

clouds), formed in automatic mode using photogrammetry, are much worse than LIDAR data – both in terms of precision and completeness.

The article highlights these differences and makes attempts at explaining the origin of these differences.

KEYWORDS:

LIDAR, airborne laser scanning, unmanned aerial vehicle (UAV), photogrammetric processing, 3D point cloud, aerial imagery

REFERENCES

1. Blaschke T. 3D landscape metrics to modeling forest structure and diversity based on laser scanning data, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Freiburg, 2004, Vol. XXXVI-8/W2, pp. 129–132.
2. Burnett C., Blaschke T. A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscape analysis, Ecological Modeling, 2003, 168, pp. 233–249.
3. Kumar V. Extraction of forest inventory parameters and 3D modelling from airborne LIDAR, Materials of ESRI international user conference, San Diego, 2014, 342–351.
4. Schwarz B. LIDAR: Mapping the world in 3D, Nature Photonics, 2010, No 4, pp. 429–430.
5. Tiede D. *et al.* A full GIS-based workflow for tree identification and delineation using laser scanning, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vienna, 2005, Vol. XXXVI, Part 3/W24, pp. 9–14.
6. Wehr A., Lohr U. Airborne Laser scanning – an introduction and overview, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1999, No 54, pp. 68–82.
7. Zimble D.A. *et al.* Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne LIDAR, Remote Sensing of the Environment, 2003, No 87, pp. 171–82.

УДК 852.831

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-46-51

Д.В. Пчельников¹, Н.Н. Добрецов²

ПОСТРОЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ОДНОВРЕМЕННЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ SUOMI NPP VIIRS И TERRA/AQUA MODIS

АННОТАЦИЯ

На смену прибору со средним пространственным разрешением MODIS пришёл прибор VIIRS. Его спектральные каналы не являются полными аналогами MODIS, а также отличается пространственное разрешение, однако эти 2 прибора создавались для похожего круга задач, и позволяют их решать одинаково эффективно. В задачах, где требуется анализ многолетних временных рядов (за десятки лет), данных одного спутника Suomi NPP недостаточно – он вышел на орбиту только в 2012 году. Однако совместное его использование с Terra MODIS и Aqua MODIS для построения многолетних временных рядов позволяет расширить временной диапазон наблюдений и обеспечить продолжение наблюдений в будущем. В данной работе рассмотрены методики пространственного совмещения данных MODIS и

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук; Россия, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3; e-mail: denmail@igm.nsc.ru

² Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук; Россия, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3; e-mail: nickdobretsov@gmail.com

VIIRS. А также дана оценка спектральных каналов красного (канал 1 MODIS и I1 VIIRS) и ближнего инфракрасного диапазонов (канал 2 MODIS и I2 VIIRS) – это основные каналы для задач оценки растительного покрова.

Для построения временных рядов предлагается не самое очевидное универсальное математическое решение – приведение серий снимков к единому пространственному разрешению, а объектно-ориентированная модель временного ряда ДДЗ, где узлами нерегулярной сетки являются центры объектов исследования, а пиксели внутренней области становятся атрибутами этих объектов. Предложенный подход позволяет совмещать ДДЗ в разном пространственном разрешении в единый ряд с сохранением геометрии и метаданных о пикселях (углы съёмки, солнца, параметры качества и т.д.). При агрегации данных во временном масштабе метаданная служит критерием использования тех или иных данных в результирующих значениях, определяемых для объектов для выбранного временного масштаба (интервала – день, неделя, месяц, год и т.п.).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

дистанционное зондирование, MODIS, VIIRS, временные ряды, пространственное разрешение, спектральное разрешение

ВВЕДЕНИЕ

Спутниковые измерительные приборы Terra MODIS и NPP VIIRS обладают похожими пространственными и спектральными характеристиками [Kerry, 2013]. Поскольку спутниковая платформа Suomi NPP задумывалась как продолжение наблюдений программы EOS (Terra, Aqua и др.), набор каналов измерительного прибора VIIRS отчасти похож на MODIS, но выбирался уже с учётом накопленного опыта. Логично предположить, что продолжение задач мониторинга, использующее данные MODIS, будет столь же успешно решаться с использованием данных VIIRS.

В рамках одного конкретного космоснимка можно сказать, что данные спутниковых платформ взаимозаменяемы, и работают те же самые методы наблюдения. Однако система мониторинга работает во времени, в течение которого производится составление временных рядов для оперативного наблюдения или ретроспективного анализа. Для совместного использования MODIS и VIIRS в задачах мониторинга необходимо решить задачу корректного объединения данных в один временной ряд, т.е. решить вопросы пространственного совмещения снимков, а также относительной калибровки спектральных данных приборов.

Для решения задач авторами предлагается не самое очевидное математическое решение – приведение серий снимков к единому пространственному разрешению, а объектно-ориентированная модель временного ряда ДДЗ, где узлами нерегулярной сетки являются центры объектов исследования, а пиксели вычисленной внутренней области становятся атрибутами этих объектов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравним в спектральном домене каналы MODIS и VIIRS, предназначенные для наблюдения за растительностью. В простейшем случае, для оценки состояния рассчитывается нормализованный относительный индекс растительности NDVI на основе каналов в красном и ближнем инфракрасном диапазоне. Для MODIS – это 1 и 2 каналы, для VIIRS-I1 и I2 (подробнее в таблице 1), а также I2 соответствует канал M7, но с более низким пространственным разрешением 750 м.

Таблица 1. Красный и инфракрасный каналы MODIS и VIIRS
Table 1. Red and infrared channels of MODIS and VIIRS

Terra MODIS			NPP VIIRS		
Канал	Разрешение в надире, м	Длина волны, нм	Длина волны, нм	Разрешение в надире, м	Канал
1	250	620-670	600-680	375	I1
2	250	841-876	850-880	375	I2

Пространственное разрешение 1 и 2 канала MODIS – 250 м, пространственное разрешение I1 и I2 – 375 м. Для универсального решения задачи сравнения и совместного использования данных дистанционного зондирования разных измерительных приборов NASA предлагает использовать продукты обоих приборов в общем пространственном разрешении 500м. При обработке VIIRS до уровня 2G для каналов с разрешением 375 м формируются тайловые продукты на сетке 500 м, продукты MODIS того же уровня обработки доступны в разрешении 500 м и более высоким – 250 м.

Рассмотрим задачу для красного и ближнего инфракрасного диапазонов, тех, что применяются для расчёта коэффициента NDVI (нормализованного дифференциального индекса растительности), как наиболее часто используемого для оценки растительности. Для спектральных каналов 2 и I2 утверждается, что полученные данные отличаются по значениям не более чем на 1 % по сравнению с Terra MODIS и не более 2 % по сравнению с Aqua MODIS [Wolfe, 2013], а 1 и I1 – расхождений нет. Таким образом, сравнение и совместное использование NDVI, рассчитанных по данным всех трёх измерительных приборов, допустимо.

В ходе ранее проведённых совместных работ по мониторингу растительности Лабораторией дистанционного зондирования Института геологии и минералогии и Научно-исследовательским центром «Планета» была создана система мониторинга растительности для территории Западной Сибири, функционирующая с 2010 года по настоящее время [Сапрыкин, 2012]. Рабочие участки даже крупных сельскохозяйственных полей имеют в своей внутренней области от 1-2 до нескольких десятков пикселей по ДДЗ среднего пространственного разрешения. Поэтому в системах мониторинга крупных сельхозугодий целесообразно использовать гранульные продукты уровня обработки L2 – не на тайловой сетке, а в проекции, соответствующей пролету спутника, с геометрией и пространственным разрешением самого измерительного прибора. В условиях переменной облачности это позволяет сохранить большее количество исходных данных при обнаружении объектов и получении их спектральных значений. Работа проводилась при помощи ДДЗ прибора MODIS (платформ Terra и Aqua), однако то же самое справедливо и для прибора VIIRS, особенно с учётом того, что переход от виткового L2 к тайловому L2G идёт с потерей пространственного разрешения (из 375 м получается 500 м).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При использовании витковых продуктов уровня обработки L2 мы получаем атмосферно-скорректированные значения, однако в разрешении прибора и в проекции, максимально приближённой к тому, “как видит” эти объекты измерительный прибор. Такой подход позволяет существенно увеличить количество измеренных значений для объектов в условиях смешанной облачности, количество измеренных объектов по MODIS увеличивается на 15–25 %, для VIIRS – сейчас только проводятся исследования, но предположительно эта

цифра будет ещё больше, т.к. для этого прибора продукты обработки L2 и L2G имеют разное пространственное разрешение.

Авторы данной статьи в настоящее время проверяют гипотезу о возможности построения временных рядов ДЗЗ среднего пространственного разрешения, где узлами нерегулярной сетки проекции являются центры измеряемых объектов. Каждый узел хранит набор пикселей исходного изображения для внутренней области объекта (индивидуально определяемой для каждого снимка) с координатами в проекции и разрешении исходного изображения, а также такую метаинформацию: источник информации, углы съёмки и другие служебные данные для оценки качества информации при расчётах и агрегации значений при изменении масштаба временного ряда. Очевидно, что агрегация данных при переходе от временного масштаба «день» в масштаб «неделя» должна осуществляться с применением метаинформации, а использование данных разных спутниковых платформ только увеличивает роль метаинформации при построении и временном масштабировании ряда.

Расчёты результирующих значений для объекта производятся независимо для каждого измерения, при этом нет необходимости приводить данные к единому пространственному разрешению и проекции. Все пиксели внутренней области объекта, значения которых признаны пригодными и условно пригодными, хранятся в качестве атрибутивной информации для каждого узла сетки. Построение временного ряда происходит уже для сети объектов. В случае отсутствия для конкретного узла полностью пригодных значений (имеются только значения пикселей со смешанной облачностью и аэрозолями небольшой толщины) проводят пространственный и временной анализ на основе известных физических свойств и закономерностей для объекта. Так, например, для поля с пшеницей или гречей известен его вегетационный цикл, на основе которого возможна коррекция.

Таблица 2. Значения NDVI для нескольких проблемных тестовых участков

Table 2. NDVI value for some test-polygons with problems

	Тестовый участок 1	Тестовый участок 7	Тестовый участок 9	Тестовый участок 12
Terra MODIS 22.06.2016	0,852	0,86	0,78	0,9
Suomi NPP VIIRS 22.06.2016	0,82	0,817	0,732	0,86
Terra MODIS 23.06.2016	0,84	0,87	0,79	0,9
Suomi NPP VIIRS 23.06.2016	0,807	0,82	0,78	0,892

В ходе ручного сравнения значений NDVI взято среднее значение индекса для объектов (рабочих участков полей) по пригодным пикселям их внутренней области, определяемых для каждого снимка, перепроецированием векторного контура объекта в проекцию исходного снимка и его наложением. Проводится отсечение краевых пикселей области объекта, чтобы исключить взаимное межпиксельное влияние, а также наложение масок облачности и аэрозолей и исключение пограничных с ними пикселей. Для отдельных снимков MODIS и VIIRS за один и тот же день на гранульных продуктах L2 для отдельных эталонных объектов (поля с пшеницей) практически совпадает (<2%), в то же время для почти четверти объектов для

каждой пары снимков было выявлено расхождение NDVI до 5-7%, в том числе и для всего временного ряда для одного вегетационного сезона, чего не должно наблюдаться, исходя из технических характеристик приборов, ранее приведённых в данной статье. Для эксперимента была взята выборка из 42 тестовых спектрально однородных участков (рабочие участки полей с пшеницей), где для каждого было получено значение NDVI. Значения для полей брались таким образом, чтобы исключить влияние от других объектов: дорог, колков и др. смежных объектов, таким образом, брался центроид тестового участка и еще несколько пикселей внутренней области, не граничащих с другими объектами, облаками или тенями от облаков. В таблице 2 показаны несколько проблемных участков. Расхождения проявляются не для каждой даты, потому на тестовой выборке в течение одного вегетационного сезона и 42 тестовых участках не удалось установить закономерности и скорректировать значения.

ВЫВОДЫ

Универсальный информационный подход к решению проблемы через приведение данных к общему (меньшему) пространственному разрешению неизбежно приводит к потере информации и сужению круга решаемых задач. Построение объектного временного ряда для задач мониторинга растительности позволяет сохранить большее количество информации об объектах наблюдения, чем при построении унифицированного ряда из снимков, приведённых к единому пространственному разрешению.

Сейчас производится автоматизация процесса построения рядов для больших массивов данных и набирается статистика для более подробного изучения и решения проблемы. Это позволит подтвердить или опровергнуть уже полученную статистику на небольшом объёме данных и подробнее исследовать природу систематической ошибки – расхождение значений VIIRS и MODIS на 5–7% для четверти объектов исследования. Связана ли ошибка с разным временем пролёта спутниковых платформ на одной и той же территории и/или особенностями поведения растительности ещё предстоит выяснить.

Самой главной задачей является создать методику использования данных (взаимной калибровки значений разных спутниковых платформ) для задач оценки растительности, как если бы исходные данные были с одного измерительного прибора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапрыкин Е.И., Сладких Л.А., Пчельников Д.В. Оценка состояния посевов зерновых культур по данным дистанционного зондирования земли // V Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии, системы и приборы в АПК-АГРОИНФО-2012», п. Краснообск, 10–11 октября 2012 года. – Материалы Междун. конф., 2012. – Том 1. – С. 387–390.
2. Grant K.D., Puschell J., Miller Sh. VIIRS Improvements over MODIS // AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition, AIAA SPACE Forum, (AIAA 2013-5461); doi:10.2514/6.2013-5461.
3. Wolfe R.E., Lin G., Nishihama M., Tewari K.P., Tilton J.C., Isaacman A.R. Suomi NPP VIIRS prelaunch and on-orbit geometric calibration and characterization // J. Geophys. Res. Atmos. – 2013, № 118. – Pp. 11508–11521; doi:10.1002/jgrd.50873.

Denis V. Pchel'nikov¹, Nikolay N. Dobtretsov²

THE CONSTRUCTION OF TIME SERIES SIMULTANEOUSLY USING SUOMI NPP VIIRS AND TERRA/AQUA MODIS REMOTE SENSING DATA

ABSTRACT

The new generation sensor VIIRS of Suomi NPP satellite has replaced MODIS sensors of TERRA & AQUA. VIIRS spectral channels are not full analogues of MODIS, and their spatial resolution differs slightly. Both sensors were designed for a similar range of observation tasks, and their joint usage should be effective. However the time period from the launch of Suomi NPP to the present is short enough to develop a mutual long-term time series (over tens of years). Suomi NPP VIIRS joint use with Terra MODIS and Aqua MODIS for building multi-year time series allows us to extend the time range of observations, and to ensure observations to be continued in the future. In this paper, we consider the methods of spatial co-registration of MODIS and VIIRS data, and provide the estimation of the calibration accuracy and spectral matching of channels of red (channel 1 MODIS and I1 VIIRS) and the near infrared range (channel 2 MODIS and I2 VIIRS). These are the main channels for assessing vegetation cover.

To build RS time series by resampling images to a common spatial resolution is the most obvious solution. However we propose an object-oriented approach, with nodes of the irregular grid of the time series being the centroids of the objects of study, and the pixels of the inner region being the attributes of those objects. The proposed approach allows one to combine the remote sensing data of different spatial resolution into a single series pack, which maintains the geometry and meta-information about pixels (angles, sun, quality parameters, etc.). Meta-information serves as a criterion for the use of certain data in the output values defined for the objects for the selected time scale (interval: day, week, month, year, etc.).

KEYWORDS:

remote sensing, MODIS, VIIRS, time series, spatial resolution, spectral resolution

REFERENCES

1. Saprykin E.I., Sladkih L.A., Pchel'nikov D.V. Ocenka sostojanija posevov zernovyh kul'tur po dannym distancionnogo zondirovanija zemli [Assessment of crops based on remote sensing], V Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija Informacionnye tehnologii, sistemy i pribory v APK-AGROINFO-2012, p. Krasnoobsk, 10–11 oktjabrja 2012 goda. Materialy Mezhd. Konf., 2012, T. 1, pp. 387–390 (in Russian).
2. Grant K.D., Puschell J., Miller Sh. VIIRS Improvements over MODIS, AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition, AIAA SPACE Forum, (AIAA 2013-5461); doi:10.2514/6.2013-5461.
3. Wolfe R.E., Lin G., Nishihama M., Tewari K.P., Tilton J.C., Isaacman A.R., Suomi NPP VIIRS prelaunch and on-orbit geometric calibration and characterization, J. Geophys. Res. Atmos., 2013, No 118, pp. 11508–11521; doi:10.1002/jgrd.50873.

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences; 3, Ac. Koptyuga ave, Novosibirsk, Russia, 630090; e-mail: denmail@igm.nsc.ru

² V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences; 3, Ac. Koptyuga ave, Novosibirsk, Russia, 630090; e-mail: nickdobretsov@gmail.com