Публикация коллекции мультиспектральных измерений прибором КМСС-М (КА «Метеор-М» № 2) для количественной оценки характеристик земной поверхности

Д. Е. Плотников, П. А. Колбудаев, Б. С. Жуков, А. М. Матвеев,
С. А. Барталев, В. А. Егоров, А. В. Кашницкий, А. А. Прошин

*Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: dmitplot@d902.iki.rssi.ru*

Настоящее сообщение посвящено публикации коллекции мультиспектральных географически привязанных и атмосферно-скорректированных изображений комплекса многозональной спутниковой съёмки КМСС-М (камеры МСУ-100М) на КА «Метеор-М» № 2 и формированию сезонных и многолетних наборов данных измерений коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) на уровне земной поверхности с пространственным разрешением 60 м для решения задач количественной оценки земного покрова. Обработанное изображение сопровождается производными продуктами, доступными в интерфейсе систем семейства «Созвездие-Вега» (sozvezdie-vega.ru), такими как маски облачности и теней, результатами выявления скомпенсированных аномалий географической регистрации изображений. Продемонстрированы результаты восстановления сезонных временных серий ежедневных безоблачных мультиспектральных измерений КСЯ и вегетационного индекса NDVI на уровне земной поверхности по данным КМСС-М и их потенциал для решения задач мониторинга быстроменяющихся объектов земного покрова. В перспективе планируется расширение покрытия данными коллекции на зерновой пояс РФ и сопредельных стран, а также формирование указанных продуктов в оперативном режиме.

Ключевые слова: КМСС-М, КА «Метеор-М» № 2, дистанционное зондирование, атмосферная коррекция, корегистрация спутниковых снимков, спутниковый мониторинг, растительный покров, «Вега»

Одобрена к печати: 17.12.2020
DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-276-282

Комплекс многозональной спутниковой съёмки КМСС-М на борту космического аппарата (КА) «Метеор-М» № 2, выведенного на орбиту в 2014 г., является модификацией комплекса КМСС, успешно проработавшего на КА «Метеор-М» более 5 лет (Аванесов и др., 2013). В состав КМСС-М входят две камеры МСУ-100М с разрешением 60 м и одна камера МСУ-50М с разрешением 120 м. На практике используются камеры более высокого разрешения МСУ-100М, регистрирующие отражённое солнечное излучение в зелёном (0,535–0,575 мкм), красном (0,63–0,68 мкм) и ближнем инфракрасном (ИК) (0,76–0,9 мкм) диапазонах длин волн в полосе захвата 960 км (двумя камерами) с повторяемостью наблюдений примерно каждые три дня для территории России. Данные КМСС-М (двух камер МСУ-100М) являются востребованными для решения задач дистанционной оценки характеристик земной поверхности, оперативного мониторинга и оценки растительного покрова России и континента (Колбудаев и др., 2017). До недавнего времени большая часть значительного потенциала этих достаточно уникальных данных не могла быть использована по назначению ввиду ограничений совместимости со стандартными методами, используемыми для предварительной и тематической обработки данных имеющихся спутниковых систем для оптико-электронной съёмки, таких как Terra/Aqua (MODIS — *англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), Landsat (ETM+ — *англ.* Enhanced Thematic Mapper Plus, OLI — *англ.* Operational Land Imager), Sentinel (MSI — *англ.* Multispectral Instrument) и многих других. Отмечалась недостаточная точность и нестабильность географической привязки как разновременных, так и разноточных снимков при наличии погрешностей в сопутствующей навигационной информации,

неприменимость существующих методов выявления мешающих факторов на изображениях КМСС из-за межканального параллакса и временного лага (Аванесов и др., 2019; Колбудаев и др., 2017). Отсутствие атмосферной коррекции и погрешности абсолютной радиометрической калибровки камер делали невозможным построение однородных временных рядов дистанционных индикаторов для объективного мониторинга состояния земного покрова.

Разработанные в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН) в последнее время методы были направлены на устранение указанных особенностей, последовательно делая возможным автоматическое получение и практическое использование данных КМСС-М различных уровней обработки. В частности, в результате этих работ для всех получаемых по данным КМСС-М продуктов введена гранулярная система пространственной организации и распространения данных, реализованы и отработаны методы устранения аномалий географической привязки разнотональных изображений КМСС-М, устойчиво работающие в широком диапазоне условий. Разработаны и протестированы методы выявления мешающих факторов (облачности, теней и снега) на разнотональных изображениях КМСС-М (Колбудаев и др., 2017, 2018, 2019а, б). Для минимизации влияния атмосферы был адаптирован метод атмосферной коррекции на основе приведения гистограмм (*англ.* Histogram Matching) (Hadjimitsis et al., 2010). Описанные выше подходы делают акцент на углублённое использование пространственной информации, а также актуализированного и географически привязанного спектрального эталона, полученного по данным среднего пространственного разрешения и обладающего максимальной наполненностью данных на произвольную дату съёмки прибором КМСС-М. Таким эталоном являются восстановленные на основе модели LOESS (метод локальных полиномиальных регрессий (от *англ.* Local regrESSions — LOESS или LOcally WEighted Scatterplot Smoother — LOWESS)) (Плотников и др., 2020; Cleveland, 1979) ежедневные мультиспектральные изображения MODIS (Terra/Aqua), полученные путём анализа временной серии сеансов продукта MOD09 (<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod09gav006/>) благодаря наиболее оптимальному сочетанию с точки зрения спектрального соответствия и наполненности данными.

Метод компенсации нелинейных искажений географической привязки изображений КМСС-М предусматривает поиск оптимального локального смещения небольших квадратных участков изображения КМСС-М (блоков) для максимизации значения пространственной корреляции Пирсона между парой соответствующих блоков изображений КМСС-М и эталона, сравниваемых в единой географической проекции на дату съёмки в одинаковом спектральном канале. Помимо обеспечения непосредственно географической привязки, в результате поиска формируется вспомогательное изображение, характеризующее наличие и интенсивность мешающих факторов для каждой локальной области пространства и используемое для создания масок облачности, теней и дальнейшего разновременного анализа полученных продуктов.

Этап географической привязки обеспечивает возможность автоматического устранения локальных аномалий географической регистрации изображений, в том числе существенных горизонтальных и вертикальных локальных смещений вплоть до 260 пикселей КМСС-М (более 15 км) в любую сторону от ожидаемого положения. В частности, в результате коррекции данных КМСС-М для территории площадью более чем 7 млн км² за 2020 г. была собрана статистика по обнаруженным и устранённым смещениям на уровне блоков изображений отдельно для красного и ближнего ИК-каналов комплекса (на *рис. 1* (см. с. 278) для наглядности приведена статистика по смещениям до 50 пикселей).

Изображение максимума пространственной корреляции используется для предварительного выделения безоблачных участков исходного изображения (высокие значения максимальной локальной корреляции) и облачных участков (низкие значения максимальной локальной корреляции), на основе которых формируются локальные гистограммы классов облачности и чистой поверхности в каждом канале. Анализ разности локальных гистограмм этих классов позволяет автоматически установить адаптивный порог на выделение облачности, позволяющий минимизировать ошибки выявления облачности обоих типов (*рис. 2*, см. с. 278). Тени выявляются в зоне геометрических теней от выявленной облачности

с уточнением их фактического положения на основе сравнения яркости пикселей из анализируемой области со спектральным эталоном.

Рис. 1. Нормализованное распределение величины модуля обнаруженных аномалий географической привязки R изображений КМСС-М для красного (справа) и ближнего инфракрасного (слева) каналов КМСС-М по результатам обработки более 10 000 градусных гранул

Рис. 2. Исходные изображения КМСС-М от 13.08.2018 в ближнем инфракрасном (слева) и красном (справа) диапазонах длин волн и соответствующие им (ниже) построенные в автоматическом режиме маски облачности (красный цвет) и теней (синий цвет); можно увидеть различное ввиду параллакса расстояние между облачностью и тенью на разноканальных изображениях

Поскольку атмосферное рассеяние смещает гистограмму яркости объектов и несколько деформирует её, метод компенсации атмосферного влияния производит локализованный анализ и пересчёт свободных от мешающих факторов значений пикселей изображения

до достижения максимального соответствия распределения пересчитанных значений с эталоном. В процессе анализа рассчитываются коэффициенты линейной регрессии между локальными наборами данных изображения КМСС-М и эталона внутри скользящего окна, которое позволяет адаптивным образом характеризовать состояние атмосферы. Этот достаточно надёжный и быстрый метод компенсации атмосферного рассеяния обеспечивает возможность дальнейшего сравнения разновременных измерений КМСС-М. Остаточное влияние мешающих факторов устраняется на этапе восстановления безоблачных сезонных временных серий коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) с помощью разработанных в ИКИ РАН методов (Плотников и др., 2020).

В результате работы построенной на основе указанных автоматических методов технологии в настоящее время происходит формирование коллекции скорректированных спутниковых данных КМСС-М, а также производных и вспомогательных продуктов, обеспечивающих возможность количественной оценки земной поверхности на больших территориях. Сейчас доступная в интерфейсе систем «Созвездие-Вега» (<http://sozvezdie-vega.ru/>) коллекция охватывает территорию от 19 до 23° в. д. и от 40 до 60° с. ш. и интервал дат съёмки с 1 марта по конец августа 2020 г., а также, частично, данные съёмки за 2018 г. (заполнение гранул идёт с запада на восток и с юга на север). Общая площадь зоны охвата в настоящий момент превышает 7 млн км² и включает в себя территорию европейской части Российской Федерации и большую часть стран Восточной Европы (рис. 3). Организованные в градусные гранулы атмосферно-скорректированные измерения за указанные интервалы дат доступны в интерфейсе систем «Созвездие-Вега» на вкладке «Данные высокого разрешения, Фильтр (КМСС-101,102), Продукты (Продукты КМСС с атм. кор)». Пользователям доступны скорректированные изображения КМСС-М в красном и ближнем ИК-диапазонах, разнотональные маски облачности и теней, а также сформированный на их основе индекс NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс), отображаемый для всех пар измерений в каналах, одновременно относящихся к классу чистой поверхности.

Рис. 3. Контуры градусных гранул новых продуктов КМСС-М, полученных с 1 марта по 15 августа 2020 г. на территорию РФ и сопредельных стран в интерфейсе «Вега-Science» (sci-vega.ru)

Для оценки возможностей преобразованных спутниковых данных КМСС-М для мониторинга земного покрова на основе атмосферно-скорректированных и географически привязанных измерений КСЯ земной поверхности на часть гранул европейской России был сформирован продукт, иллюстрирующий результат восстановления сезонных временных серий ежедневных безоблачных изображений КСЯ. Это позволило получить изображения ежедневного безоблачного NDVI и оценить возможности комплекса по корректному описанию

фенологической динамики объектов сельскохозяйственной растительности, характеризующихся быстрым изменением биомассы (рис. 4).

Рис. 4. Сезонные временные серии ежедневных восстановленных значений NDVI, полученных по данным атмосферно-скорректированных измерений прибором KMCC-М (яркие линии) и MODIS (бледные линии) на участки размером 250 м для различных типов сельскохозяйственной растительности

Продукт восстановленных ежедневных значений NDVI и измерений в каналах пока формируется для ограниченного числа гранул и доступен пользователям системы «Вега» во вкладке «Композитные изображения, Типы композитов (Ежедневные по KMSS)» за 2018 г. В ближайшее время планируется расширение коллекции атмосферно-скорректированных продуктов и производных ежедневных продуктов на территорию зернового пояса РФ и сопредельных стран. Кроме этого, изучается возможность обработки и дополнительного использования данных с комплекса KMCC-2 на КА «Метеор-М» № 2-2 (Полянский и др., 2019), которые позволят удвоить повторяемость наблюдений и качество получаемых продуктов.

Обработка спутниковых данных велась с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019). Работы выполнены в рамках темы «Мониторинг» (государственная регистрация № 01.20.0.2.00164).

Литература

1. Аванесов Г.А., Полянский И.В., Жуков Б.С., Никитин А.В., Форш А.А. Комплекс многозональной спутниковой съемки на борту КА «Метеор-М» № 1: три года на орбите // Исслед. Земли из космоса. 2013. № 2. С. 74–83.
2. Аванесов Г.А., Бессонов Р.В., Куркина А.Н., Никитин А.В., Форш А.А. Вопросы обеспечения географической привязки снимков дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 59–64. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-59-64.
3. Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Лупян Е.А., Барталев С.А. Предварительная обработка данных МСУ-100М («Метеор-М» № 2) для решения задач количественной оценки характеристик земной поверхности // 7-я Международная научно-техн. конф. «К. Э. Циолковский — 160 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика»: сб. тез. 4–6 окт. 2017, Рязань. 2017. С. 350–353.
4. Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Барталев С.А. Метод выявления облачности на монохроматических изображениях МСУ-100М («Метеор-М» № 2) на основе пространственного анализа и границ объектов земной поверхности // 16-я Всероссийская открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тез. 12–16 нояб. 2018, Москва. М.: ИКИ РАН, 2018. С. 41. DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a.
5. Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Барталев С.А. (2019а) Метод выявления облачности по данным прибора МСУ-100М («Метеор-М» № 2) на основе пространственного анализа монохромных

- изображений и границ объектов земной поверхности // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018: сб. ст. конф. ИКИ РАН, 2019. С. 139–144. DOI: doi.org/10.21046/rorse2018.139.
6. Колбудаев П. А., Плотников Д. Е., Матвеев А. М., Барталев С. А. (2019б) Развитие методов географической допривязки и выявления облачности на монохроматических изображениях КМСС на основе использования безоблачного эталона и анализа границ объектов земной поверхности // Материалы 17-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 нояб. 2019, Москва, ИКИ РАН. 2019. С. 37. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
 7. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Кашицкий А. В., Балашов И. В., Барталев С. А., Константинова А. М., Кобец Д. А., Мазуров А. А., Марченко В. В., Матвеев А. М., Радченко М. В., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
 8. Плотников Д. Е., Ёлкина Е. С., Дунаева Е. А., Хвостиков С. А., Лупян Е. А., Барталев С. А. Развитие метода автоматического распознавания озимых культур на основе спутниковых данных для оценки их состояния на территории Республики Крым // Таврический вестн. аграрной науки. 2020. № 1(21). С. 64–83. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83.
 9. Полянский И. В., Жуков Б. С., Кондратьева Т. В., Прохорова С. А., Сметанин П. С. Комплекс многозональной спутниковой съемки среднего разрешения для гидрометеорологических космических аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 83–92. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-83-92.
 10. Cleveland W. S. Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots // J. American Statistical Association. 1979. V. 74(368). P. 829–836. DOI: 10.2307/2286407.
 11. Hadjimitsis D. G., Papadavid G., Agapiou A., Themistocleous K., Hadjimitsis M. G., Retalis A., Michaelides S., Chrysoulakis N., Toullos L., Clayton C. R. I. Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2010. V. 10. P. 89–95.

The collection of multispectral KMSS-M (Meteor-M No. 2) satellite data aimed at quantitative assessment of the Earth surface

D. E. Plotnikov, P. A. Kolbudaev, B. S. Zhukov, A. M. Matveev,
S. A. Bartalev, V. A. Egorov, A. V. Kashnitskii, A. A. Proshin

*Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: dmitplot@d902.iki.rssi.ru*

The paper announces the publication of KMSS-M (MSU-100M camera) satellite data collection which includes atmospherically corrected and georeferenced imagery acquired by the device on-board Meteor-M No. 2 as well as seasonal and multiannual time series of multispectral surface reflectance data with spatial resolution of 60 meters aimed at quantitative assessment of the Earth surface. Available in VEGA family interface (sozvezdie-vega.ru), the processed imagery is accompanied with cloud and shadow masks and other derived products. We also indicate that derived seasonal cloud free time series of surface reflectance and NDVI derived from KMSS-M processed data has enough potential to capture rapid changing phenology of several types of agriculture vegetation. Scheduled extension of current collection will provide full coverage of Eurasian wheat belt both in Russia and neighboring countries, while KMSS-M products will be delivered in an operative mode.

Keywords: KMSS, Meteor-M No. 2, Earth remote sensing, atmospheric correction, image coregistration, satellite monitoring, vegetation cover, Vega

Accepted: 17.12.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-276-282

References

1. Avanesov G. A., Polyanskii I. V., Zhukov B. S., Nikitin A. V., Forsh A. A., Kompleks mnogo-zonal'noi sputnikovoi s"emki na bortu KA "Meteor-M" No. 1: tri goda na orbite (Multispectral Satellite Imaging System on-board "Meteor-M" No. 1: Three Years in Orbit), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 2, pp. 74–83.
2. Avanesov G. A., Bessonov R. V., Kurkina A. N., Nikitin A. V., Forsh A. A., Voprosy obespecheniya geograficheskoi privyazki snimkov distantsionnogo zondirovaniya Zemli (Issues of providing geographic referencing of Earth remote sensing images), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 5, pp. 59–64, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-59-64.
3. Kolbudaev P. A., Plotnikov D. E., Loupian E. A., Bartalev S. A., Predvaritel'naya obrabotka dannykh MSU-100M (Meteor-M No. 2) dlya resheniya zadach kolichestvennoi otsenki kharakteristik zemnoi poverkhnosti (Preliminary data processing of MSU-100M (Meteor-M No. 2) for solving problems of quantitative assessment of the characteristics of the earth's surface), *7-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya "K. E. Tsiolkovskii — 160 let so dnya rozhdeniya. Kosmonavtika. Radioelektronika. Geoinformatika"* (7th Intern. Scientific and Technical Conf. "K. E. Tsiolkovsky — 160 years since birth. Cosmonautics. Radionics. Geoinformatics"), Book of abstr., Ryazan, 2017, pp. 350–353.
4. Kolbudaev P. A., Plotnikov D. E., Bartalev S. A., Metod vyavleniya oblachnosti na monokhromaticheskikh izobrazheniyakh MSU-100M (Meteor-M No. 2) na osnove prostranstvennogo analiza i granits ob"ektov zemnoi poverkhnosti (A method for detecting clouds on monochromatic images of MSU-100M (Meteor-M No. 2) based on spatial analysis and boundaries of objects on the earth's surface), *16-ya Vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (16th All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Book of Abstracts, Moscow, 12–16 Nov. 2018, Moscow: IKI RAN, 2018, p. 41, DOI: 10.21046/2070-16DZZconf-2018a.
5. Kolbudaev P. A., Plotnikov D. E., Bartalev S. A. (2019a), Metod vyavleniya oblachnosti po dannym pribora MSU-100M (Meteor-M No. 2) na osnove prostranstvennogo analiza monokhromnykh izobrazhenii i granits ob"ektov zemnoi poverkhnosti (Cloud Screening on Monochromatic Images of MSU-100M (Meteor-M No. 2) Based on Spatial Analysis and Ground Objects Boundaries), *Informatsionnye tekhnologii v distantsionnom zondirovanii Zemli — RORSE 2018* (Information Technologies in Remote Sensing of the Earth — RORSE 2018), Proc. Conf., IKI RAN, 2019, pp. 139–144, DOI: doi.org/10.21046/rorse2018.139.
6. Kolbudaev P. A., Plotnikov D. E., Matveev A. M., Bartalev S. A. (2019b), Razvitiye metodov geograficheskoi doprivyazki i vyavleniya oblachnosti na monokhromaticheskikh izobrazheniyakh KMSS na osnove ispol'zovaniya bezoblachnogo etalona i analiza granits ob"ektov zemnoi poverkhnosti (Development of methods for geographical additional linking and cloud detection on monochromatic images of KMSS based on the use of a cloudless standard and analysis of the boundaries of objects on the earth's surface), *Materialy 17-i Vserossiiskoi otkrytoi konferentsii "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (Proc. 17th Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), 11–15 Nov. 2019, Moscow: IKI RAN, 2019, p. 37, DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
7. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Mazurov A. A., Marchenkov V. V., Matveev A. M., Radchenko M. V., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Opyt ekspluatatsii i razvitiya tsentra kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh (TsKP "IKI-Monitoring") (Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 51–170, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
8. Plotnikov D. E., Elkina E. S., Dunaeva E. A., Khvostikov S. A., Loupian E. A., Bartalev S. A., Razvitiye metoda avtomaticheskogo raspoznavaniya ozimyykh kul'tur na osnove sputnikovykh dannykh dlya otsenki ikh sostoyaniya na territorii Respubliki Krym (Development of the Method for Automatic Winter Crops Mapping by Means of Remote Sensing Aimed at Crops State Assessment Over the Republic of Crimea), *Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki*, 2020, No. 1(21), pp. 64–83, DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83.
9. Polyanskii I. V., Zhukov B. S., Kondrat'eva T. V., Prokhorova S. A., Smetanin P. S., Kompleks mnogo-zonal'noi sputnikovoi s"emki srednego razresheniya dlya gidrometeorologicheskikh kosmicheskikh apparatov (Medium-resolution multispectral satellite imaging system for hygrometeorological spacecraft), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 6, pp. 83–92, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-83-92.
10. Cleveland W. S., Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots, *J. American Statistical Association*, 1979, Vol. 74(368), pp. 829–836, DOI: 10.2307/2286407.
11. Hadjimitsis D. G., Papadavid G., Agapiou A., Themistocleous K., Hadjimitsis M. G., Retalis A., Michaelides S., Chrysoulakis N., Toullos L., Clayton C. R. I., Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2010, Vol. 10, pp. 89–95.