



ТЕХНОЛОГИИ СПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Грибанов Константин Геннадьевич
В.н.с. ЛФКОС ИЕНиМ Урфу

21.12.2021

1. Количественная оценка эмиссии и депонирования парниковых газов (CO_2 , CH_4 , ...) в природных и трансформированных ландшафтах Свердловской области посредством объединения результатов наземных и дистанционных методов для понимания пространственной и временной изменчивости депонирования углерода и динамики потоков климатически активных газов.
2. Отработка технологии ассимиляции разнородных данных (спутниковых и наземных, инвентаризационных, дистанционных и прямых измерений) в общую модель источников и стоков на территории региона и РФ. Верификация с помощью прямых наземных измерений, алгоритмов и вычислительных технологий для определения содержания атмосферных газов несколькими дистанционными методами.

1. Определение вертикальных профилей оптически активных газов (CO_2 , CH_4 , ...), полного содержания в столбе, температуры, температуры поверхности из спектров, измеренных в тепловом инфракрасном диапазоне спектра спектрорадиометрами высокого спектрального разрешения.

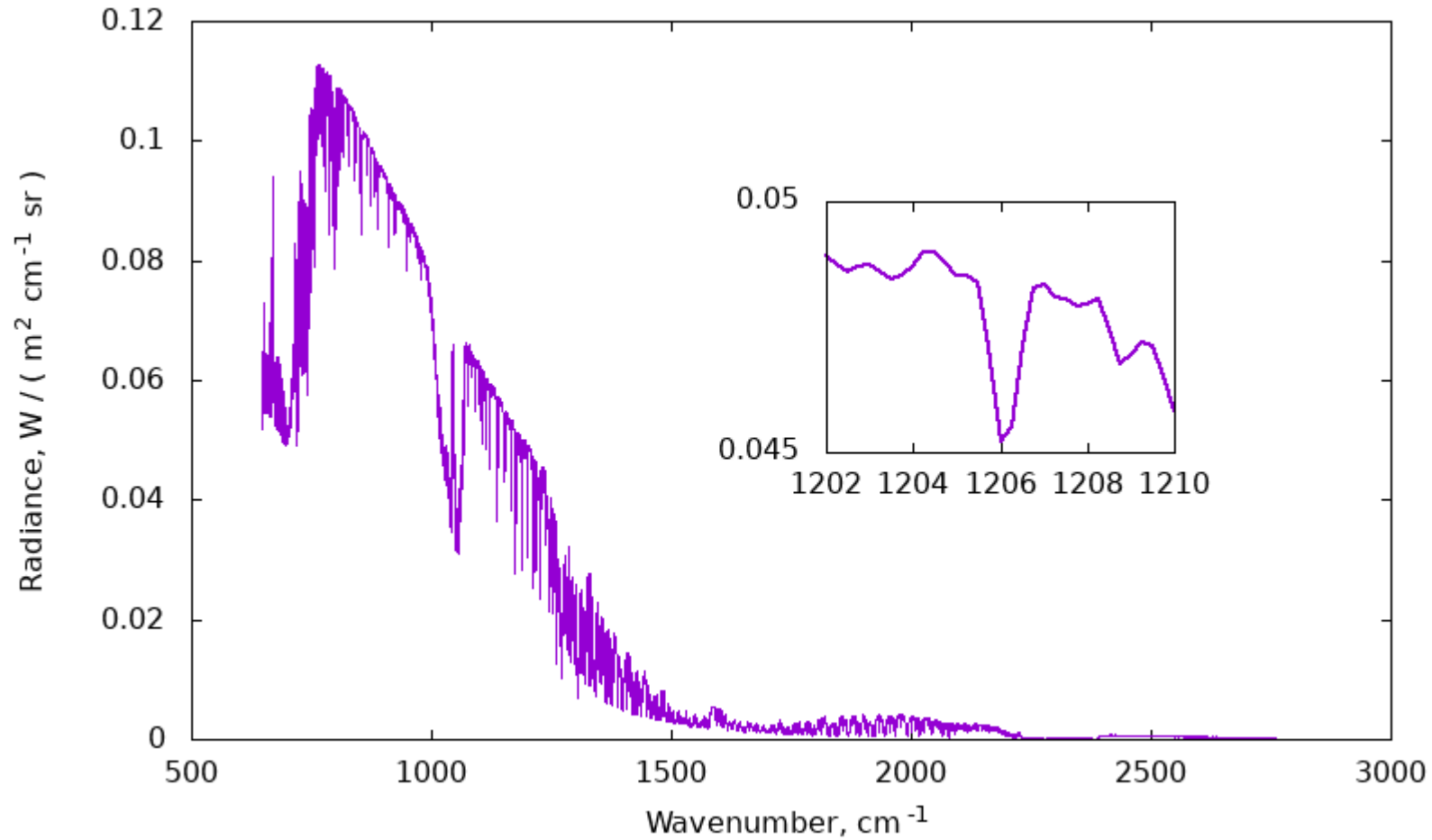
S: Измерения днем и ночью, глобальное покрытие за несколько дней (IASI/METOP, ИКФС-2, TANSO-FTS/GOSAT-2), существование качественной прямой и обратной моделей

W: Нужна безоблачная атмосферы и высокое отношение сигнал/шум, низкое пространственное разрешение, нужна качественная априорная информация для решения обратной задачи, практическое отсутствие чувствительности к нижнему слою атмосферы

O: Ассимиляция измерений в модели циркуляции атмосферы, в модели транспорта примесей, погоды может (при определенных затратах и квалификации) дать высококачественный ретроспективный климатический анализ, оценку крупномасштабных источников и стоков парниковых газов на поверхности.

T: Спутниковый сенсор может прекратить функционирование, если он уникальный и не представляет собой часть последовательной серии одинаковых приборов, то система усвоения данных разработанная под него станет ненужна.

Пример спектра в тепловом ИК диапазоне, IASI/МЕТОР



8460
спектральных
каналов

2. Определение вертикальных профилей CO_2 и CH_4 в нижней тропосфере из спектров отраженного солнечного излучения, измеренных с высоким спектральным разрешением в ближнем инфракрасном диапазоне.

S: Большая чувствительность к вариациям газов, глобальное покрытие за несколько дней, для некоторых типов поверхностей высокое отношение сигнал/шум

W: Только днем, сложные модели из-за рассеяния и отражения света, облака, мало спутников на орбите такого типа, пространственное разрешение, априорная информация

O: Та же ассимиляция данных в модели, развитие моделей переноса излучения в атмосфере

T: Прекращение функционирования со всеми вытекающими последствиями

3. Зондирование параметров поверхности Земли с помощью многоканальных сенсоров различного спектрального и пространственного разрешения, формирующие изображения среднего пространственного разрешения (MODIS/AQUA, TERRA, серии Канопус-В, Ресурс).

S: Очень много данных, высокое пространственное разрешение, простота интерпретации

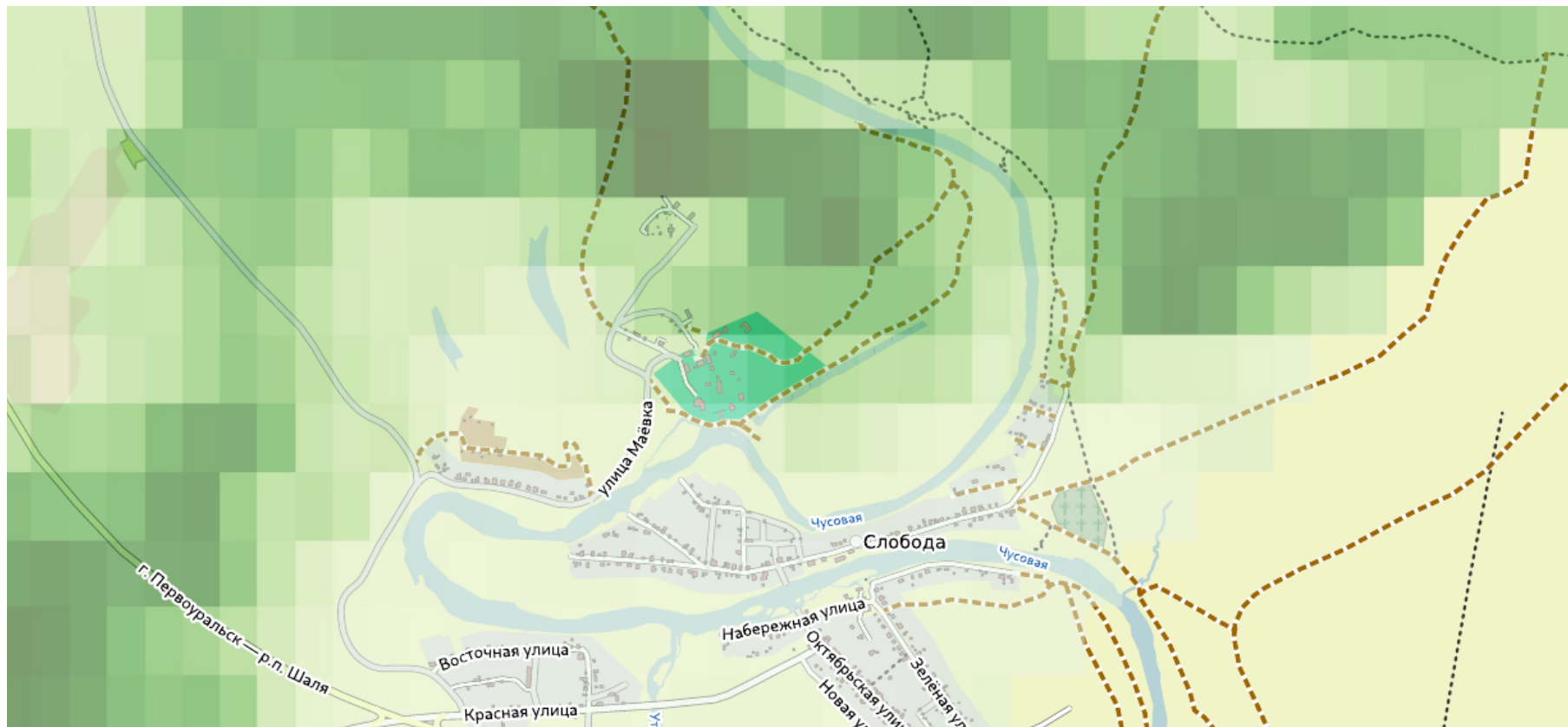
W: Можно не дожидаться снимков нужного региона в нужное время из-за орбитальных параметров и облачности

O: Большой объем данных позволяет привлекать модели машинного обучения, для получения желаемых параметров при условии наземной инфраструктуры прямых измерений

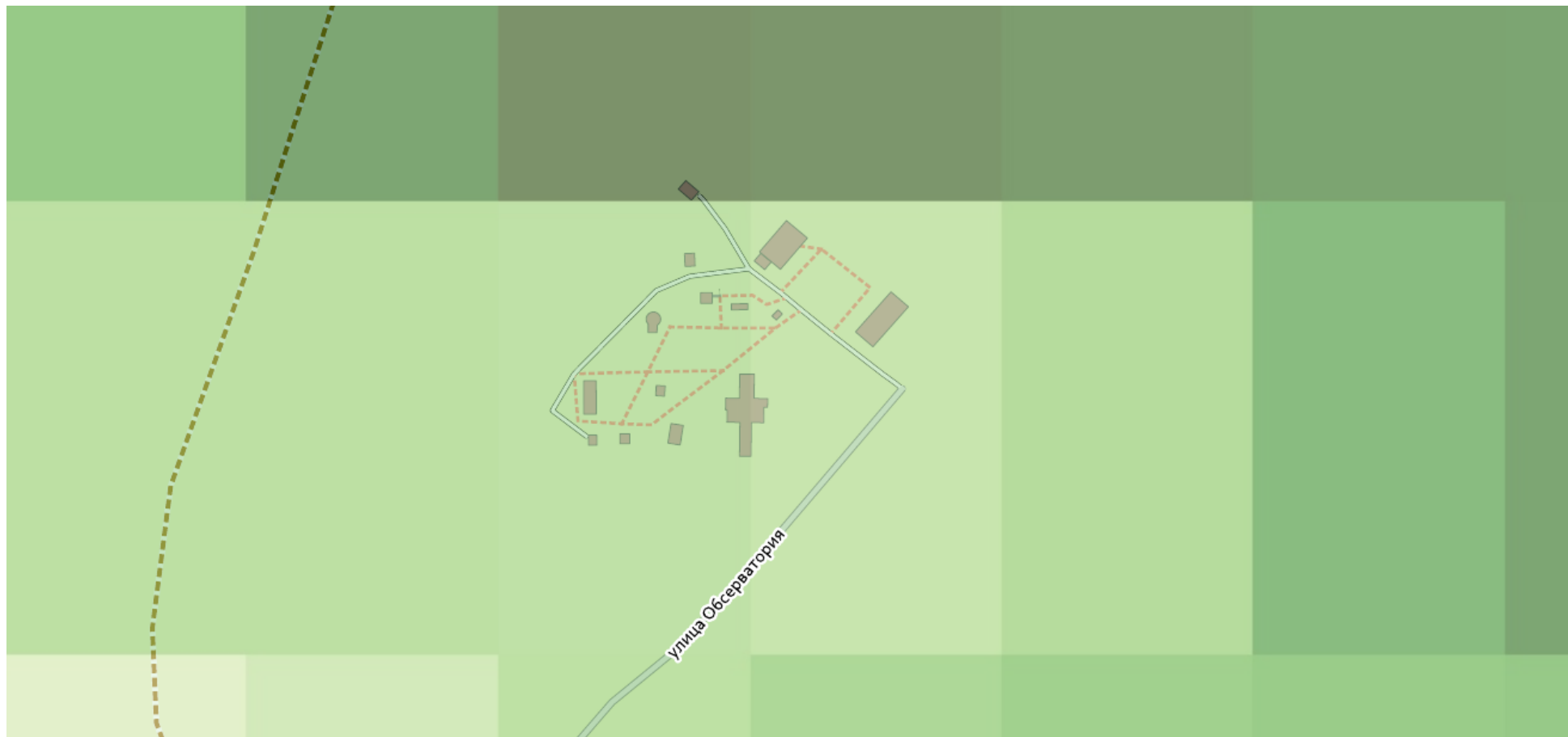
T: Может не хватить ресурсов (квалификации, вычислительных, хранения)

4. Космические мультиспектральные фотоаппараты видимого и ближнего ИК.

Предлагается пока не рассматривать по множеству причин...



Пример данных по NDVI, полученных из спектральных данных (стандартный продукт MOD13Q1) спектрорадиометра MODIS (спутники Terra и Aqua). При наблюдении в надир, размер пикселя 250 м.



Те же данные, но поподробнее вокруг обсерватории, чтобы оценить масштабы...

MODIS — спектрорадиометр, размещенный на спутниках NASA Aqua (восходящая траектория в 13:30) и Terra (нисходящая траектория в 10:30), имеющих круговую около полярную орбиту, солнечно синхронизованную, высота 705 км.

36 спектральных каналов, полоса обзора поперек движения 2330 км, вдоль орбиты — 10 км. Пространственное разрешение 250 м (каналы 1-2), 500 м (каналы 3-7), 1000 м (каналы 8-36).

Характеристика некоторых каналов:

- | | |
|---|---|
| 1 | 620 — 670 нм, красный (RED), разрешение 250 м |
| 2 | 841 — 876 нм, ближний инфракрасный (NIR), 250 м |
| 3 | 459 — 479 нм, синий (BLUE), 500 м |

Есть каналы, которые чувствительны к температуре поверхности, влажностодержанию атмосферы, облакам, аэрозолям, температуре атмосферы.

Данные в открытом доступе.



На красную зону спектра (канал 1 MODIS) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (канал 2) приходится максимум отражения света клеточными структурами листа. Отношение сигналов в каналах RED и NIR позволяет отделять растительность от прочих природных объектов, а также судить о состоянии растительности и ее плотности. Стандартные продукты MODIS содержат некоторые индексы.

Нормализованный относительный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Усовершенствованный вегетационный индекс (Enhanced Vegetation Index):

$$EVI = 2.5 \times \frac{NIR - RED}{NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1}$$

Еще индексы: GNDVI, CVI, SAVI, ARVI, NDWI, ...

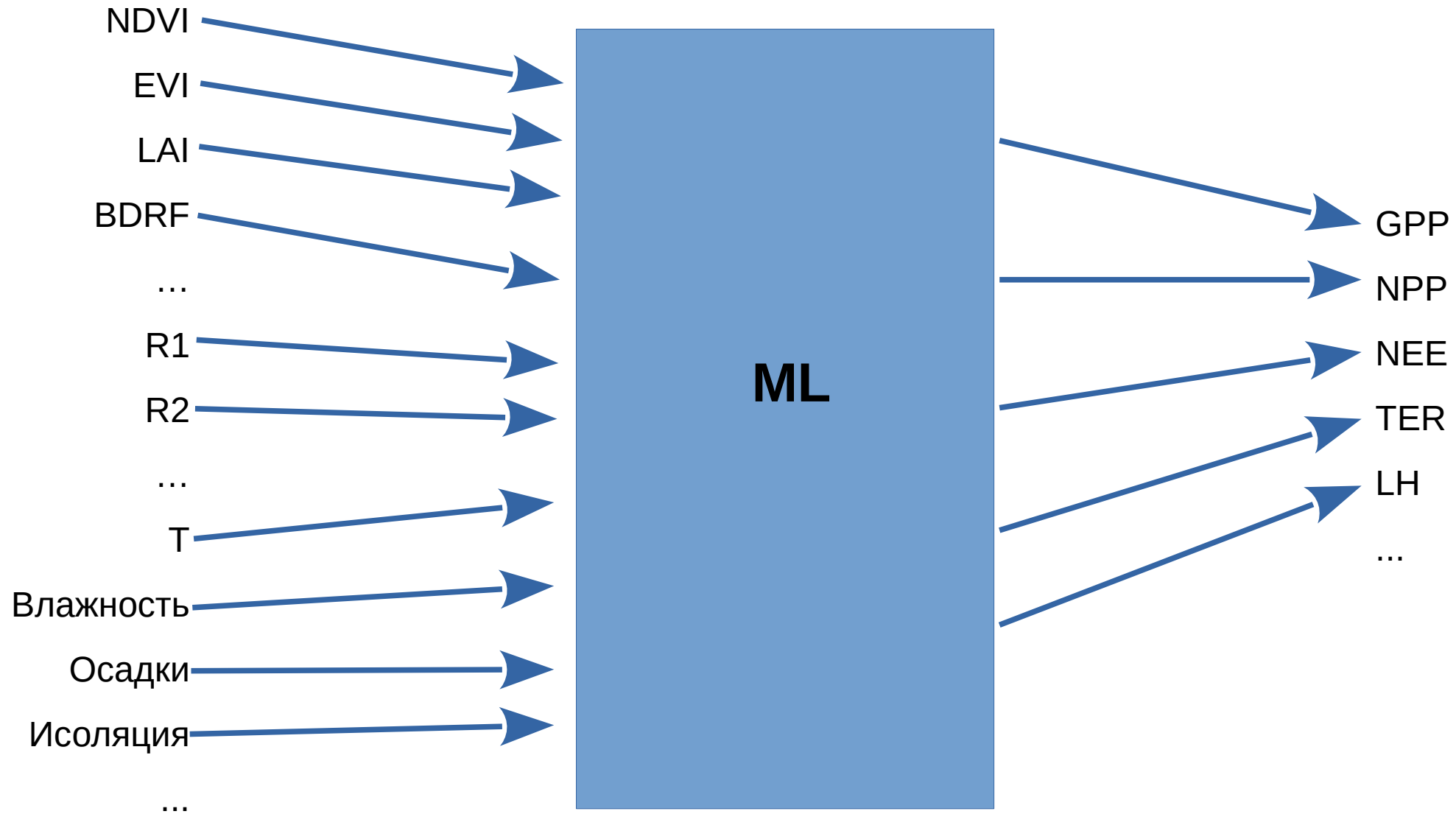
Код продукта	Что содержит	Период	Разрешение, м
MCD15A2H	MODIS/Terra+Aqua Leaf Area Index/FPAR (LAI/FPAR)	8-Day	500
MCD15A3H	MODIS/Terra+Aqua Leaf Area Index/FPAR (LAI/FPAR)	4-Day	500
MCD64A1	MODIS/Terra+Aqua Burned Area (Burned Area)	Monthly	500
MOD09A1	MODIS/Terra Surface Reflectance (SREF)	8-Day	500
MOD11A2	MODIS/Terra Land Surface Temperature and Emissivity (LST)	8-Day	1000
MOD13Q1	MODIS/Terra Vegetation Indices (NDVI/EVI)	16-Day	250
MOD15A2H	MODIS/Terra Leaf Area Index/FPAR (LAI/FPAR)	8-Day	500
MOD16A2	MODIS/Terra Net Evapotranspiration (ET)	8-Day	500
MOD17A2H	MODIS/Terra Gross Primary Productivity (GPP)	8-Day	500
MOD17A3HGF	MODIS/Terra Net Primary Production Gap-Filled (NPP)	Yearly	500
MOD44B	MODIS/Terra Vegetation Continuous Fields (VCF)	Yearly	250
MYD09A1	MODIS/Aqua Surface Reflectance (SREF)	8-Day	500
MYD11A2	MODIS/Aqua Land Surface Temperature and Emissivity (LST)	8-Day	1000
MYD13Q1	MODIS/Aqua Vegetation Indices (NDVI/EVI)	16-Day	250
MYD15A2H	MODIS/Aqua Leaf Area Index/FPAR (LAI/FPAR)	8-Day	500
MYD16A2	MODIS/Aqua Net Evapotranspiration (ET)	8-Day	500
MYD17A2H	MODIS/Aqua Gross Primary Productivity (GPP)	8-Day	500
MYD17A3HGF	MODIS/Aqua Net Primary Production Gap-Filled (NPP)	Yearly	500
MYD21A2	MODIS/Aqua Land Surface Temperature and Emissivity (LSTE)	8-Day	1000

Все модели, которые используются для моделирования потоков парниковых газов в атмосферу или потоков этих газов из атмосферы в экосистемы, можно разбить на два больших класса:

- модели на основе учета всевозможных процессов (process-based, «top-down» atmospheric inversions), имеющие некоторое динамическое ядро (система уравнений) и
- модели на основе данных (data driven, «bottom-up»), в которых применяются различные методы машинного обучения, позволяющие в нашем случае связывать параметры определяемые со спутников с параметрами измеряемыми на поверхности.

Изучение существующих моделей (например ORCHIDEE, JSBACH, ...) или создание своей трудозатратно и требует большого времени потраченного на освоение и сбор входных данных, а использование методов машинного обучения требует получения большого массива данных для обучения и тестирование систем на основе машинного обучения. В обоих случаях данные нужны.

Модели на основе методов машинного обучения



- Нейронные сети (многослойный перцептрон, сеть на основе радиальных базисных функций,...)
- Машины опорных векторов (SVR)
- Случайный лес (Random Forest) и другие ансамблевые методы
- Многомерные адаптивные регрессионные сплайны (MARS)
- Ядерная регрессия (kernel ridge regression)
- Регрессия гауссовского процесса (GPR)
- ...

Все вышеперечисленное уже апробировано на данных сети FLUXNET, см. например

G. Tramontana, M. Jung, C.R. Schwalm et al. Predicting carbon dioxide and energy fluxes across global FLUXNET sites with regression algorithms. Biogeosciences, 13, 4291-4313, 2016.

Имеется готовое ПО для использования вышеперечисленных методов, возможно не для всех, например Matlab Neural Toolbox, Python - PyTorch, R ...

Спасибо за внимание!

Грибанов Константин Геннадьевич
в.н.с. ЛФКОС ИЕНиМ УрФУ