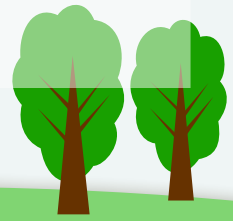
Разработка подхода переноса спутниковых данных на сетку высокого разрешения, используя данные спутниковой группировки VIIRS (NASA)

Козин А.М., Данелян Б.Г.
Центральная
Аэрологическая
Обсерватория

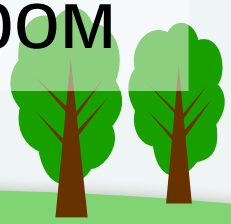
Область исследований

Данная работа проводится в рамках разработки научно-методических основ технологии снижения рисков возникновения лесных и ландшафтных пожаров.



Цель - улучшение качества выявления сгоревших участков

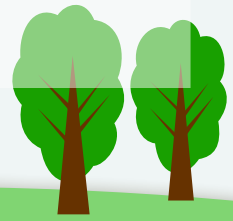
В настоящее время различные алгоритмы выявления сгоревших участков могут давать существенно разные оценки суммарной сгоревшей площади. При анализе качества алгоритма «Burned Area» от NASA, применяющегося в спутниковой группировке VIIRS научным сообществом выявлены неточности в случае небольших гарей, а также отмечалось, что наибольшие расхождения происходят в местности со сложным рельефом



Пространственное разрешение

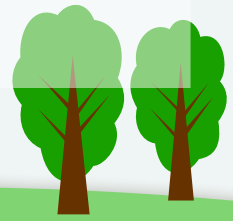
Описанные в предыдущем слайде недостатки алгоритма NASA происходят из-за недостаточного пространственного разрешения.

Существующее пространственное разрешение не всегда удовлетворяет нашим потребностям. Мы поставили задачу увеличить точность анализа



Разрешение спутников VIIRS

- Спутники VIIRS в спектральных диапазонах IMAGE имеют разрешение 375 метров в надире.
- Вдали от линии надира разрешение падает в разы
- В условиях сложного рельефа местности вдали от надира разрешение неравномерно, и местами становится ещё хуже



Эффективное разрешение спутников VIIRS

- Назовём эффективным разрешением спутниковой группировки размер объекта, излучение которого не искажается хотя бы в одном пикселе VIIRS для среднего размера пикселей. Оно составляет 1340 метров.
- Средний размер пикселей IMG равен 3030 км / 6400 пикселей. Это около 473 метров.
- Чтобы нашёлся пиксель размера 473 метра, целиком попадающий внутрь (квадратного) объекта, объект должен быть в $2\sqrt{2}$ раза больше.

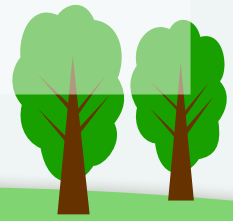
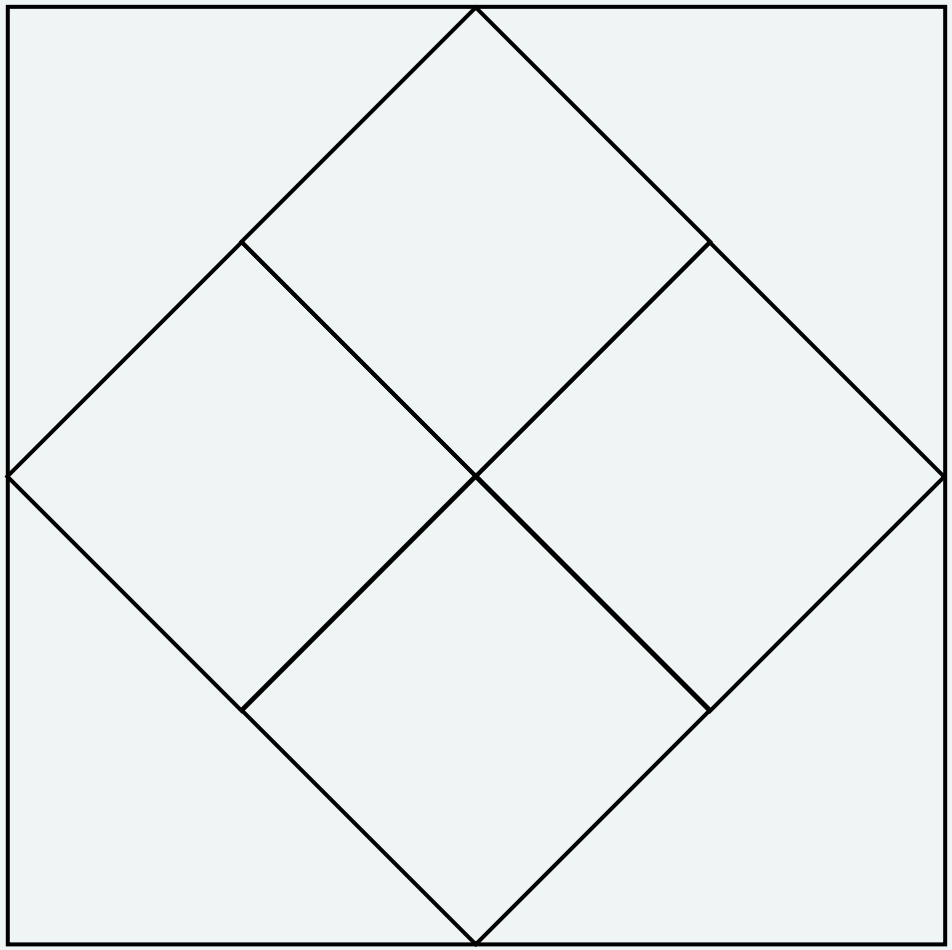


Иллюстрация к эффективному разрешению



- Большой квадрат — объект. Диагональные квадраты — спутниковые пиксели.
- Если уменьшить объект, то ни один спутниковый пиксель не будет внутри, значит, излучение будет искажено.

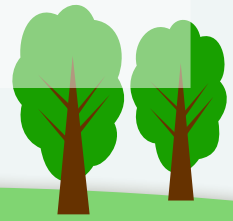
Частота пролёта спутников и частота природных пожаров

- В российских широтах каждый спутник группировки VIIRS пролетает в светлое время суток примерно 2 раза в сутки, в полярных широтах чаще.
- Это существенно чаще, чем происходят природные пожары в каждой конкретной области разумной площади
- Это позволяет использовать серию снимков для восстановления излучения поверхности

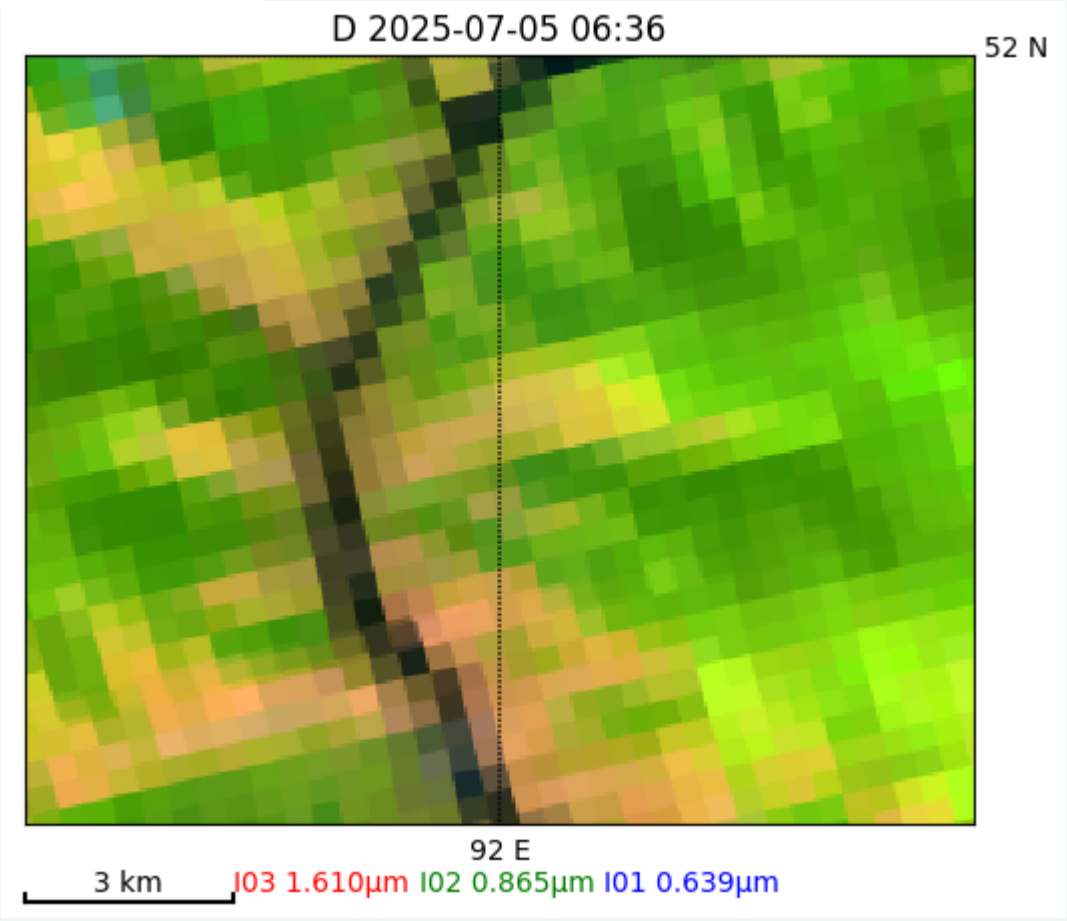


Рассеяние и поглощение атмосферы

- Анализу излучения поверхности существенно мешают облака, дым, прочие аэрозоли, а также тени от облаков и иных сущностей в атмосфере, даже концентрация озона влияет на интенсивность отражённого излучения поверхности
- В данной работе используется продукт VIIRS Cloud Mask, чтобы исключить влияние облаков, аэрозолей и теней.

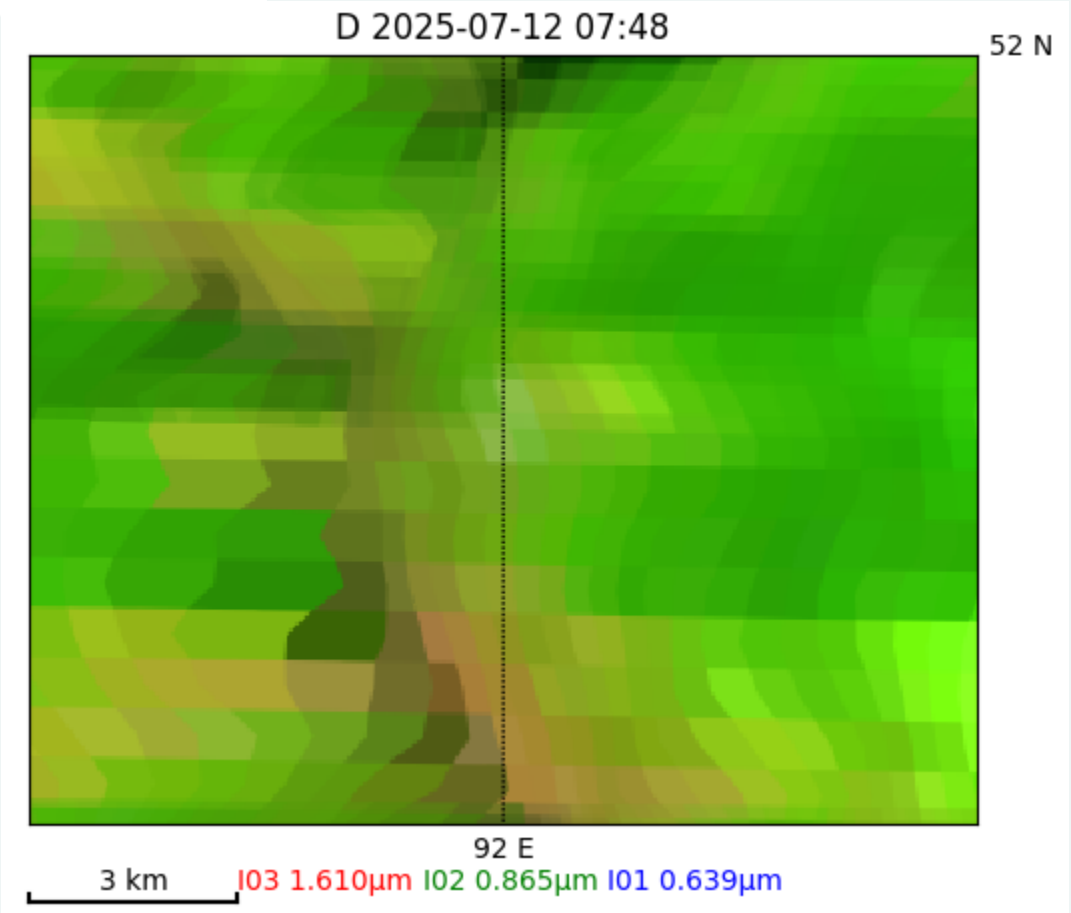


Пример почти идеального снимка



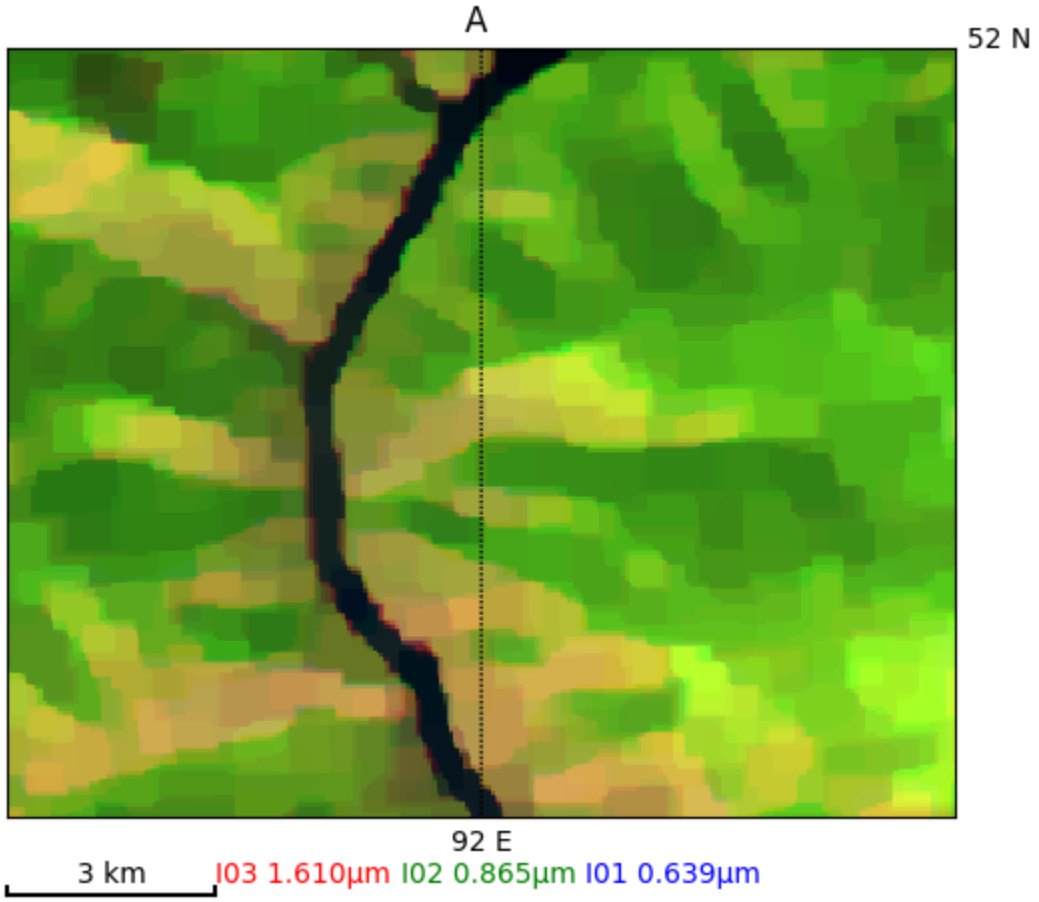
- Изображение RGB построено на трёх спектральных диапазонах VIIRS:
- Красному соответствует I3 (1,61µm)
- Зелёному соответствует I2 (0,87µm)
- Синему соответствует I1 (0,64µm)

Пример снимка вдали от надира, без облаков



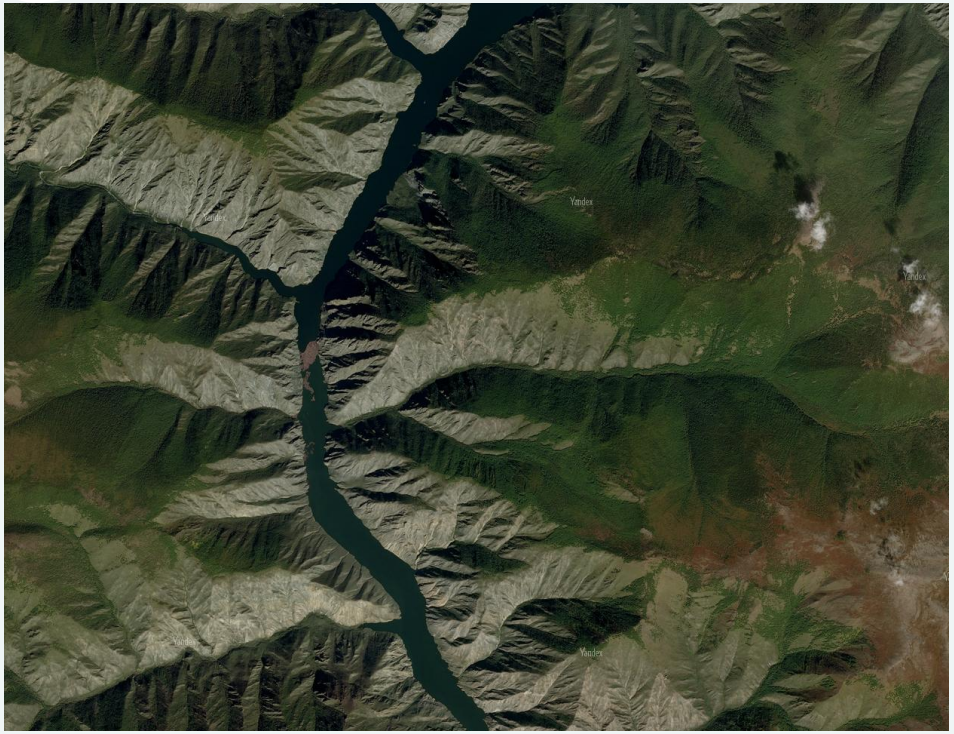
- Это верховья Енисея в Саянах. Спутник находился левее.
- Видно укрупнение пикселей и неравномерность их размера

Пример восстановления поверхности по серии снимков



- Енисей видно чётко. Ширина Енисея на данном участке 300-500м.
- Угадываются 2 притока

Аэрофотосъёмка



- Чтобы не было путаницы, солнце на юге, то есть, по картинке, снизу.
- Попробуем убедиться в ширине Енисея и притоков

Оценим размеры объектов

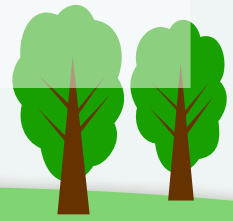




- Это притоки крупным планом.
- Ширина Енисея 200-500м, в основном 400м
- Ширина одного притока 300м
- Ширина другого 200м

Приблизительная оценка эффективного разрешения

- Восстановленная поверхность вычислялась на сетке около 46x46 метров (номинальное пространственное разрешение)
- Енисей видно чётко, а притоки не чётко, значит, эффективное пространственное разрешение составляет около 350 метров, что существенно лучше эффективного разрешения исходных снимков. Это делает осмысленным анализ пожаров на сетке 125 метров, что существенно меньше текущей официальной сетки VIIRS L2G (463 метра), на которой в настоящий момент вычисляется продукт VIIRS Burned Area.

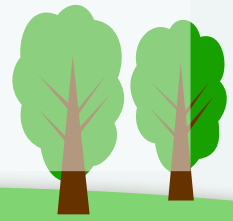


Проецирование, как линейное преобразование

Все распространённые способы проектирования данных с одной сетки на другую, включая метод ближайшего соседа, могут быть представлены в виде линейного отображения

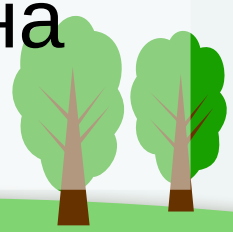
$$a = Ld$$

Здесь d — вектор значений пикселей на исходной сетке, a — вектор значений на сетке, куда мы проецируем, L — линейный опрератор проецирования



Проецирование изображения поверхности на исходные спутниковые пиксели

- Имея в виду, что излучение, полученное спутником в каждом пикселе является интегралом от плотности излучения по области пикселя, а также имея в виду, что сетка, на которой мы хотим получить изображение достаточно мелкая, можно, исходя из площадей пересечения ячеек сетки и спутниковых пикселей получить линейный оператор проецирования конечной сетки на спутниковые пиксели



Обратная задача

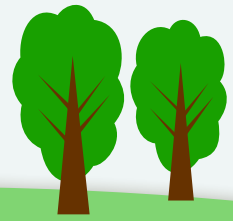
Если предположить, что в серии снимков поверхность не меняется, можно поставить задачу подобрать изображение, проецируя которое на спутниковые пиксели получится наименьшая невязка.

$$\|d - Wa\| \rightarrow \min_{a}$$

Суммарное количество спутниковых пикселей в идеале должно превышать количество ячеек сетки, на которой мы получаем изображение

Слабая обусловленность

Данная конкретная задача является слабо обусловленной, а ошибки, например, ошибки позиционирования, приводят к тому, что в решении такой задачи появляются отрицательные значения излучений, что заведомо неверно.



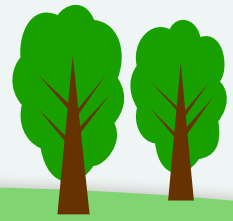
Искусственное увеличение обусловленности обратной задачи

Пусть N — квадратная матрица, такая, что

$$\begin{cases} N_{ij}=1, \text{если ячейки } i \text{ и } j \text{ соседние}, \\ N_{ij}=0, \text{иначе} \end{cases}$$

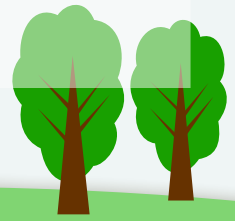
Модифицируем задачу

$$\|d-Wa\|+n\sum_{ij}\left(N_{ij}|a_i-a_j|\right)\to\min_a$$



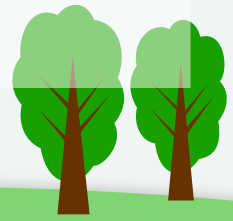
Альтернативные подходы

- Описанный подход дал наилучший результат
- Был также протестирован подход с условной минимизацией при $a \geq 0$. Этот подход ощутимо замедляется при уменьшении разрешения сетки, на которой мы восстанавливаем изображение



Борьба с ошибками в геопозиционировании

- Среднеквадратическое отклонение указанного положения спутникового пикселя VIIRS от истинного положения составляет 75 метров.
- Для борьбы с этой ошибкой предпринималась попытка «подвигать» спутниковые пиксели, чтобы уменьшить значение целевой функции. Существенных преимуществ это не дало.



Выводы

- За счёт использования серии снимков подход позволяет увеличить разрешение при анализе поверхности в горной местности минимум в 3,8 раза по каждому направлению по сравнению с алгоритмом «Burned Area» на равнине, что даёт увеличение точности оценки площадей минимум в 14 раз.
- Для дальнейшего увеличения точности нужно построить эффективный алгоритм, который будет учитывать ошибки позиционирования.

