# К оценке точности привязки продуктов прибора VIIRS (Suomi NPP)

## Д. Е. Плотников, П. А. Колбудаев, А. М. Матвеев, А. А. Прошин

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

Описываются актуальные результаты оценки точности географической привязки продуктов VIIRS (англ. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) (Suomi NPP): исходных измерений коэффициентов спектральной яркости (продукт VNP09GA), а также создаваемых на их основе в ИКИ РАН путём весовой интерполяции новой коллекции ежедневных композитных изображений (продукт VIIRS HiTSE). Оценивалась привязка указанных продуктов в красном и ближнем инфракрасном (ИК) каналах, распространяемых с пространственным разрешением 500 м; в качестве опорных высокодетальных изображений использовались данные приборов MSI (англ. Multispectral Instrument) (Sentinel-2A/B) в соответствующих спектральных каналах с разрешением 10 м. Оценка проводилась на базе набора опорных участков размером 6×6 км, покрывающих территорию России квазирегулярной сеткой. Для оценки точности привязки использовался метод HiResByLowRes, позволяющий идентифицировать точное положение пикселя низкого разрешения путём анализа серии результатов загрубления высокодетального эталонного изображения при различных положениях скользящего окна загрубления. Было обнаружено, что среднее значение модуля ошибки географической привязки для продукта VNP09GA составило 166,6 и 167,4 м в красном и ИК-каналах соответственно (стандартное отклонение равно 210,6 и 208,5 м соответственно) при максимальном значении ошибки привязки 740 м, а для продукта VIIRS HiTSE — 88,6 и 85 м (стандартное отклонение — 104,5 и 100,0 м) при максимальном значении ошибки привязки 320 м. Таким образом, представлены новые данные о фактической точности привязки исследуемых продуктов и показано, что весовая интерполяция LOWESS временной серии продукта VNP09GA не только обеспечивает построение безоблачных ежедневных изображений, но и в среднем в два раза уменьшает ошибку геореференцирования исходных продуктов.

Ключевые слова: VIIRS, Suomi NPP, Sentinel-2, MSI, HiTSE, LOWESS, географическая привязка

Одобрена к печати: 13.02.2025 DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-319-325

#### Введение

Временные серии спутниковых измерений широко используются во множестве задач дистанционной оценки характеристик растительного покрова, включая распознавание типов растительности (Гаврилюк и др., 2018; Ёлкина и др., 2024; Waldner et al., 2019), оценку их состояния (Савин и др., 2011; Середа и др., 2020; Трошко и др., 2021), измерение биофизических характеристик (Плотников и др., 2025; Шабанов и др., 2018; Plotnikov et al., 2022, 2023), оценку изменений и многие другие задачи. В частности, временные серии спутниковых данных востребованы для оперативного распознавания и оценки состояния культур и групп культур на больших территориях (Плотников и др., 2018, 2020, 2024). Для корректного анализа динамики дистанционных показателей в точке путём построения временных серий требуется субпиксельная географическая привязка исходных данных. Таким образом, обеспечение необходимой точности географической привязки спутниковых снимков является необходимым этапом предварительной обработки.

#### Исследуемые продукты и опорные данные

В работе была определена точность географической привязки продуктов, получаемых по данным прибора VIIRS (*англ.* Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), находящегося на борту спутника Suomi NPP за полный сезон 2020 г. Оценивалась привязка как исходного продукта VNP09GA, распространяемого в синусоидальной проекции с пространственным разрешением 500 м, так и новой коллекции канальных продуктов VIIRS HiTSE, полученных после восстановления серии безоблачных измерений коэффициентов спектральной яркости высокого временного разрешения на базе исходных данных. Исходные продукты VNP09GA были получены из центров распространения данных LP DAAC (*англ.* Land Processes Distributed Active Archive Center) (https://lpdaac.usgs.gov). Новая коллекция восстановленных мультиспектральных безоблачных изображений HiTSE для прибора VIIRS опубликована в интерфейсе систем семейства «Bera» (http://sozvezdie-vega.ru/) и создаётся в потоковом режиме для территории России с ежедневным временным разрешением с использованием алгоритма весовой скользящей интерполяции LOWESS (*англ.* Locally Weighted Scatterplot Smoothing) (Plotnikov et al., 2022) на базе ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019).

В работе оценивались изображения продуктов VIIRS в красном и ближнем инфракрасном (ИК) каналах на базе эталонных изображений прибора MSI (*англ*. Multispectral Instrument) спутников Sentinel-2A/В в соответствующих спектральных каналах с разрешением 10 м. Исследуемые и эталонные изображения проецировались из исходных синусоидальной и UTM (*англ*. Universal Transverse Mercator) проекций в географическую проекцию с ожидаемой максимальной ошибкой проецирования не более 12 м (для VIIRS) и 0,25 м (для MSI) соответственно выбранным методом географического преобразования. Входные данные из обоих источников покрывали изображениями территорию континентального охвата, характеризуемую высокой неоднородностью физико-географических условий, квазирегулярной сеткой с шагом 6×6 км в течение полного сезона 2020 г.

#### Метод

Для оценки привязки использовался метод HiResByLowRes (Колбудаев и др., 2021; Плотников и др., 2022), который позволяет в автоматическом режиме оценивать точность привязки спутниковых данных. Преимущества этого метода заключаются в следующем:

1) нет ограничений на физические значения и единицы измерений источника и эталона, они могут быть уровня L0, L1 или L2;

2) используемое в качестве эталона изображение должно иметь высокую точность привязки, но при этом не обязательно быть более детальным — в частности, метод был успешно апробирован и на данных более низкого разрешения, чем привязываемое;

3) метод работает с необработанными изображениями, но не требует масок мешающих факторов, поскольку зашумлённые участки автоматически исключаются из анализа на основе значений уровня корреляции с эталоном.

Оценка точности привязки осуществлялась на основе набора распределённых по территории России участков обрабатываемых изображений размером 6×6 км (блоков) (*puc. 1*, см. с. 321). В процессе работы метода происходил перебор положения окна размером 50×50 пикселей (аналог 500 м) на изображениях MSI с последующим осреднением попавшей в него группы пикселей для формирования загрублённого, равного разрешению проверяемых данных изображения MSI, сопоставляемого с проверяемым изображением VIIRS.

При этом положение сдвигаемого с шагом 10 м изображения MSI фиксировалось с вычислением метрики корреляции Пирсона для всего блока и вектора сдвига. Соответствующий максимуму корреляции сдвиг фактически характеризует отклонение положения блока VIIRS от исходного положения блока MSI, что позволяет в конечном итоге оценить локальную ошибку геопривязки данных при условии достижения максимального значения корреляции минимального порога, введённого для исключения блоков с наличием мешающих факторов.



*Рис. 1.* Расположение на территории России тестовых участков для оценки точности привязки продуктов VNP09GA (Seances) (синий и красный цвет) и ежедневных восстановленных изображений (HiTSE) (зелёный и фиолетовый цвет) в ближнем ИК (*вверху*) и красном (*внизу*) каналах прибора VIIRS; тестовые участки для сеансов указаны кругами, для восстановленных изображений — ромбами

## Результаты

В результате проведённой оценки обработаны как исходные продукты VNP09GA в красном и ближнем ИК-каналах, так и интерполированные изображения, полученные на основе этого продукта в аналогичных каналах. Для исходного продукта было обработано 1739 и 1623 участка размером  $6 \times 6$  км, и среднее значение модуля ошибки привязки составило 166,6 и 167,4 м в красном и ИК-каналах соответственно (*puc. 2*, см. с. 322). Среднее значение модуля ошибки привязки для интерполированных изображений было посчитано по 4946 и 5155 участкам и оказалось равным 88,6 и 85 м в красном и ИК-каналах соответственно. При этом стандартное отклонение ошибки привязки для исходного продукта составило 210,6 и 208,5 м, а для интерполированного продукта VIIRS HiTSE — 104,5 и 100,0 м в красном и ИК-каналах соответственно. Разница в числе использованных участков возникает из-за наличия мешающих факторов в исходных данных (сценах) VNP09GA, которые приводили к исключению участков из анализа ввиду низких значений корреляции, в то время как интерполированные изображения всегда свободны от влияния облачности и теней от неё.



*Рис. 2.* Распределения ошибок привязки исходных сеансов (VNP09GA) и интерполированных ежедневных изображений (HiTSE) в красном и ближнем ИК-каналах VIIRS (в м): по долготе (*вверху*), широте (*посередине*) и модулю (*внизу*)

Несмотря на то, что средние значения ошибки привязки не превышают размера пикселя VNP09GA (500 м), наблюдаемые максимальные значения отклонений составили 740 м для исходного продукта и 320 м для интерполированного продукта. Легко заметить кратное снижение ошибки геопривязки для нового продукта VIIRS HiTSE, что подтверждает вывод о том, что весовая интерполяция временной серии исходных изображений в среднем кратно (в данном случае приблизительно в два раза) уменьшает ошибку привязки.

Исследование выполнено в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг».

# Литература

- 1. *Гаврилюк Е.А., Плотникова А.С., Плотников Д.Е.* Картографирование наземных экосистем Печоро-Илычского заповедника и его окрестностей на основе восстановленных мультивременных спутниковых данных Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 141–153. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-141-153.
- 2. *Ёлкина Е.С., Плотников Д.Е., Дунаева Е.А.* Обнаружение возможности дистанционного распознавания орошаемых земель Республики Крым на основе спектрально-временных и температурных признаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 5. С. 379–386. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-379-386.
- 3. *Колбудаев П.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М.* SmisGeoCorrHiResByLowRes. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021682066. Рег. 29.12.2021.
- 4. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др. 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.
- 5. Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Барталев С. А. Метод автоматического распознавания сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных и имитационной модели развития растений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 131–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-131-141.
- 6. Плотников Д. Е., Ёлкина Е. С., Дунаева Е. А. и др. 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.
- 7. Плотников Д. Е., Колбудаев П.А., Лупян Е.А. Автоматический метод субпиксельной географической привязки спутниковых изображений КМСС-М на основе актуализируемого эталона низкого пространственного разрешения // Компьютерная оптика. 2022. Т. 46. № 5. С. 818–827. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1098.
- 8. Плотников Д. Е., Бойматов Ю. Ш., Ёлкина Е. С. и др. Оценка эффективности мультисезонных моделей машинного обучения для оперативного распознавания озимых культур на больших территориях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 5. С. 116–129. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-116-129.
- 9. Плотников Д. Е., Чжоу Ц., Колбудаев П.А., Лупян Е.А., Матвеев А.М., Зимин М.В., Жуков Б.С., Кондратьева Т.В., Лебедев С.В. Разработка и оценка индекса листовой поверхности LAI растительного покрова России на основе разноугловых наблюдений КМСС («Метеор-М») путём нейросетевой инверсии модели PROSAIL // Компьютерная оптика. 2025. Т. 49. № 3 (в печати).
- 10. Савин И. Ю., Барталев С. А., Лупян Е. А., Толпин В. А., Медведева М. А., Плотников Д. Е. Спутниковый мониторинг воздействия засухи на растительность (на примере засухи 2010 года в России) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 150–162.
- 11. *Середа И.И., Денисов П.В., Трошко К.А. и др.* Уникальные условия развития озимых культур, наблюдаемые по данным спутникового мониторинга на европейской территории России в октябре 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 304–310. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-304-310.
- 12. *Трошко К.А., Денисов П.В., Лупян Е.А. и др.* Особенности состояния зерновых культур в регионах европейской части России и Сибири в июне 2021 г. по данным дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 325–331. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-325-331.
- 13. Шабанов Н.В., Барталев С.А., Ерошенко Ф.В., Плотников Д.Е. Развитие возможностей дистанционной оценки индекса листовой поверхности по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 166–178. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-166-178.
- 14. *Plotnikov D., Kolbudaev P., Matveev A. et al.* Daily surface reflectance reconstruction using LOWESS on the example of various satellite systems // 8<sup>th</sup> Intern. Conf. "Information Technology and Nanotechnology" (ITNT-2022). IEEE Xplore, 2022. 5 p. DOI: 10.1109/ITNT55410.2022.9848630.
- 15. *Plotnikov D., Kolbudaev P., Matveev A. et al.* Accuracy assessment of atmospheric correction of KMSS-2 Meteor-M #2.2 data over northern Eurasia // Remote Sensing. 2023. V. 15. Iss. 18. Article 4395. DOI: 10.3390/rs15184395.
- 16. *Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M. et al.* Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps // Remote Sensing of Environment. 2019. V. 221. P. 235–246. DOI: 10.1016/j. rse.2018.10.039.

## Towards assessment of georeferencing accuracy for VIIRS (Suomi NPP) products

### D. E. Plotnikov, P.A. Kolbudaev, A. M. Matveev, A. A. Proshin

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

This communication describes recent results related to assessment of geolocation accuracy of VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) (Suomi NPP) products, both original (VNP09GA product) and new composite time series created on their basis at Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (VIIRS HiTSE product). Georeferencing accuracy of both products in Red and NIR bands with a spatial resolution of 500 meters has been assessed using MSI (Multispectral Instrument) (Sentinel-2A/B) imagery in the same bands with a spatial resolution of 10 meters as highresolution reference data. The assessment was carried out based on a set of  $6 \times 6$  km reference sites covering Russia with a quasi-regular grid. To assess the geolocation accuracy, the previously developed HiResByLowRes method was used that allows one to identify the exact position of a low-resolution pixel by analyzing a series of coarsening results of a highly detailed reference image at various positions of the sliding window used for coarsening. It was found that mean absolute reference error for VNP09GA product was 166.6 and 167.4 meters in Red and NIR bands, respectively (standard deviation was 210.6 and 208.5 meters, respectively), with a maximum absolute reference error of 740 meters, whereas for the VIIRS HiTSE product it was 88.6 and 85 meters (standard deviation 104.5 and 100.0 meters) with a maximum absolute error of 320 meters. Thus, new data on actual geolocation accuracy of the studied products were presented and weighted LOWESS interpolation of VNP09GA time series was shown not only to provide cloud-free daily imagery, but also to reduce on average by half the error of georeferencing of the initial products.

Keywords: VIIRS, Suomi NPP, Sentinel-2, MSI, HiTSE, LOWESS, geographic reference

Accepted: 13.02.2025 DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-319-325

#### References

- Gavrilyuk E.A., Plotnikova A.S., Plotnikov D.E., Land cover mapping of the Pechora-Ilych Nature Reserve and its vicinity based on reconstructed multitemporal Landsat satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, V. 15, No. 5, pp. 141–153 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-141-153.
- Elkina E.S., Plotnikov D.E., Dunaeva E.A., Discovering the possibility for irrigated lands identification with remote sensing data over Republic of Crimea based on spectral-temporal and thermal features, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 5, pp. 379–386 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-379-386.
- 3. Kolbudaev P.A., Plotnikov D. E., Matveev A. M., *SmisGeoCorrHiResByLowRes*. Certificate of state registration of software No. 2021682066 (RU), Reg. 29.12.2021 (in Russian).
- 4. Loupan E.A., Proshin A.A., Burcev M.A. et al., 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, V. 16, No. 3, pp. 151–170 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
- Plotnikov D. E., Khvostikov S. A., Bartalev S. A., Method for automated crop types mapping using remote sensing data and a plant growth simulation model, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, V. 15, No. 4, pp. 131–141 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-131-141.
- 6. Plotnikov D.E., Elkina E.S., Dunaeva E.A. et al., Development of the method for automatic winter crops mapping by means of remote sensing aimed at crops state assessment over the Republic of Cremia, *Tauride Bull. Agricultural Science*, 2020, No. 1(21), pp. 64–83 (in Russian), DOI: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-64-83.
- Plotnikov D. E., Kolbudaev P.A, Loupian E.A., An automatic method for subpixel registration of KMSS-M imagery based on coarse-resolution actualized reference, *Computer Optics*, 2022, V. 46, No. 5, pp. 818–827 (in Russian), DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1098.

- 8. Plotnikov D. E., Boymatov Yu. Sh., Elkina E. S. et al., Evaluation of the effectiveness of multiseasonal machine learning models for real-time recognition of winter crops over large areas, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 5, pp. 116–129 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-116-129.
- 9. Plotnikov D.E., Zhou Z., Kolbudaev P.A., Loupian E.A., Matveev A.M., Zimin M.V., Zhukov B.S., Kondratieva T.V., Lebedev S.V., Development and assessment of Leaf Area Index of Russian vegetation cover based on multi-angular observations of KMSS (Meteor-M) and neural network inversion of PROSAIL model, *Computer Optics*, 2025, V. 49, No. 3 (in print).
- 10. Savin I.Yu., Bartalev S.A., Loupian E.A., Tolpin V.A., Medvedeva M.A., Plotnikov D.E., Satellite monitoring of vegetation affected by drought (using drought 2010 in Russia as an example), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, V. 8, No. 1, pp. 150–162 (in Russian).
- 11. Sereda I. I., Denisov P. V., Troshko K. A. et al., The unique situation of winter crops development observed from remote sensing data in the European territory of Russia in October 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, V. 17, No. 5, pp. 304–310 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-304-310.
- 12. Troshko K.A., Denisov P.A., Loupian E.A. et al., The state of grain crops in the European part of Russia and Siberia in June 2021 based on remote sensing data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 3, pp. 325–331, DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-325-331.
- 13. Shabanov N.V., Bartalev S.A., Eroshenko F.V., Plotnikov D.E., Development of capabilities for remote sensing estimate of Leaf Area Index from MODIS data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, V. 15, No. 4, pp. 166–178 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-166-178.
- Plotnikov D., Kolbudaev P., Matveev A. et al., Daily surface reflectance reconstruction using LOWESS on the example of various satellite systems, 8<sup>th</sup> Intern. Conf. "Information Technology and Nanotechnology" (ITNT-2022), IEEE Xplore, 2022, 5 p., DOI: 10.1109/ITNT55410.2022.9848630.
- 15. Plotnikov D., Kolbudaev P., Matveev A. et al., Accuracy assessment of atmospheric correction of KMSS-2 Meteor-M #2.2 data over northern Eurasia, *Remote Sensing*, 2023, V. 15, Iss. 18, Article 4395, DOI: 10.3390/rs15184395.
- 16. Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M. et al., Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps, *Remote Sensing of Environment*, 2019, V. 221, pp. 235–246, DOI: 10.1016/j. rse.2018.10.039.