

Восстановление и коррекция длинных временных рядов данных спутниковых наблюдений растительного покрова

Миклашевич Т.С., Барталев С.А.

Данные космического наблюдения высокого временного разрешения позволяют осуществлять непрерывный мониторинг растительного покрова. Разновременные изображения применяются при решении широкого спектра задач ДЗЗ, связанных с анализом и классификацией растительного покрова. Облачный и снежный покров, атмосферная дымка и тени от облаков часто препятствуют непрерывному наблюдению растительности. Спутниковые данные проходят предварительную обработку, в результате которой искаженные значения фильтруются. При этом, с одной стороны, во временных рядах появляются пропуски, а с другой стороны, часть наблюдений требует дополнительной коррекции.

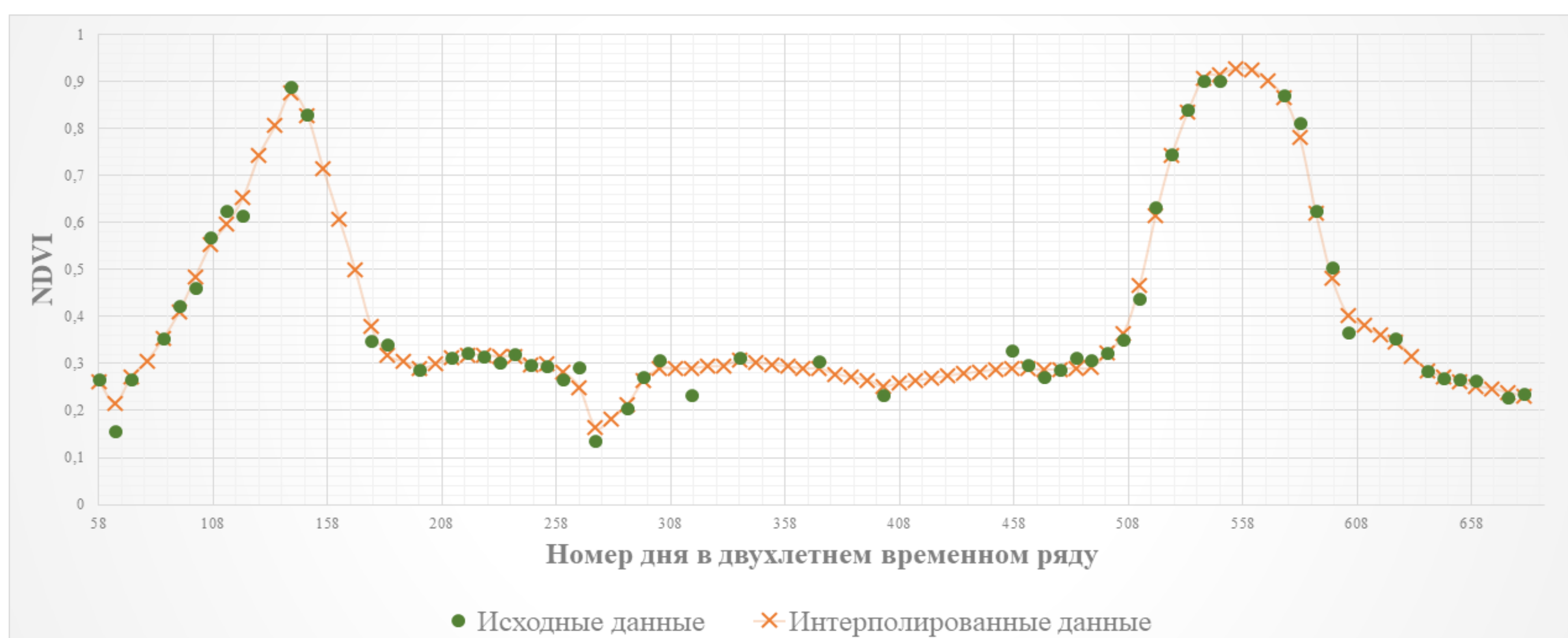
Исходные данные

Спутниковые данные прибора Terra-MODIS:

- Пространственное разрешение - 250 м
- Предварительно обработанные и очищенные от влияния шумов и мешающих факторов композитные изображения различного временного разрешения: ежедневные, четырехдневные и семидневные композиты
- Временные ряды значений коэффициентов спектральной яркости в красном и ближнем инфракрасном каналах, вегетационных индексов NDVI и PVI, биофизических характеристик растительного покрова LAI и FPAR
- Период наблюдения охватывает 2000-2018 гг.

Алгоритм восстановления и коррекции временных рядов

Алгоритм полной обработки временных рядов включает в себя детектирование и фильтрацию выбросных значений, заполнение пропусков наблюдений и сглаживание временных рядов спутниковых данных.

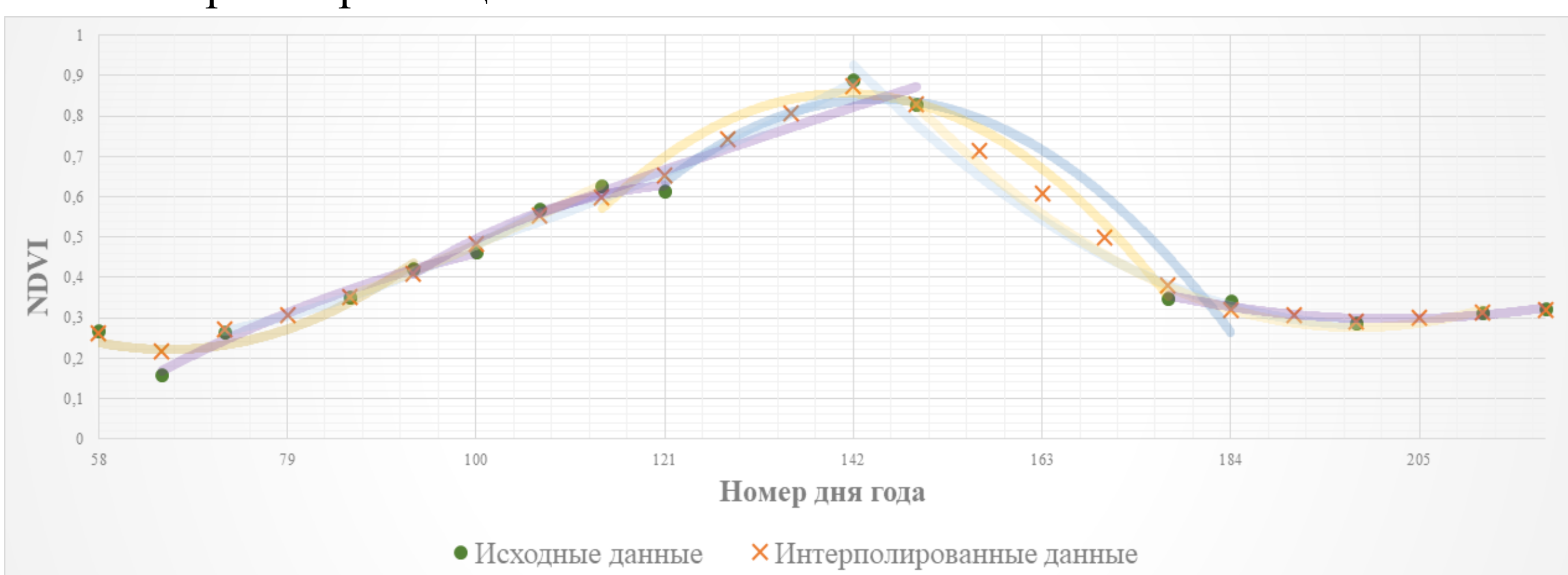


Алгоритм основан на полиномиальной аппроксимации в скользящем окне переменного размера. Результаты интерполяции записываются в матрицу IM , столбцы которой содержат набор аппроксимаций для каждой точки временного ряда. Пример интерполяционной матрицы с величиной окна $p=5$.

$$IM = \begin{bmatrix} a_1^{11} & a_2^{21} & b_3^1 & a_4^{31} & a_5^{41} & a_6^{51} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & a_2^{12} & b_3^2 & a_4^{22} & a_5^{32} & a_6^{42} & a_7^{52} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & a_4^{13} & a_5^{23} & a_6^{33} & a_7^{43} & b_8^3 & a_9^{53} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_5^{14} & a_6^{24} & a_7^{34} & b_8^4 & a_9^{44} & a_{10}^{54} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_6^{15} & a_7^{25} & b_8^5 & a_9^{35} & a_{10}^{45} & a_{11}^{55} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_7^{16} & b_8^6 & a_9^{26} & a_{10}^{36} & a_{11}^{46} & a_{12}^{56} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

a_T^{ij} — интерполяция в значащих точках, b_T^j — в пропусках, T — порядковый номер наблюдения во временном ряду, i — положение значащей точки в окне интерполяции, j — шаг окна интерполяции

Набор интерполяционных полиномов:



Реконструкция ряда данных может осуществляться в несколько итераций проходов скользящим окном. При этом на первом и последующих проходах используется анализ интерполяционных оценок для фильтрации выбросных значений и коррекции искаженных наблюдений. На последнем проходе выполняется заполнение пропущенных данных.

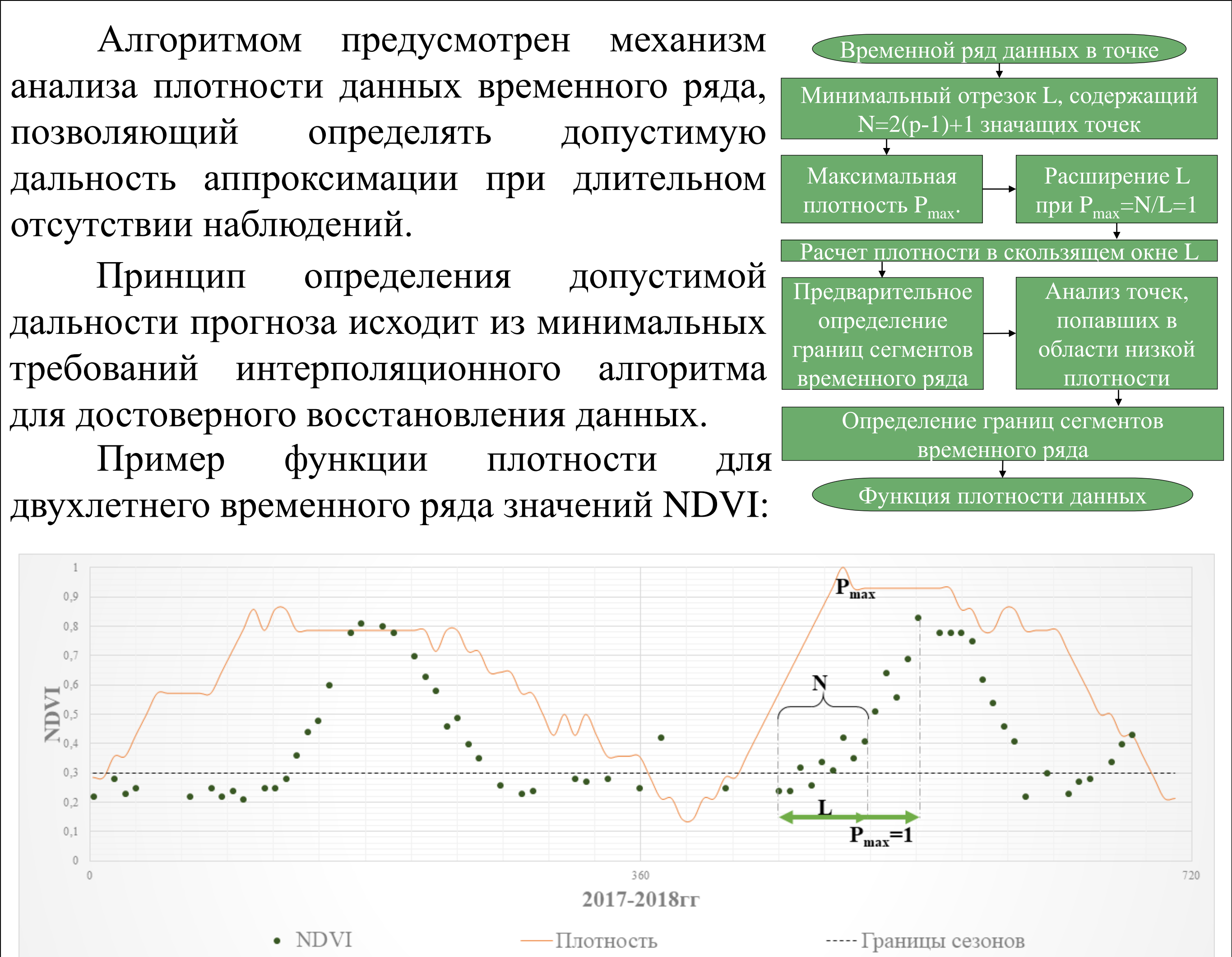
Разделение длинных временных рядов на независимые сегменты основано на анализе плотности данных во временном ряду.

Функция плотности временного ряда данных

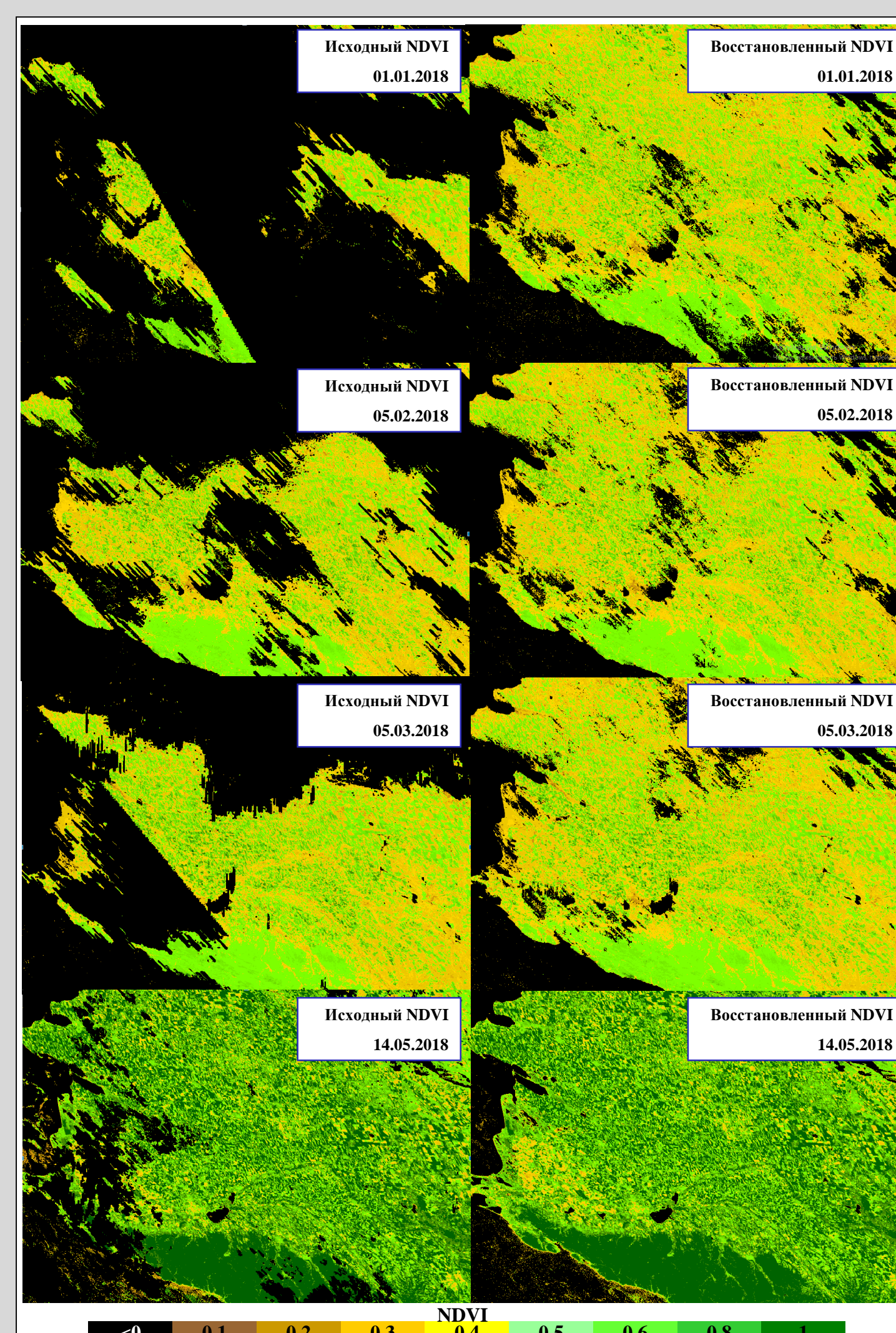
Алгоритмом предусмотрен механизм анализа плотности данных временного ряда, позволяющий определять допустимую дальность аппроксимации при длительном отсутствии наблюдений.

Принцип определения допустимой дальности прогноза исходит из минимальных требований интерполяционного алгоритма для достоверного восстановления данных.

Пример функции плотности для двухлетнего временного ряда значений NDVI:



Результаты интерполяции



Восстановление значений NDVI в условиях неустойчивого снежного покрова на территориях Краснодарского и Ставропольского краев. В начале года доля пропусков составляет в среднем 74,9% от общей площади земного покрова. Предложенный алгоритм позволяет восстанавливать на этих территориях в зимне-весенний период более 67% данных на отдельных изображениях. В результате интерполяции доля пропусков в интервале с середины января до конца марта сокращается в 3,1 раза. С мая заполнение пропусков приближается к 100%.