снижение индекса начинается примерно с 100-го дня. Полученные зависимости предложено использовать как эталонные при дистанционной оценке ущерба кукурузных полей, подвергшихся градобитию, в случаях отсутствия неповрежденных участков для сравнения

Ключевые слова: NDVI, ГРАДОБИТИЕ, ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ, GEOSCAN GEMINI, МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ КАМЕРА, КУКУРУЗА, БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-216-016>

UDC 551.578.7

4.1.3. Agrochemistry, agro soil science, plant protection and quarantine

ANALYSIS OF THE CONTROL AREA WHEN ASSESSING HAIL DAMAGE USING REMOTE SENSING METHODS

Liev Kaisyn Borisovich
Candidate of Physical and Mathematical Sciences
e-mail: buffy_li@mail.ru

Kuschev Stanislav Alexandrovich
Junior Researcher
e-mail: stasuk6@mail.ru

Gergokov Akhmat Khisaevich
Researcher
e-mail: ahmat-0007@mail.ru
*Federal State Budgetary Institution "Visokogornii
Geophysical Institute", Russian Federation 360030,
Nalchik, prospect Lenina, 2*

To determine the trend of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) across all crop development stages. This article addresses the use of remote sensing methods for analyzing hail damage to agricultural crops. An undamaged control cornfield, not exposed to adverse meteorological events, was used as a baseline for comparing data from damaged areas. Surveys were conducted using the Geoscan Gemini unmanned aerial system equipped with a multispectral camera, supplemented by satellite data. The results showed a high correlation between data acquired from the unmanned aerial vehicle (UAV) and satellite. It was established that active NDVI growth occurs 25–60 days after planting, while a decline in the index begins around the 100th day. The obtained relationships are proposed for use as a reference in the remote assessment of damage to cornfields affected by hail, in cases where undamaged areas for direct comparison are unavailable

Keywords: NDVI, HAIL DAMAGE, REMOTE SENSING, GEOSCAN GEMINI, MULTISPECTRAL CAMERA, CORN, UNMANNED AERIAL SYSTEMS

Введение

В последнее время в СМИ всё чаще появляется информация о небывалых грозах с крупным градом по всей территории РФ, но самым градоопасным регионом нашей страны по-прежнему остается Северный Кавказ.

Больше всего от градобитий в России страдает сельское хозяйство. Сельскохозяйственные культуры могут получить сильно ущерб даже из-за мелкого града, а в сочетании с мощным ливнем и приземным ветром могут, уничтожать урожай, ломая даже стебли растений. Полностью предотвратить ущерб, причиняемый градом, может быть сложно, на самом деле следует учитывать, что это многофакторное атмосферное явление и проведение активного воздействия на такие виды процессы не всегда приводит к желаемому результату, следовательно, фермерам-производителям остается полагаться на успешность воздействия и возмещение убытков страховыми фирмами [1].

Материалы и методы исследования

Существуют руководящие документы о порядке определения ущерба сельскохозяйственным культурам, но данный документ регламентирует наземные исследования и подсчёт побитых растений на квадратный метр и в дальнейшем распространяется на всё поле, подвергшееся градобитию. Однако град выпадает не равномерно, часто полосами или пятнами, в некоторых местах одного и того же поля возможна различная концентрация градин и тем самым различная кинетическая энергия, от которой на прямую и зависит ущерб [2]. В современных реалиях нам на помощь приходят современные технологии, это спутники и беспилотные летательные аппараты (далее БАС) [3].

С развитием дистанционного зондирования Земли и использованием многозональных космических снимков в исследовании изменений

экосистем стали активно применяться вегетационные индексы, из которых наиболее распространенный и эффективный – нормализованный относительный индекс растительности Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [4]. В ранее сделанных нами работах, мы подробно описали возможность использования дистанционных методов для анализа ущерба от градобития сельхоз культурам, с применением нормализованного вегетационного индекса NDVI [5]. Так же из этих работ вытекает, что для более точного определения ущерба необходимо использовать так называемое контрольное поле, которое не подвергалось градобитию или другим природным катаклизмам. Оно необходимо для сравнения индекса NDVI побитого поля с контрольным, но не всегда возможно найти поле той же культуры рядом с побитым полем в том же вегетационном периоде [6]. В качестве экспериментального объекта было выбрано поле кукурузы, поскольку посевы данной культуры в регионе Северного Кавказа наиболее часто подвергаются повреждениям в результате градобитий. В процессе его развития мы анализировали вегетационный индекс, с момента посадки до уборки было проведено 27 вылетов, и получено 15 спутниковых снимков. С целью применения его в качестве контрольного поля при обследовании ущерба после градобития. Средние значения индекса NDVI для каждой даты были получены путём пространственного усреднения значений NDVI по контуру конкретного сельскохозяйственного поля.

Целью данной работы является нахождение нормализованного индекса NDVI для поля кукурузы на всех этапах его развития.

Исследования проводились на научно-исследовательском полигоне (НИП) ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», место расположения которого находится в центре сельскохозяйственных угодий. Для эксперимента было подобрано поле кукурузы недалеко от НИП.

Следует отметить, что в процессе исследования культура не подвергалась градобитию на всех стадиях вегетации.

В рамках Госзаказа нашим институтом была приобретена беспилотная авиационная система (БАС) Geoscan Gemini. Комплекс оснащен мультиспектральной камерой собственной разработки Geoscan Pollux, которая снимает сразу в пяти диапазонах: видимых (R, G, B), дальнем красном и ближнем ИК (рис. 1). Это позволяет создавать как ортофотопланы в естественных цветах, так и индексные карты вегетации (SAVI, NDVI, NDRE, LAI и др.) [7].



Рисунок 1. Мультиспектральная камера Geoscan Pollux

Geoscan Pollux дает возможность создавать индексные карты вегетации и ортофотопланы в естественных цветах (RGB) всего за один полёт. Благодаря более высокому разрешению и увеличенному фокусному расстоянию изображения отличаются большей детализацией [8]. Например, при съемке с БАС самолетного типа, существуют ограничения по минимальной безопасной высоте, Geoscan Gemini БАС

квадрокоптерного типа позволяет осуществлять полеты на высоте 120 м и получать разрешение снимков 5,2 см/пикс. Некоторые характеристик камеры приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики камеры Geoscan Pollux

Кол. каналов	Пиксели Мп	Разрешение	Размер пикс. мкм	Фокус Расстояние мм.	Разрешение при съёмке со 120 м. см/пикс
5	1,55	1440/1080	3,45	8	5,2

Перед выполнением полётов проводилась радиометрическая калибровка камеры с использованием калибровочной маски-эталона с известными коэффициентами отражения. Полученные калибровочные данные использовались для пересчёта цифровых значений яркости в физически корректные отражательные характеристики поверхности.

Применение процедуры радиометрической калибровки позволило повысить сопоставимость мультиспектральных снимков, снизить влияние изменяющихся условий освещённости и обеспечить более точный расчёт вегетационных индексов, включая NDVI, при анализе состояния посевов.

В данной работе было использовано программное обеспечение OneSoil, которая использует снимки спутника Sentinel-2, на этих изображениях хорошо виден хлорофилл, зеленый пигмент растений для определения индекса NDVI и программа AgiSoft, для анализа снимков с БАС.

С помощью приложения OneSoil можно быстро оценить состояние полей по нормализованному вегетационному индексу, провести полевой обход и оставить заметки, которыми можно впоследствии поделиться. Более того, приложение позволяет отмечать стадии роста культур, узнавать лучшее время для опрыскивания и прокладывать маршрут до проблемной точки на поле [9].

Agisoft Metashape — это автономный программный продукт, который выполняет фотограмметрическую обработку цифровых изображений и генерирует трехмерные пространственные данные для использования в ГИС-приложениях, документировании объектов культурного наследия и создании визуальных эффектов, а также для косвенных измерений объектов различных масштабов [10].

Результаты исследований

В ходе проведения исследований перед нами изначально встала задача определения оптимальной высоты для снятия индекса NDVI. Естественно, чем ниже высота съёмки, тем детализирование будет анализ, но и время обработки резко возрастает. В один и тот же день, были проведены полеты над контрольным полем, съёмку начали с высоты в 30 метров, увеличивая с шагом в 10 метров. И было выяснено, что до 50 метров индекс NDVI не изменяется, с повышением высоты съёмки индекс незначительно падает. Поэтому было принято решение все последующие съёмки проводить с высоты 50 метров. Эта высота применима только для камеры Geoscan Pollux и при использовании камеры другого типа, необходимо проводить аналогичное исследование. Это связано с техническими характеристиками камеры такими как ширина угла обзора, матрица, разрешение и др.

В процессе исследования проводилась фотофиксация состояния поля, отображена на рисунке 2. Естественно на рисунке приведены только ключевые моменты. Поле кукурузы было высажено 07 мая 2025 года.



Рисунок 2. Периоды вегетации кукурузного поля

Индекс NDVI фиксировался с помощью БАС и одновременно с помощью спутника. Ниже на рисунке 3 показан ход нормализованного индекса за весь период роста сельскохозяйственного растения. Синяя линия показывает ход индекса, полученного со спутника, а оранжевая с беспилотного летательного аппарата. Слева по шкале отмечен индекс NDVI, а снизу время после посадки. Анализируя график, можно увидеть, что активный рост индекса, а соответственно и рост самого растения, приходится на период с 25 по 60-ый день. Стремительное падение же индекса и соответственно подсыхание растения начинается с 100-ого дня после посадки.

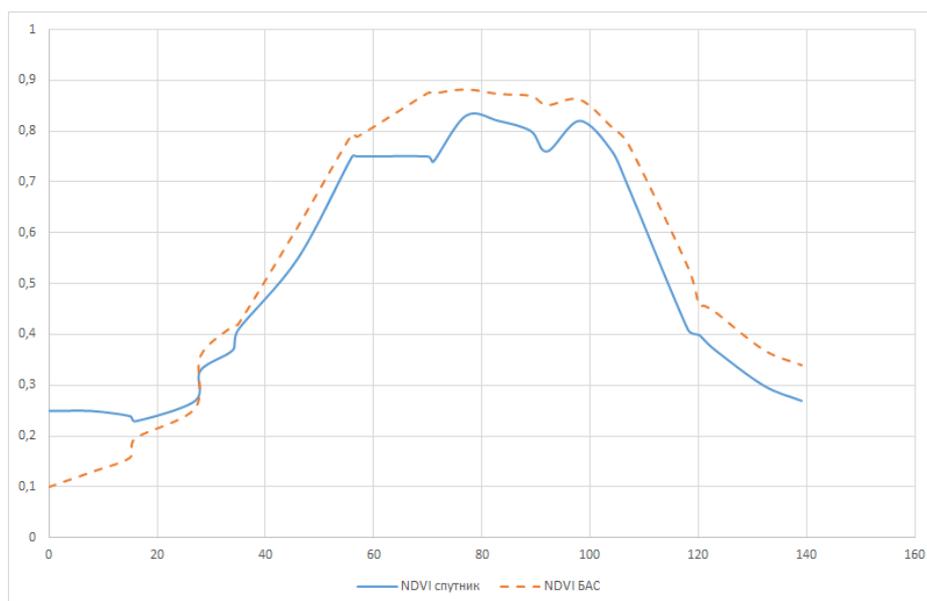


Рисунок 3. Ход нормализованного индекса NDVI за весь период роста сельскохозяйственного растения

Статистический анализ показал наличие тесной положительной корреляционной связи между значениями индекса NDVI, рассчитанными по спутниковым данным и данным БПЛА. Значение коэффициента корреляции составило $r = 0,97$, что указывает на высокую сопоставимость результатов и позволяет рассматривать данные БПЛА как надежное дополнение к спутниковым наблюдениям при оценке поврежденности посевов.

Недостатком спутника является то, что съёмки поля проводятся не регулярно, а только в момент пролёта над данной территорией, во время получения снимка над исследуемой территорией может наблюдаться облачность, атмосферная дымка, что приводит к частичному рассеянию и ослаблению отражённого сигнала, особенно в ближнем инфракрасном диапазоне. В результате происходит занижение расчётных значений NDVI. [11, 12]. Применение БПЛА позволяет выполнять съёмку посевов в оперативные сроки и в оптимальные метеорологические окна.

Полученные в настоящем исследовании результаты хорошо согласуются с данными зарубежных работ, посвящённых сопоставлению значений индекса NDVI, рассчитанных по данным беспилотных платформ и наземных или спутниковых измерений. [13].

Заключение

Полученные данные можно использовать в качестве эталона при анализе ущерба, полученного полем кукурузы, при сравнении побитого поля и эталонного. Естественно, при наличии не побитого поля в зоне выпадения града, целесообразнее использовать в качестве эталонного поля именно его. Прделанная нами работа подразумевает использование её только в тех случаях, когда поблизости нет уцелевшего поля и снимков со спутника непосредственно до ущерба. Процесс анализа ущерба от градобития дистанционными методами, описан нами в других статьях. Так

же в планах на последующие годы у нас аналогичная съёмка других сельскохозяйственных культур.

Библиографический список

1. Лиев К.Б., Куцев С.А. *Экономическая эффективность противоградовой защиты* // Безопасность жизнедеятельности. 2022. № 10 (262). С. 49-52.

2. Лиев К.Б., Куцев С.А. *Град в центральной части Северного Кавказа* // Труды ГГО. 2023. № 609. С. 156-164.

3. Лиев К.Б., Куцев С.А. *Использование современных технологий для определения ущерба от градобитий* // Труды ГГО, 2022, выпуск 606 С 152-158.

4. Богдан Е. А., Белан Л. Н., Туктарова И. О. [и др.] *Оценка влияния температуры поверхности земли на NDVI на примере геопарка «Янган-Тау»* // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2024. – № 3. – С. 14-21.

5. Лиев К.Б., Инюхин В.С., Куцев С.А. *Дистанционные методы оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур от градобития* // Доклады всероссийской открытой конференции по исследованиям атмосферных и склоновых стихийных явлений в условиях современного изменения климата, посвященной 190-летию создания гидрометеорологической службы России и 90-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР 7-11 октября 2024 г. Нальчик 2024. С 96- 102

6. Рыгалова, Н. В., Плуталова Т. Г. *Дендроиндикация и прогноз урожайности зерновых культур в степной зоне Алтайского края* // Географические исследования Сибири и Алтае-Саянского трансграничного региона : Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.г.н., профессора В.С. Ревякина, Барнаул, 26 марта 2025 года. – Барнаул: Алтайский государственный университет, 2025. – С. 360-365.

7. Описание комплекса Геоскан Gemini Мультиспектр <https://www.geoscan.ru/ru/products/gemini-m> (дата обращения: 17.12.2021). – Текст: электронный.

8. Описание Мультиспектральной камеры Geoscan Pollux <https://www.geoscan.ru/ru/products/components/pollux> (дата обращения: 17.12.2021). – Текст: электронный.

9. Описание программы спутникового мониторинга <https://onesoil.ai/ru> (дата обращения: 17.12.2021). – Текст: электронный.

10. Описание программы Agisoft Metashape Standard https://www.geoscan.ru/ru/software/agisoft/metashape_standard (дата обращения: 17.12.2021). – Текст: электронный.

11. Лиев К.Б., Куцев С.А. *Современные методы обследования повреждений сельскохозяйственных растений от града* // Геология, география и глобальная энергия. – 2025. – № 1(96). – С. 47-53. – DOI 10.54398/2077-6322.2025.96.1.007.

12. Степанов А. С., Фомина Е. А., Илларионова Л. В. [и др.] *Аппроксимация временных рядов индексов вегетации (NDVI и EVI) для мониторинга сельхозкультур (посевов) Хабаровского края* // Информатика и автоматизация. – 2023. – Т. 22, № 6. – С. 1473-1498. – DOI 10.15622/ia.22.6.8..

13. Deguchi, N. *Comparison of Handheld NDVI Sensor Measurements and Drone Sensing NDVI in Potato Fields* // Japanese Journal of Farm Work Research. – 2023. – Vol. 58, No. 2. – P. 73-81. – DOI 10.4035/jsfwr.58.73.

References

1. Liev K.B., Kushchev S.A. Ekonomicheskaja effektivnost protivogradovoi zashchity // Bezopasnost zhiznedeiatelnosti. 2022. № 10 (262). S. 49-52.
2. Liev K.B., Kushchev S.A. Grad v tsentralnoi chasti Severnogo Kavkaza // Trudy GGO. 2023. № 609. S. 156-164.
3. Liev K.B., Kushchev S.A. Ispolzovanie sovremennykh tekhnologiiia dlia opredeleniia ushcherba ot gradobitii // Trudy GGO, 2022, vypusk 606 S 152-158.
4. Bogdan E. A., Belan L. N., Tuktarova I. O. [i dr.] Otsenka vliianiia temperatury poverkhnosti zemli na NDVI na primere geoparka «Iangan-Tau» // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiia. Geoekologiiia. – 2024. – № 3. – S. 14-21.
5. Liev K.B., Iniukhin V.S., Kushchev S.A. Distanttsionnye metody otsenki stepeni povrezhdeniia selskokhoziaistvennykh kultur ot gradobitiia // Doklady vserossiiskoi otkrytoi konferentsii po issledovaniiam atmosferykh i sklonovykh stikhiinykh iavlenii v usloviakh sovremennogo izmeneniia klimata, posviashchennoi 190-letiiu sozdaniia gidrometeorologicheskoi sluzhby Rossii i 90-letiiu Elbrusskoi vysokogornoj kompleksnoi ekspeditsii AN SSSR 7-11 oktiabria 2024 g. Nalchik 2024. S 96- 102
6. Rygalova, N. V., Plutalova T. G. Dendroindikatsiia i prognoz urozhainosti zernovykh kultur v stepnoi zone Altaiskogo kraia // Geograficheskie issledovaniia Sibiri i Altae-Saianskogo transgranichnogo regiona : Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi pamiati d.g.n., professora V.S. Reviakina, Barnaul, 26 marta 2025 goda. – Barnaul: Altaiskii gosudarstvennyi universitet, 2025. – S. 360-365.
7. Opisanie kompleksa Geoskan Gemini Multispektr <https://www.geoscan.ru/ru/products/gemini-m> (data obrashcheniia: 17.12.2021). – Tekst: elektronnyi.
8. Opisanie Multispektralnoi kamery Geoscan Pollux <https://www.geoscan.ru/ru/products/components/pollux> (data obrashcheniia: 17.12.2021). – Tekst: elektronnyi.
9. Opisanie programmy sputnikovogo monitoringa <https://onesoil.ai/ru> (data obrashcheniia: 17.12.2021). – Tekst: elektronnyi.
10. Opisanie programmy Agisoft Metashape Standard https://www.geoscan.ru/ru/software/agisoft/metashape_standard (data obrashcheniia: 17.12.2021). – Tekst: elektronnyi.
11. Liev K.B., Kushchev S.A. Sovremennye metody obsledovaniia povrezhdenii selskokhoziaistvennykh rastenii ot grada // Geologiiia, geografiia i globalnaia energiia. – 2025. – № 1(96). – S. 47-53. – DOI 10.54398/2077-6322.2025.96.1.007.
12. Deguchi, N. Comparison of Handheld NDVI Sensor Measurements and Drone Sensing NDVI in Potato Fields // Japanese Journal of Farm Work Research. – 2023. – Vol. 58, No. 2. – P. 73-81. – DOI 10.4035/jsfwr.58.73.
13. Stepanov A. S., Fomina E. A., Illarionova L. V. [i dr.] Approksimaciya vremennykh ryadov indeksov vegetacii (NDVI i EVI) dlia monitoringa sel'hozkul'tur (posevov) Habarovskogo kraia // Informatika i avtomatizaciya. – 2023. – T. 22, № 6. – S. 1473-1498. – DOI 10.15622/ia.22.6.8..