

Восстановление временных серий ежедневных значений дистанционных характеристик растительного покрова на основе LOWESS по данным различных спутниковых систем

Д.Е. Плотников
Институт космических
исследований РАН
Москва, Россия
dmitplot@yandex.ru

П.А. Колбудаев
Институт космических
исследований РАН
Москва, Россия
kolbudaev@smis.iki.rssi.ru

А.М. Матвеев
Институт космических
исследований РАН
Москва, Россия
a_matveev@smis.iki.rssi.ru

Е.А. Лупян
Институт космических
исследований РАН
Москва, Россия
smis@smis.iki.rssi.ru

А.А. Прошин
Институт космических
исследований РАН
Москва, Россия
andry@smis.iki.rssi.ru

Аннотация—В работе рассматривается метод локально-скользящей взвешенной регрессии LOWESS и его использование для однотипного формирования гармонизированных безоблачных сезонных и многолетних рядов ежедневных наблюдений растительного покрова России на примере четырёх различных спутниковых систем: VIIRS (NPP), Terra/Aqua(MODIS), Sentinel-2A\B (MSI), Метеор-М-2\2.2(KMCC).

Ключевые слова— спутниковый мониторинг, временные ряды, интерполяция, ежедневные композиты, LOWESS, Sentinel-2, MODIS, VIIRS, KMCC.

1. ВВЕДЕНИЕ

Спутниковый мониторинг растительного покрова является эффективным инструментом получения объективной, высокодетальной и оперативной информации о характеристиках растительности на больших территориях[1,2]. При дистанционной оценке некоторых типов растительного покрова и для выявления изменений необходимо использование достаточно частых наблюдений земной поверхности, что может быть обеспечено действующими спутниковыми системами VIIRS (NPP), Terra/Aqua(MODIS), Sentinel-2A\B (MSI), Метеор-М-2\2.2(KMCC) и других. Формированию непрерывных и однородных рядов спутниковых наблюдений земной поверхности в оптическом диапазоне длин волн препятствует влияние облачности, теней от неё и снежного покрова. Для создания безоблачного спутникового изображения на большие территории зачастую используется классический подход, включающий расчёт масок мешающих факторов с последующей агрегацией оставшихся после маскирования чистых наблюдений, полученных за фиксированный интервал времени (временное композирование) [3]. Длинный интервал композирования снижает возможности датировки событий изменений, но обеспечивает высокую наполненность безоблачными измерениями, а короткий интервал композирования позволяет получить более актуализированное изображение, но сопряжен с большим числом пропусков.

Для создания масок облачности и теней и улучшения результатов композирования используются доступные сенсору мультиспектральные индексы, каналы теплового диапазона длин волн, что придает сенсорную специфику этим подходам. Кроме этого, может использоваться локальная статистика для исключения остаточных выбросных измерений и пост-обработка в виде пространственного анализа значений яркости для уточнения границ облачности и теней. Для восстановления пропущенных значений в композитных изображениях на последнем этапе обычно производится интерполяция временных рядов этих изображений на основе оставшихся чистых измерений[3].

2. МЕТОД

В настоящей работе демонстрируются возможности метода локально-скользящей взвешенной регрессии полиномами LOWESS[4] для восстановления сезонных и многолетних временных серий безоблачных ежедневных наблюдений земной поверхности минуя этапы создания масок мешающих факторов и временного композирования. Ввиду минимальных требований, указанный метод оказывается применим к данным различных спутниковых систем уровня обработки L2A, обеспечивающих достаточную частоту повторных наблюдений. Для работы метод использует сезонную временную серию всех значений целевого индикатора (вегетационного индекса или измерений в отдельном канале), а в качестве веса наблюдения могут использоваться соответствующие ему значения характеристики, которая чувствительна к наличию мешающих факторов, например, нормализованный разностный индекс NDSI (Normalized Difference Snow Index) (рис. 1).

В общем случае в качестве метрики веса наблюдения может быть использована любая нормализованная величина, позволяющая определить ценность конкретного измерения для построения модели, описывающей сезонную динамику спектральных характеристик растительного покрова. Например, в

отсутствие необходимых для вычисления NDSI спектральных каналов у спутниковой системы Meteor-M-2/2.2, для построения временных серий ежедневных измерений по данным прибора KMCC указанный метод использует метрику пространственного несовпадения с актуализированным безоблачным эталоном, полученным по данным другой спутниковой системы[5].

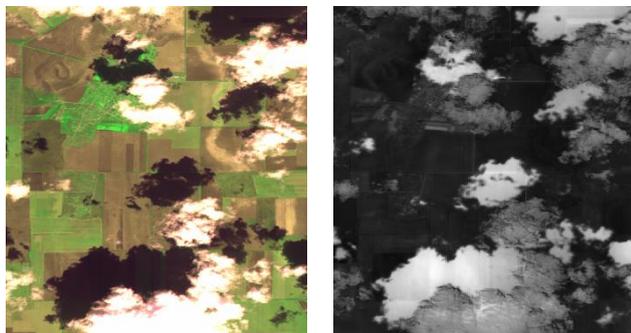


Рис 1. Изображение Sentinel-2 (MSI) в естественном синтезе и соответствующее ему изображение NDSI, 3.09.2021, Крым

В соответствии с концепцией метода LOWESS, непараметрическая модель для описания сезонной динамики безоблачных измерений земной поверхности формируется на основе агрегации множества оценок аппроксимирующих полиномов низкой степени. В настоящей работе использовались полиномы второй степени, при оптимизации использовался метод наименьших квадратов. При поиске аппроксимирующего локального полинома вместо классической формулировки $y=f(x_i,b)+e$ задача оптимизации формулируется в виде $y=f(x_i,W_i,b)+e$, а при расчете функции потерь и минимизации остатков $\sum(y_i-f_i(x)) \rightarrow \min$ учитывается вес соответствующего наблюдения W_i .

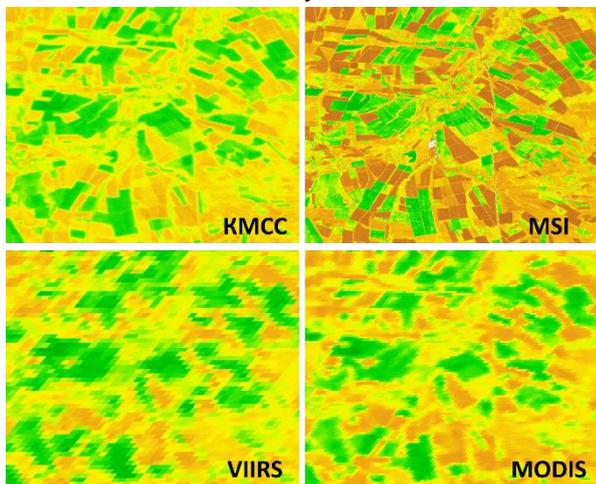


Рис 2. Результаты восстановления безоблачного изображения NDVI за одну дату (1 мая 2020 года) участка территории Воронежской области по данным четырёх различных спутниковых приборов описанным методом

Описанный подход при построении безоблачных временных рядов использует только сезонный набор всех дистанционных измерений, сопровождаемых оценкой

качества, обеспечивая, таким образом, простую и полную переносимость метода при работе с данными других спутниковых систем (рис. 2). В частности, в результате технологической реализации разработанного метода в ИКИ РАН на протяжении нескольких последних лет было развернуто и производится регулярное автоматическое построение ежедневных безоблачных восстановленных изображений на территорию РФ и сопредельных стран по данным различных сенсоров.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный метод локально-скользящей взвешенной регрессии полиномами LOWESS и соответствующая технология позволяют автоматически восстанавливать ежедневные безоблачные мультиспектральные изображения с различных сенсоров и спутниковых систем (MODIS, VIIRS, MSI, KMCC-M/KMCC-2) на большие территории, минуя этапы создания масок мешающих факторов и временного композирования. Разработанный метод обладает достаточной гибкостью и просто переносится на данные других спутниковых систем.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» [6].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Плотников, Д.Е. Метод автоматического распознавания сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных и имитационной модели развития растений / Д.Е. Плотников, С.А. Хвостиков, С.А. Барталев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 131-141. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-131-141.
- [2] Плотников, Д.Е. Оценка точности выявления посевов озимых культур в весенне-летний период вегетации по данным прибора MODIS / Д.Е. Плотников, С.А. Барталев, Е.А. Лупян, В.А. Толпин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 4. – С. 132-145. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-132-145.
- [3] Барталев, С.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России / С.А. Барталев, В.А. Егоров, В.О. Жарко. – М.: Институт космических исследований Российской академии наук, 2016. – 208 с.
- [4] Cleveland, W.S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots / W.S. Cleveland // Journal of the American Statistical Association. – 1979. – Vol. 74(368). – P. 829-836.
- [5] Kolbudaev, P.A. The methods and automatic technology aimed at imagery georeferencing, cloud screening, atmospheric and radiometric correction of KMSS-M satellite data / P.A. Kolbudaev, D.E. Plotnikov, E.A. Loupian, A.A. Proshin, A.M. Matveev // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 333. – P. 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/202133301006.
- [6] Лупян, Е.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды / Е.А. Лупян, А.А. Прошин, М.А. Бурцев, И.В. Балашов, С.А. Барталев, В.Ю. Ефремов, А.В. Кашницкий, А.А. Мазуров, А.М. Матвеев, О.А. Суднева, И.Г. Сычугов, В.А. Толпин, И.А. Уваров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 5. – С. 247-267.