

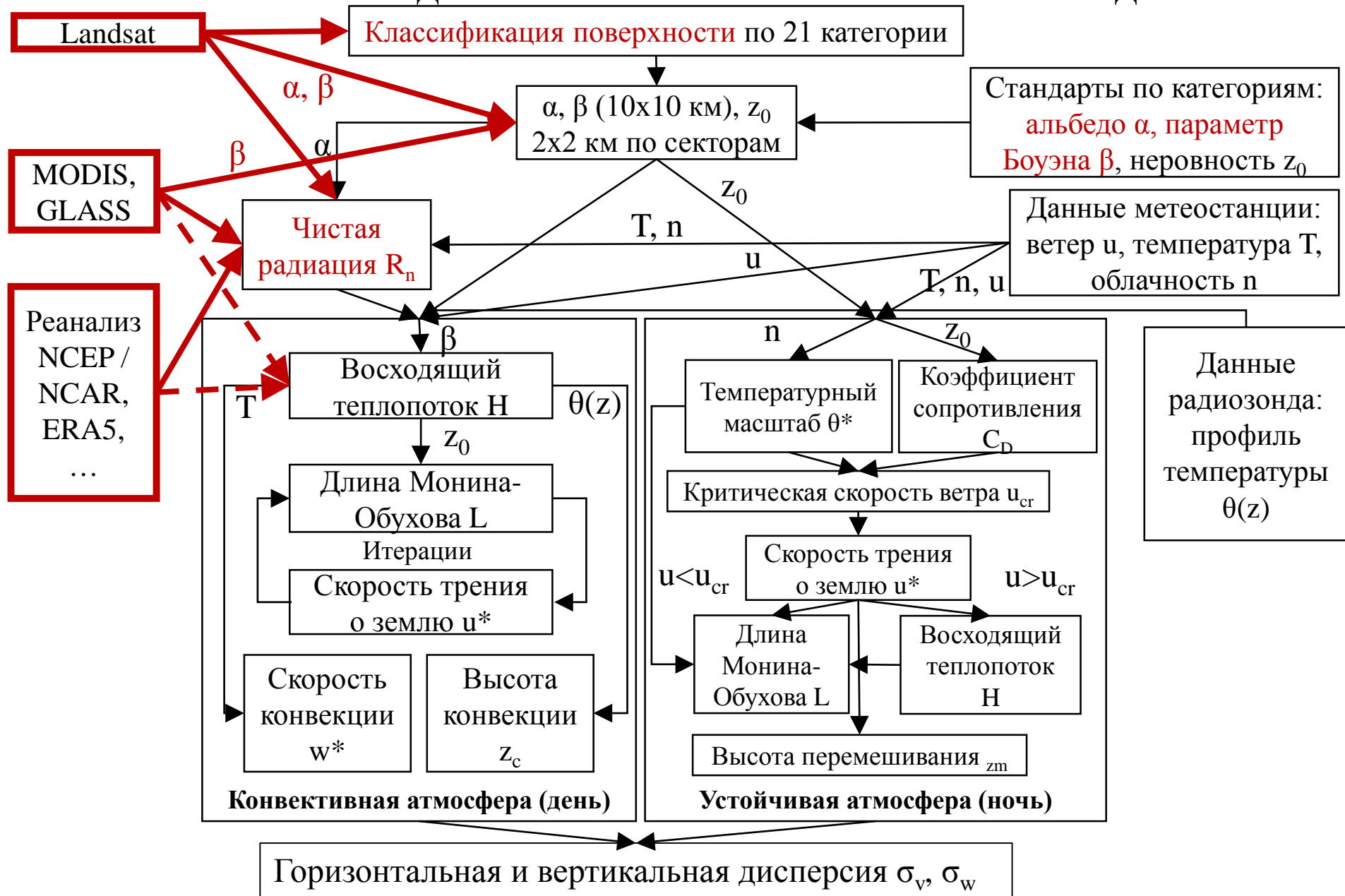
Космические данные о теплопереносе между поверхностью Земли и атмосферой в моделировании рассеяния индустриального загрязнения воздуха

Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, В.В. Егоров, М.В. Стальная, М.В. Фаминская

1. Логика учета теплопереноса в модели рассеяния загрязнений AERSURFACE/AERMET/AERMOD
2. Различия использования данных о теплопереносе *в моделях рассеяния и климатических моделях*
3. Виды рассмотренных космических данных и *точки их возможной интеграции* в AERMOD
4. Категории поверхности: *классификация* по данным Landsat – влияние на модельные концентрации
5. *Альбедо* по данным Landsat и реанализу GLASS – влияние на модельные концентрации
6. *Параметр Боуэна* по данным Landsat, GLASS, реанализа NCEP/NCAR и ERA5
7. Сравнение параметра Боуэна по теплопотокам *у поверхности и по высотным профилям*
8. Влияние уточнения параметра Боуэна по космическим данным на *модельные концентрации*
9. *Чистая радиация* по данным Landsat, GLASS, реанализа NCEP/NCAR и ERA5
10. Влияние уточнения чистой радиации по космическим данным на *модельные концентрации*
11. Возможности оценки *неровности поверхности* по космическим данным о теплопотоках
12. *Выводы*: космические данные как замена и дополнение данных метеостанций?

Логика модели AERSURFACE/AERMET/AERMOD

и ее возможные дополнения на основе космических данных

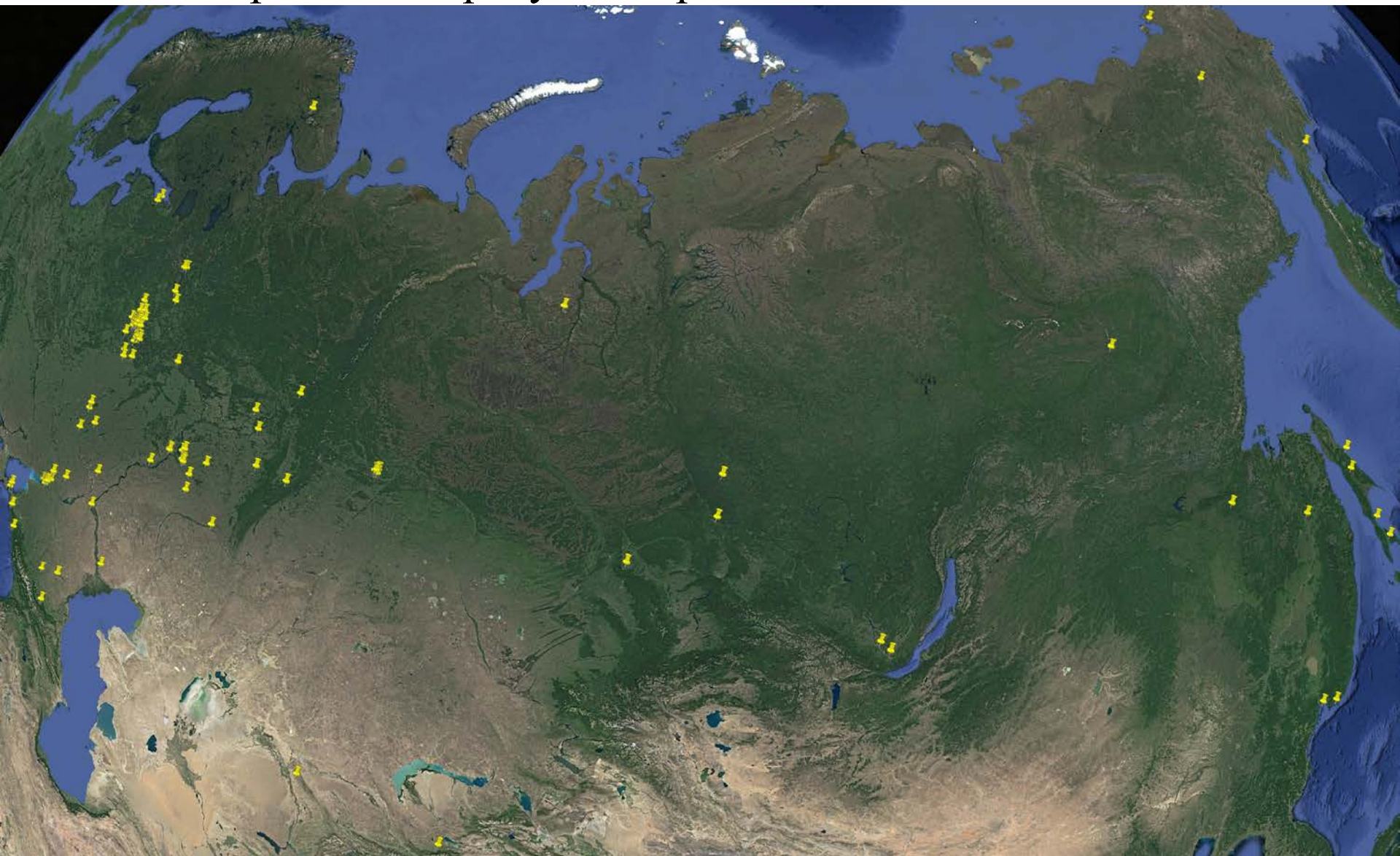


Различия использования данных о теплопереносе

В моделях рассеяния и климатических моделях

1. Для модели рассеяния интерес представляет *только явный теплопоток H* . В климатических моделях основное внимание уделяется испарению растительностью и связанному с этим скрытому теплопотoku LE.
2. В климатических моделях достаточное пространственное разрешение – около градуса широты/долготы, в лучшем случае – несколько десятых долей градуса. В модели рассеяния для части переменных достаточно разрешения в километры, но часть, связанная с взаимодействием атмосферы с неровностями поверхности, *требует разрешения в десятки – первые сотни метров*.
3. В силу невысокого пространственного разрешения климатических моделей, они могут использовать такие же данные космических наблюдений, получаемые с частотой один или несколько раз в сутки (например, MODIS). *Данные с более высоким пространственным разрешением, необходимые для использования в моделях рассеяния, разрежены по времени* (например, Landsat – пригодные данные для любого участка, как правило, имеются не более 5 – 10 раз в год). Возможное решение – временная интерполяция данных с высоким разрешением на основе сезонной динамики более частых данных с низким разрешением.
4. В климатических моделях представляет интерес межгодовая изменчивость теплопоток. В модели рассеяния, поскольку она предназначена для перспективной многолетней оценки опасности предприятия, *допустим учет типичной динамики теплопоток не на конкретный год, а по совокупности многолетних наблюдений*.
5. В климатических моделях применяются различные способы пространственного и временного сглаживания теплопоток, в частности, это встроено в атмосферные модели, применяемые для реанализа космических наблюдений. Для моделей рассеяния любые способы фильтрации флуктуаций *не должны исключать редкие события высоких концентраций*, которые представляют основной интерес в этих задачах.

Географический разброс проектов по расчету индустриального загрязнения требует опоры на космические данные



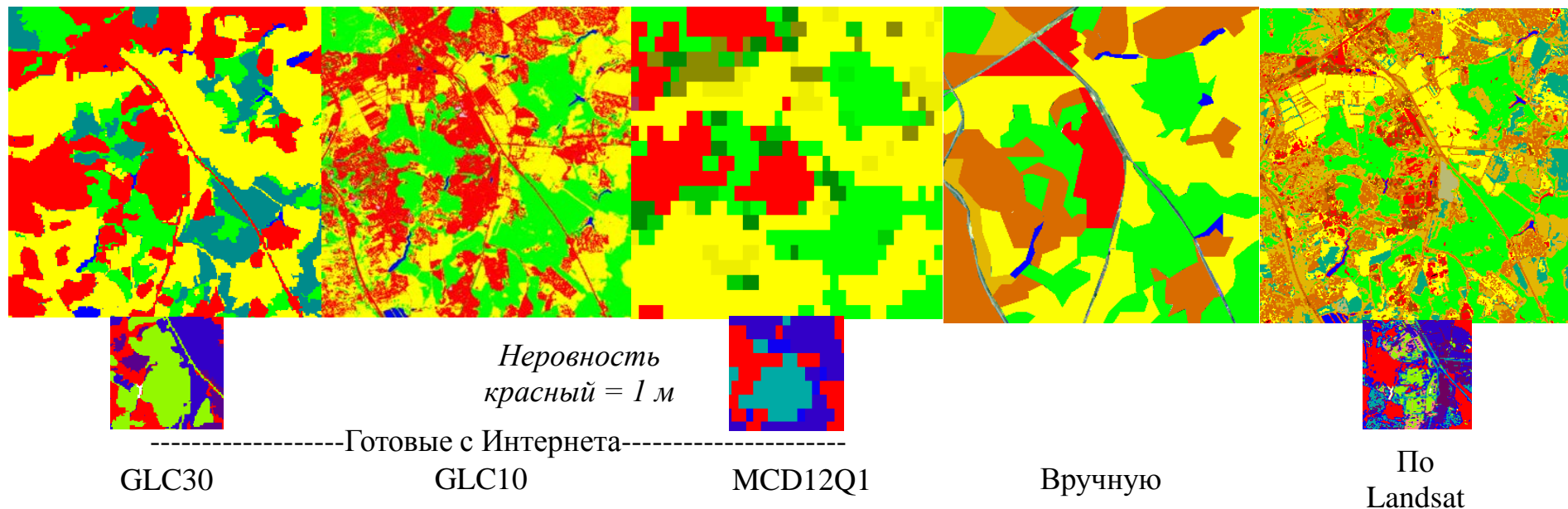
В штатном режиме AERMOD расстояния до метеостанций могут достигать десятков км, а до точек запуска зондов – первых сотен км.

Космические данные и базы данных их реанализа, использованные в работе

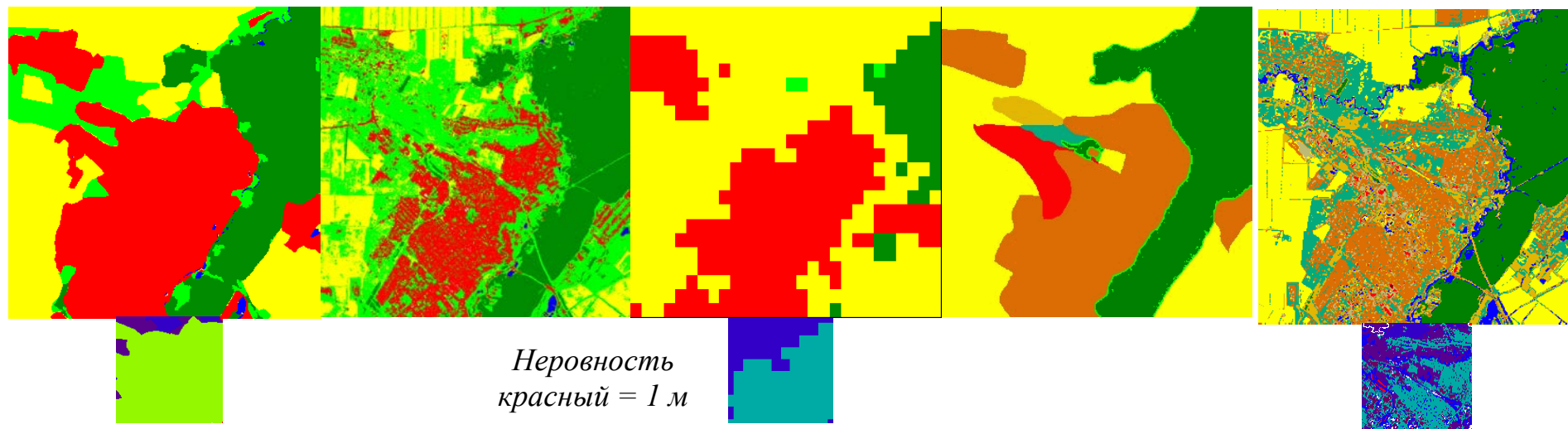
Название	Реанализ	Тип данных	Пространственное разрешение	Частота пригодных данных	Поставщик данных	Применено в классификации	Применено для альбедо	Применено для параметра Боуэна	Применено для чистой радиации
Landsat LC8		Поверхность	30 м	5-10/год	ESPA (https://espa.cr.usgs.gov/)	+	+	+	+
MODIS 16, 12		Поверхность	500 м	8 дней	USGS LPDAAC (https://lpdaac.usgs.gov/)			+	+
MODIS 07		Профиль	5 км	3-5 раз/день	MODAPS services (https://modaps.modaps.eosdis.nasa.gov/)			+	
GLASS	+	Поверхность	1 км – 0.05°	1 - 8 дней	Beijing Normal University Data Center (http://glass-product.bnu.edu.cn/)		+	+	+
NCEP/NCAR	+	Поверхность	0.25°	4 раза/день	NOAA ESRL (https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surfaceflux.html)			+	+
ERA5	+	Поверхность	0.125° - 0.25°	8 раз/день	Copernicus CDS (https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels)			+	+
ERA5	+	Профиль	0.125° - 0.25°	4 раза/день	Copernicus CDS (https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels)			+	+

Космические данные: классификация местности+стандарты AERMOD

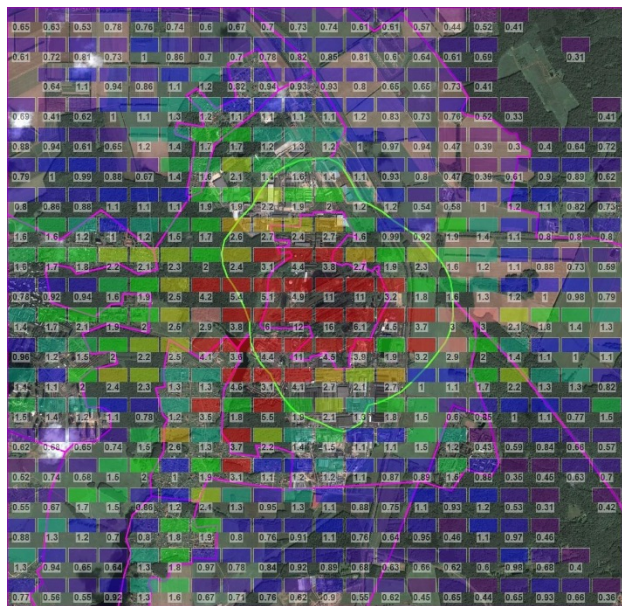
Коксохим под Москвой



Очистная станция, Ставрополье



Расчетные концентрации по разным вариантам классификации Коксохим под Москвой, максимальные разовые концентрации пыли SiO₂20%, красный = 10 ПДК



GLC30

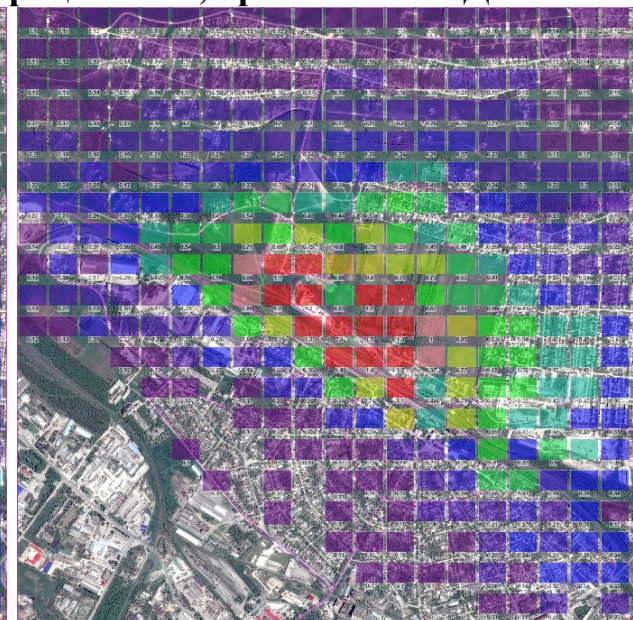
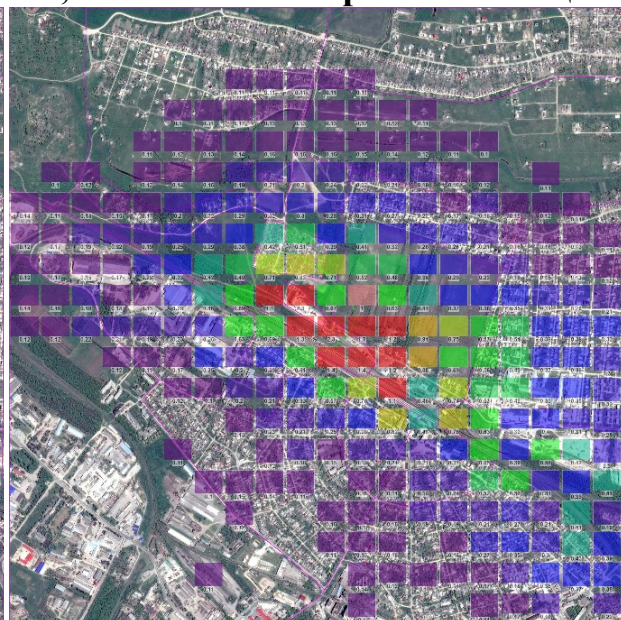
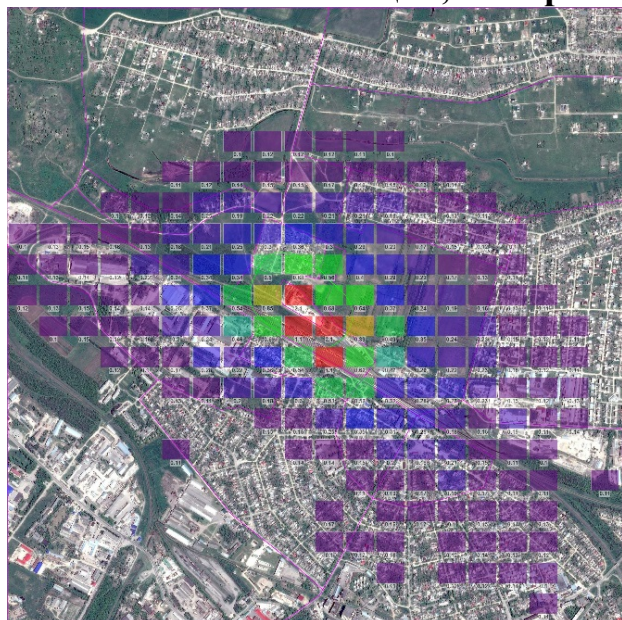


MCD12Q1



Landsat

Очистная станция, Ставрополье, максимальные разовые концентрации NO₂, красный = 5 ПДК



Расчетные концентрации по разным вариантам классификации: разница максимальных разовых концентраций по классификации Landsat и по стандартным классификациям с Интернета

Предприятие	Вещество	ПДК _{мр}	(Разность Landsat-стандарт)/ПДК
Среднее по районам			
Коксохим (Подмосковье)	SiO220	0.5	0.226
Нефтеналив (Новороссийск)	C1-C5	50	0.014
Металлургия (Приуралье)	SiO220-70%	0.3	-0.231
Очистная станция (Ставрополье)	NO2	0.2	-0.717
Деревообработка (Рыбинское вдхр.)	Пыль древесная	0.1	-0.730
Станд. Откл. от 0			0.47
Критичный район			
Коксохим (Подмосковье)	SiO220	0.5	0.36
Нефтеналив (Новороссийск)	C1-C5	50	-0.2
Металлургия (Приуралье)	SiO220-70%	0.3	-0.66
Очистная станция (Ставрополье)	NO2	0.2	-1.66
Деревообработка (Рыбинское вдхр.)	Пыль древесная	0.1	-0.18
Станд. Откл. от 0			0.82

Сравнение альбедо по данным из разных источников и по стандартной методике AERMOD

Зима

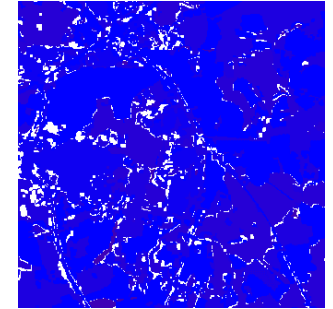
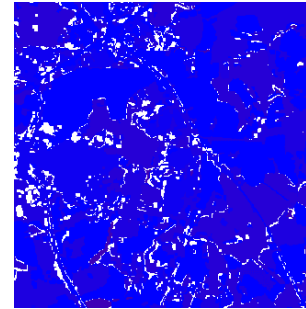
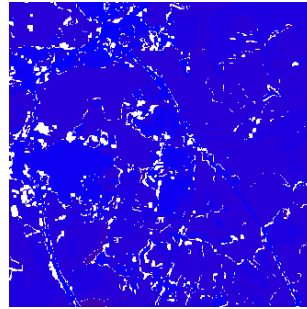
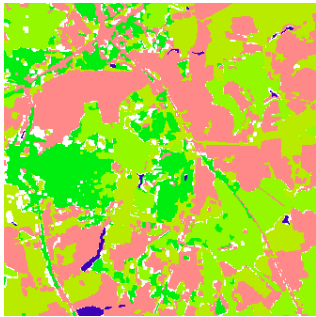
Весна

Лето

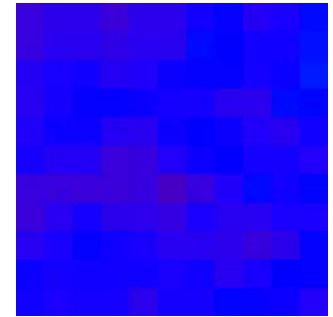
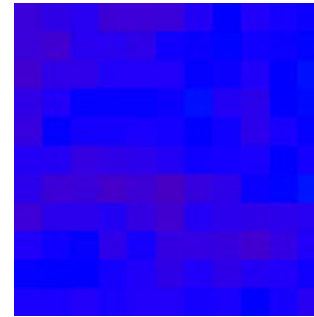
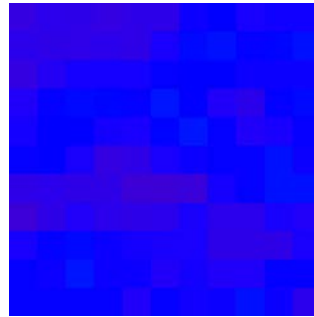
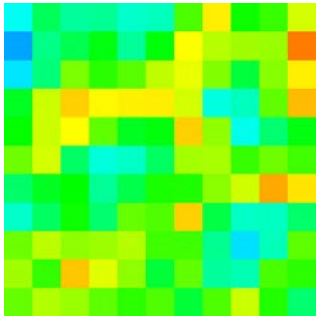
Осень

Коксохим, Подмосковье, красный > 0.6, облачность - черным

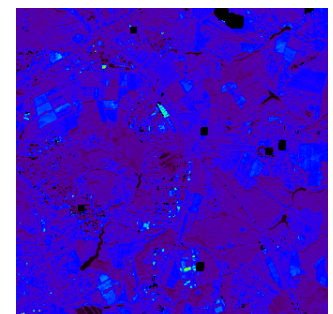
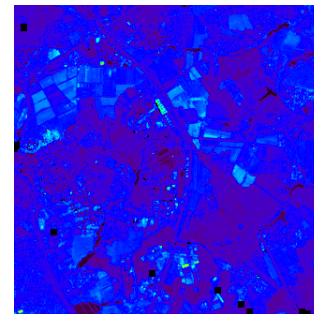
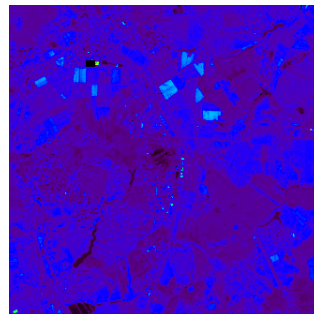
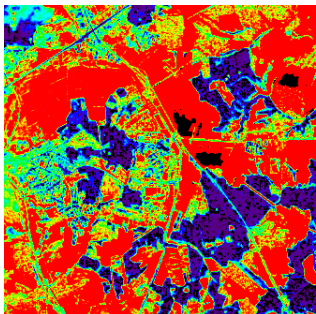
Стандартные значения по AERSURFACE, присвоенные классификации по данным Landsat



Альбедо по данным GLASS



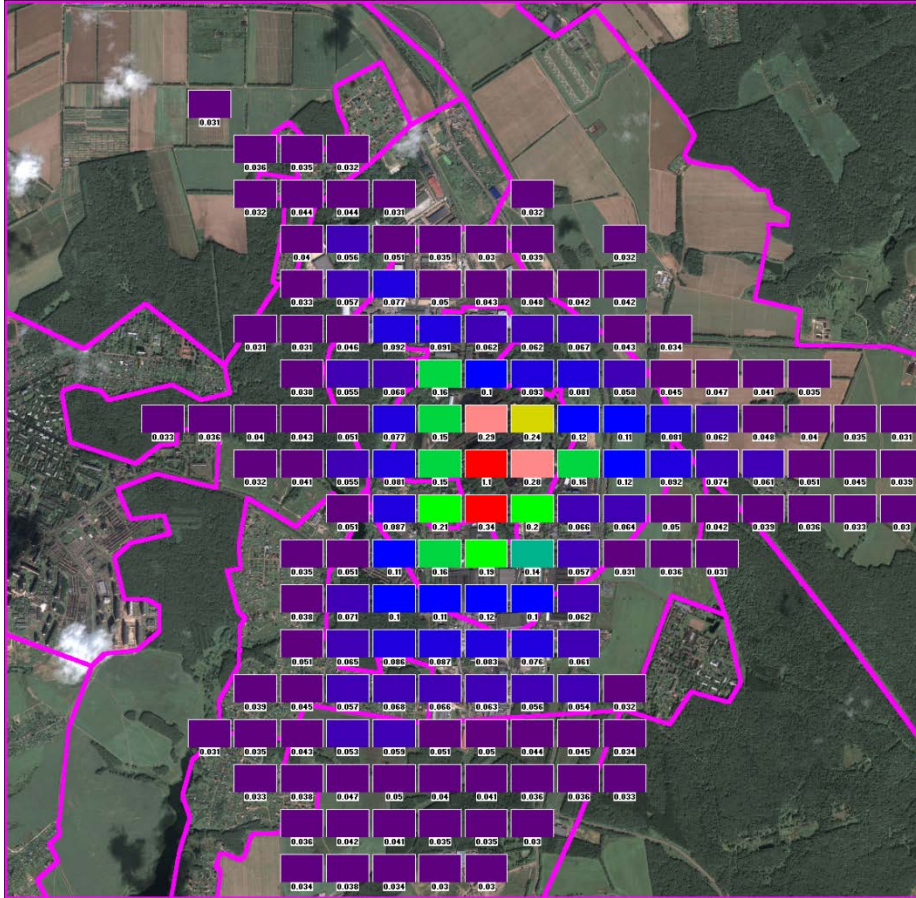
Альбедо по Landsat, 2013 – 2019 г.



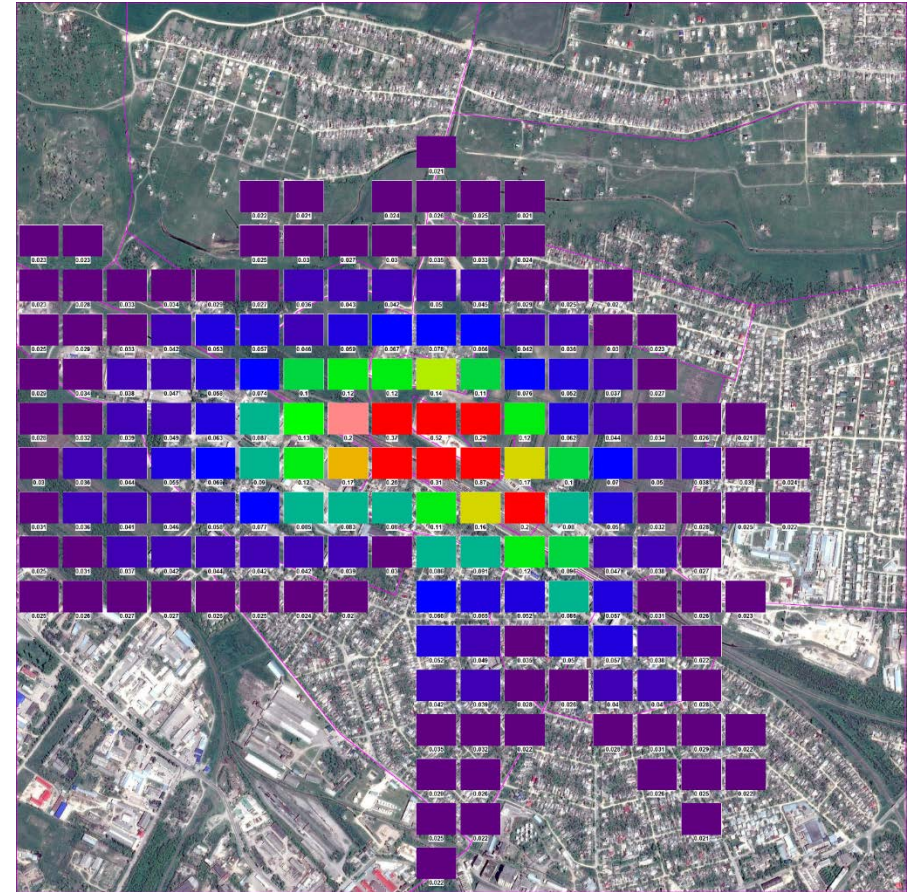
Сравнение максимальных почасовых концентраций за год на основе стандартного альbedo и оценки по Landsat

Коксохим, Подмоскowie, SiO₂20%

Очистная станция, Ставрополье, NO₂



Разность оценок по стандартным значениям AERSURFACE и по данным Landsat. Красный = 1 ПДК

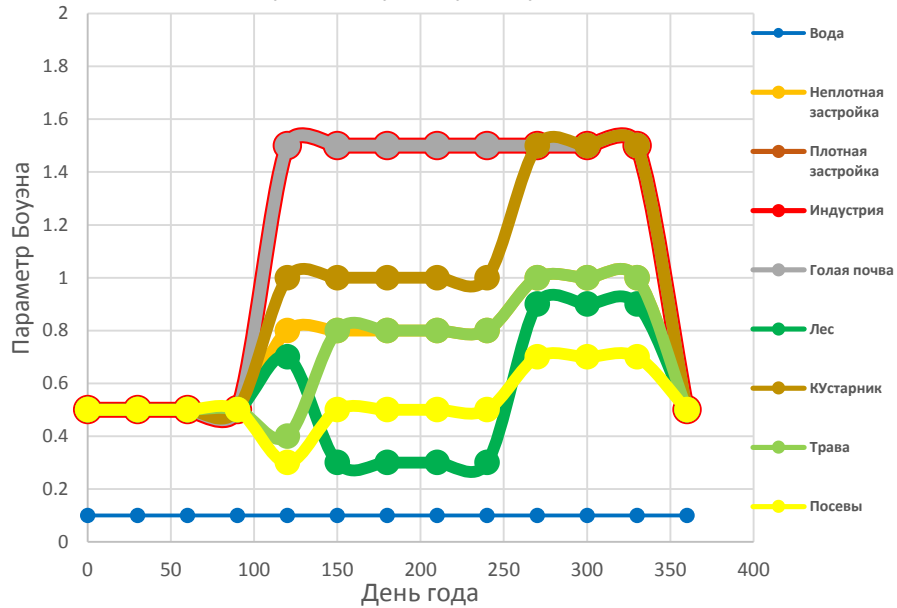


Разность оценок по стандартным значениям AERSURFACE и по данным Landsat. Красный = 1 ПДК

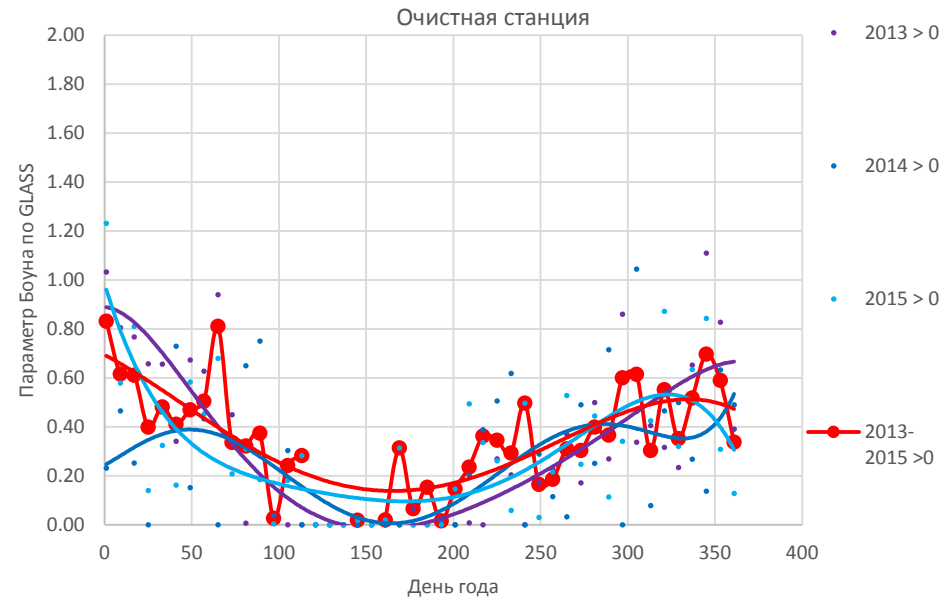
Учет данных об альbedo существенно влияет на *некоторые* почасовые концентрации (изменения более ПДК), но практически не влияет на максимумы за год, а они представляют наибольший интерес с точки зрения рисков для здоровья

Сравнение годового хода параметра Боуэна по данным из разных источников и по стандартной методике AERMOD

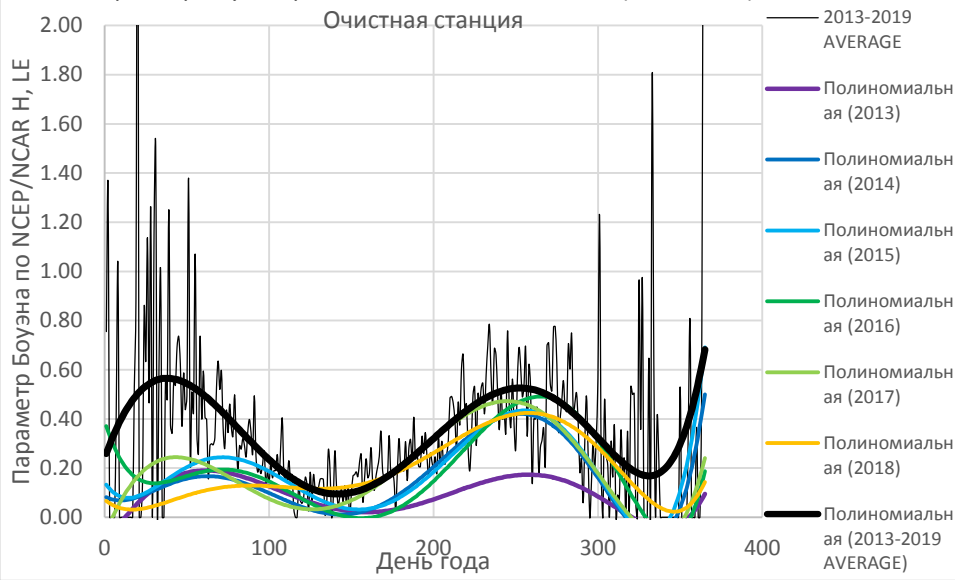
Стандартные параметры Боуэна



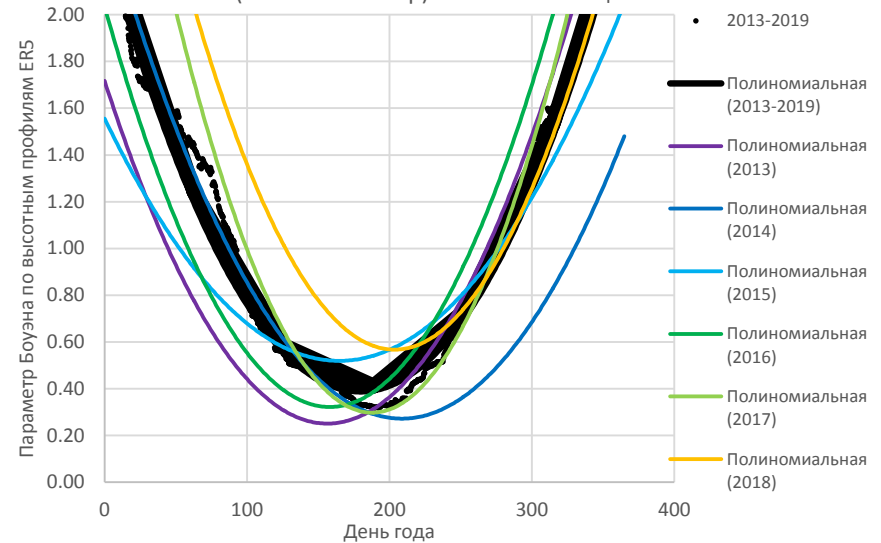
Параметр Боуэна, рассчитанный по H, LE (GLASS) > 0.



Параметр Боуэна, рассчитанный по NCEP/NCAR (H>0, LE>0).



Параметр Боуэна, рассчитанный по высотным профилям ER5 (1000 и 975 мбар). Очистная станция



Карты параметра Боуэна по стандартной методике AERMOD и по оценке Rn по Landsat и LE по методике SEBAL

Зима

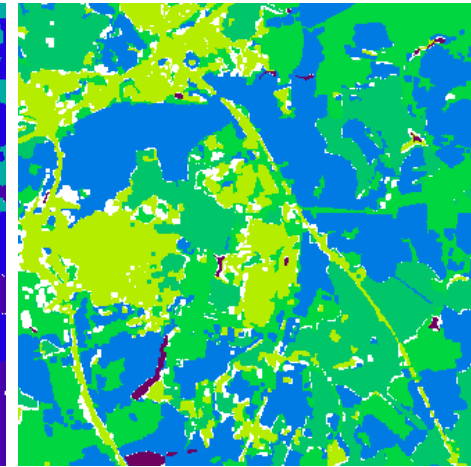
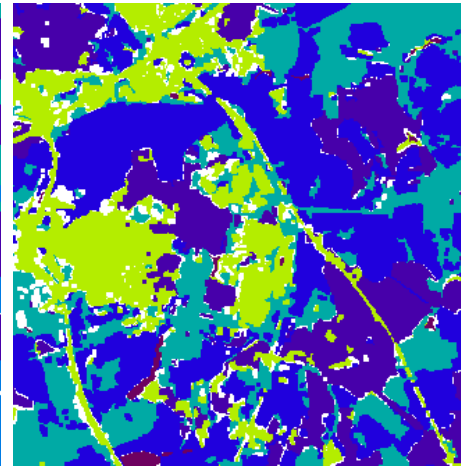
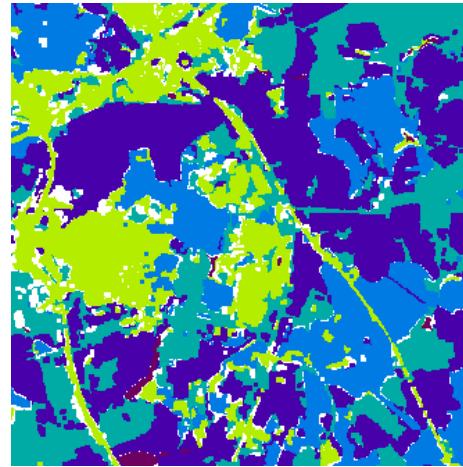
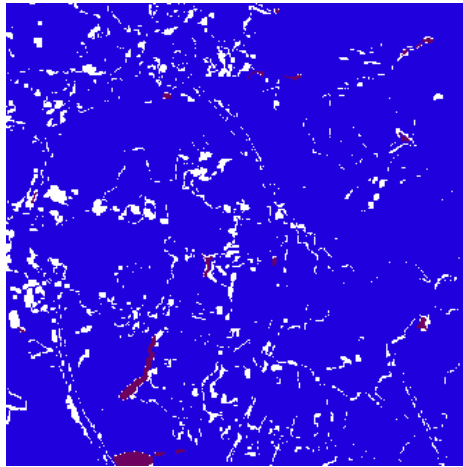
Весна

Лето

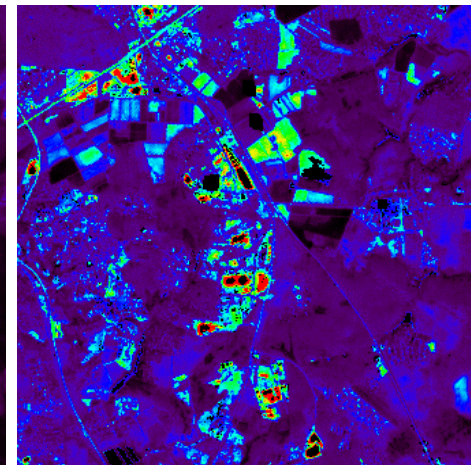
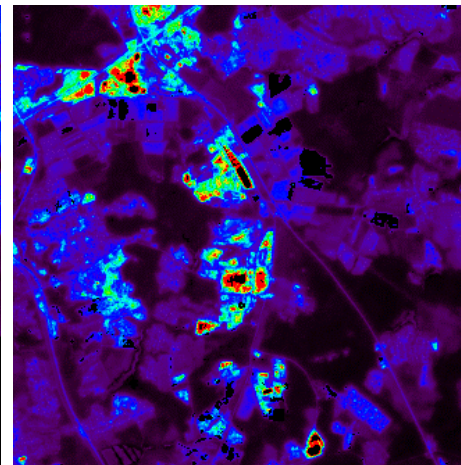
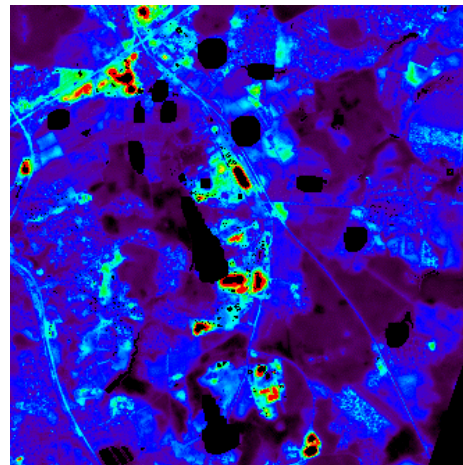
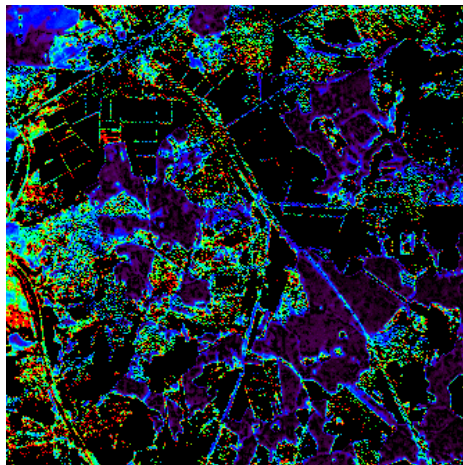
Осень

Коксохим, Подмосковье, красный > 2, значения < 0 и > 4, а также облачность - черным

Стандартные значения по AERSURFACE, присвоенные классификации по данным Landsat



Оценка параметра Боуэна: $(H=0.9 R_n - LE) / LE$, R_n по Landsat, LE по методике SEBAL



Карты параметра Боуэна по стандартной методике AERMOD, по оценке Rn по Landsat и по данным GLASS о Rn и LE

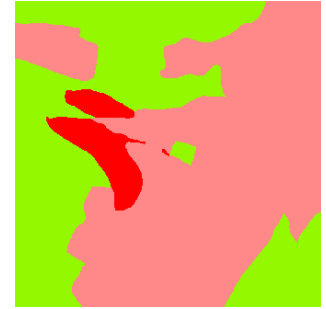
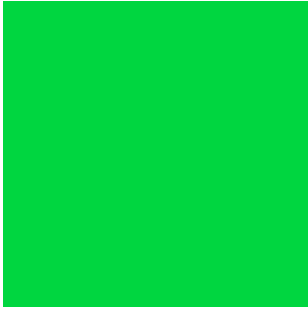
Зима

Весна

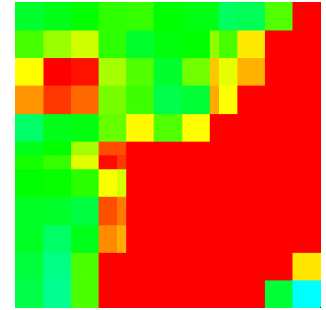
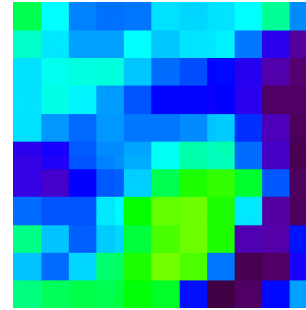
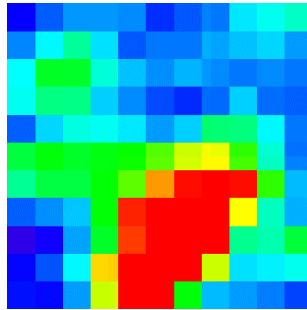
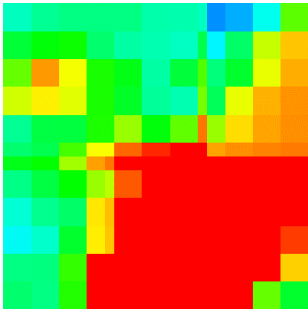
Лето

Осень

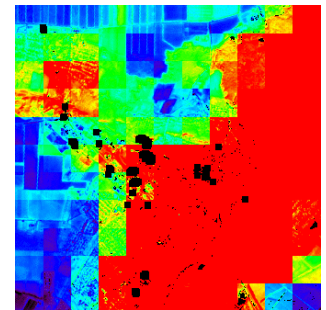
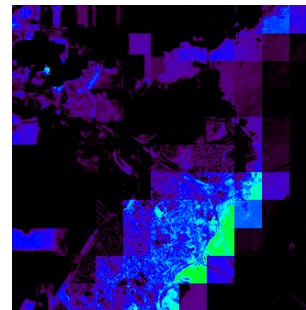
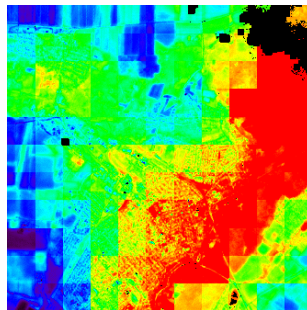
Очистная станция, Ставрополье, красный > 1, значения < 0 и > 4 и облачность - черным
Стандартные значения по AERSURFACE, присвоенные классификации по данным Landsat



Оценка параметра Боуэна по данным GLASS: $(H=0.9 R_n - LE) / LE$

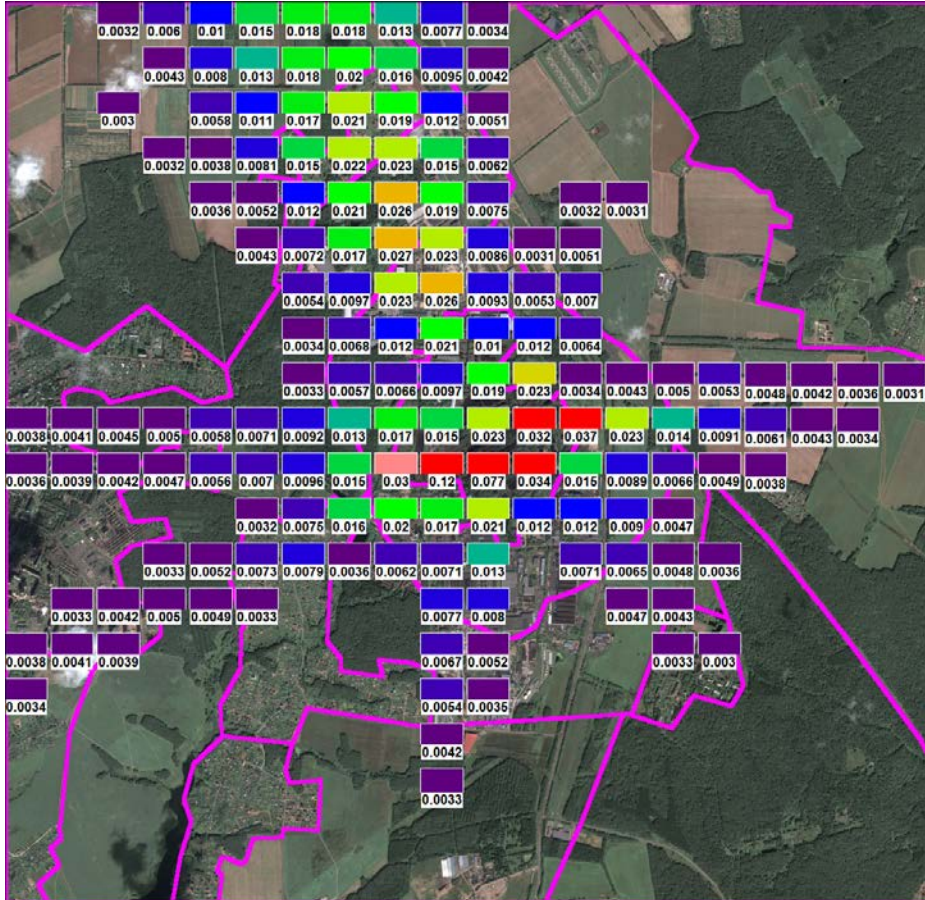


Оценка параметра Боуэна: $(H=0.9 R_n - LE) / LE$, Rn по Landsat, LE по методике SEBAL



Сравнение максимальных почасовых концентраций за год на основе стандартного параметра Боуэна и оценки по Landsat

Коксохим, Подмоскowie, SiO₂20%



Разность оценок по стандартным значениям AERSURFACE и по данным Landsat. Красный = 0.1 ПДК

Очистная станция, Ставрополье, NO₂

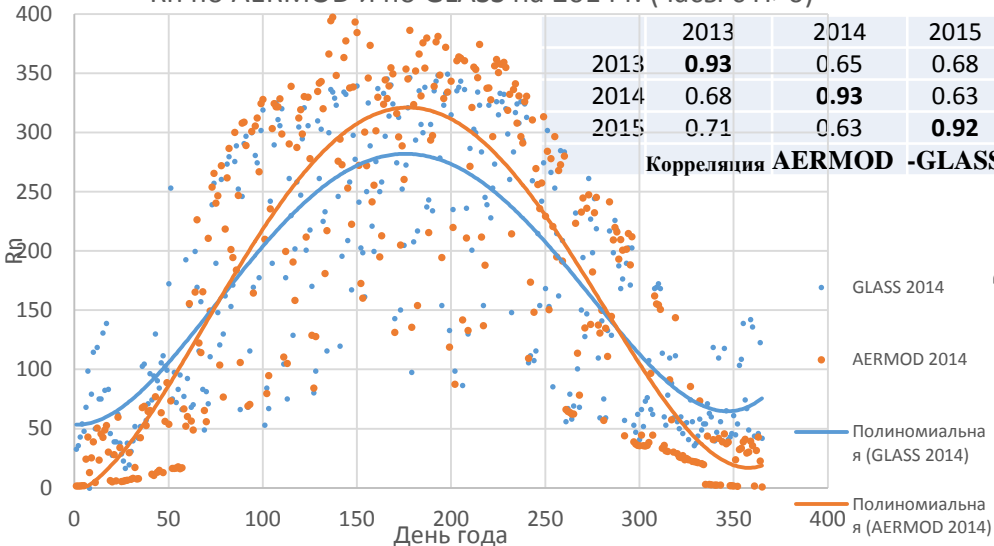


Разность оценок по стандартным значениям AERSURFACE и по данным GLASS. Красный = 1 ПДК

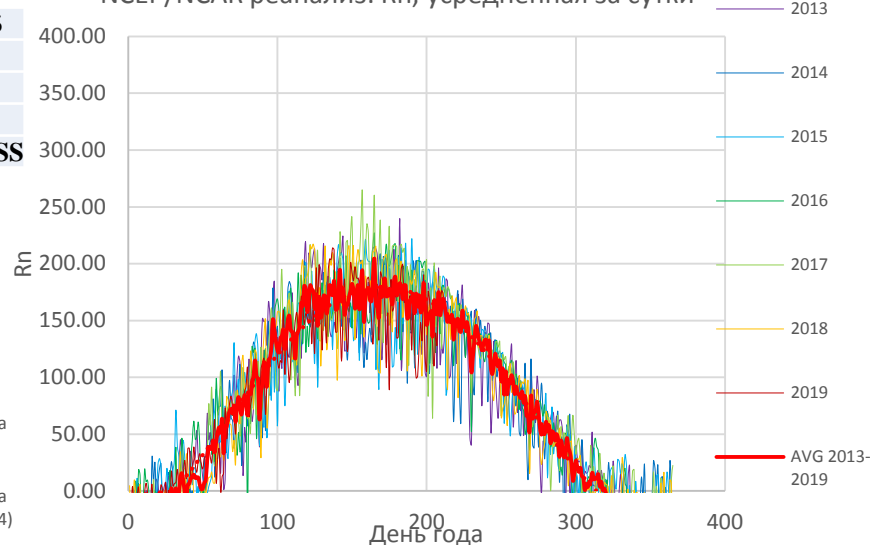
Учет данных о теплотоках существенно влияет на *некоторые* почасовые концентрации (изменения до ~ПДК), но практически не влияет на максимумы за год, а они представляют наибольший интерес с точки зрения рисков для здоровья

Сравнение годового хода чистой радиации Rn по данным из разных источников и по стандартной методике AERMOD. Очистная станция

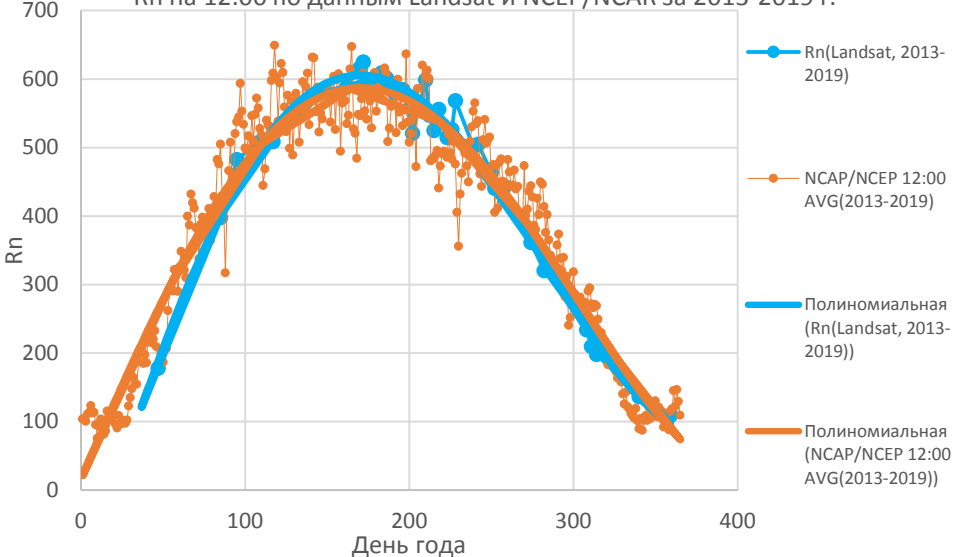
Rn по AERMOD и по GLASS на 2014 г. (часы с H>0)



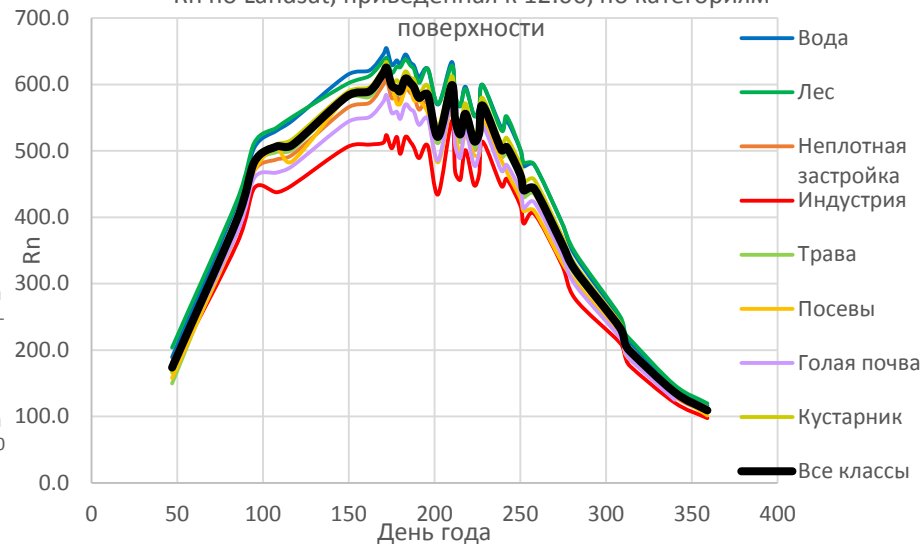
NCEP/NCAR реанализ: Rn, усредненная за сутки



Rn на 12:00 по данным Landsat и NCEP/NCAR за 2013-2019 г.



Rn по Landsat, приведенная к 12:00, по категориям



Проблема пересчета разных источников данных к единому интервалу усреднения

Сравнение параметров рассеяния AERMOD на основе данных о чистой радиации R_n с локальной метеостанции и по базе реанализа космических данных ERA5

Локальная метеостанция

ERA5

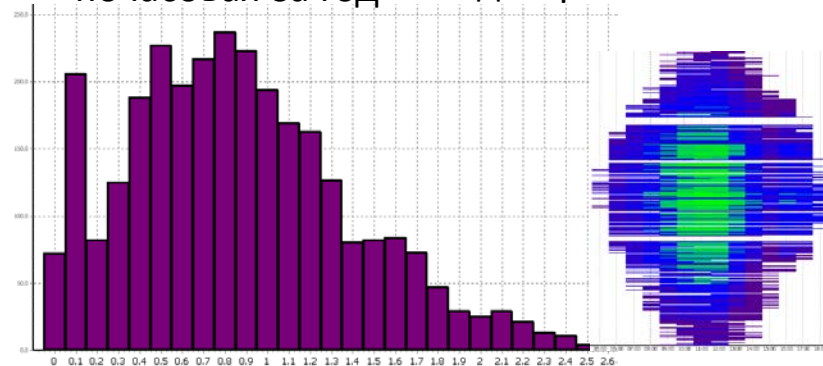
Гистограмма
почасовая за год

Суточно-сезонная
диаграмма

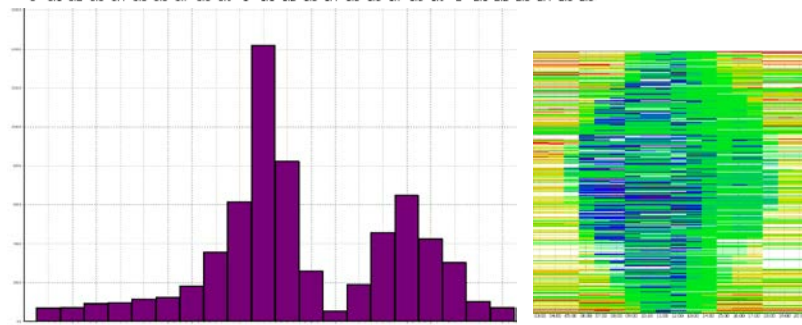
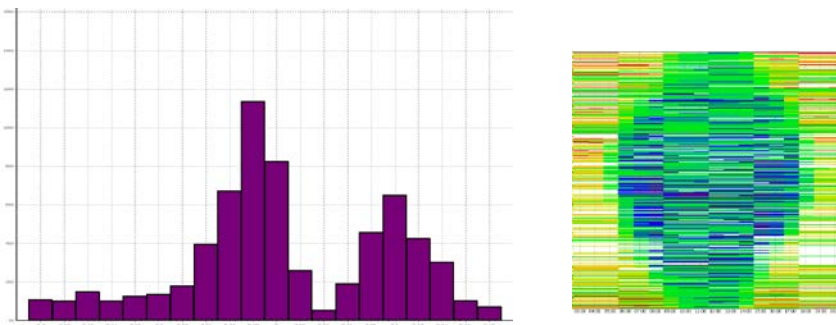
Гистограмма
почасовая за год

Суточно-сезонная
диаграмма

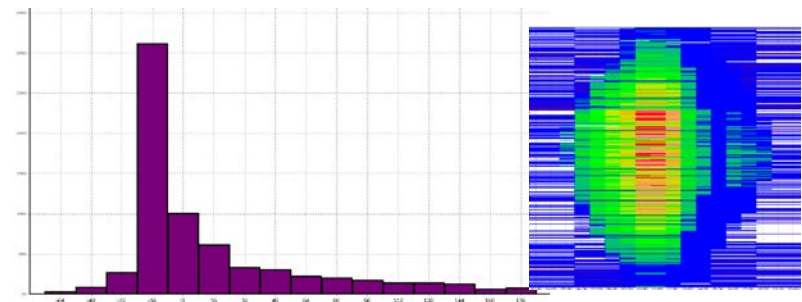
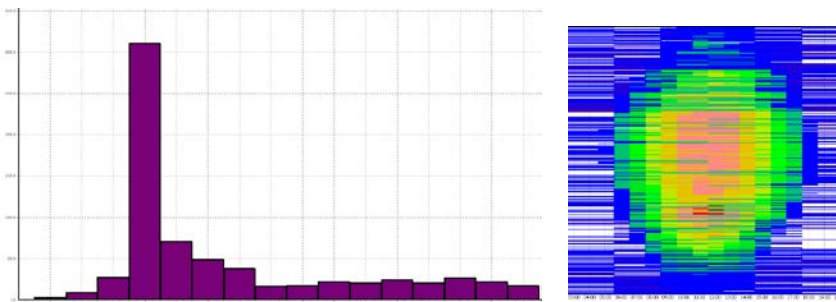
Характерная
скорость
конвекции



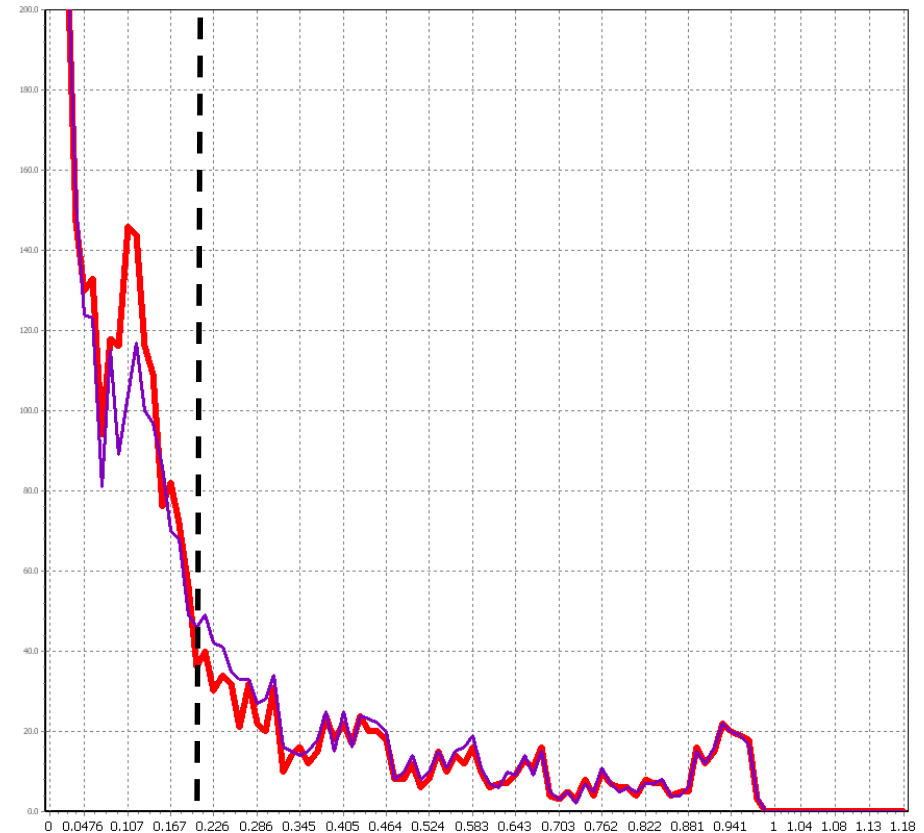
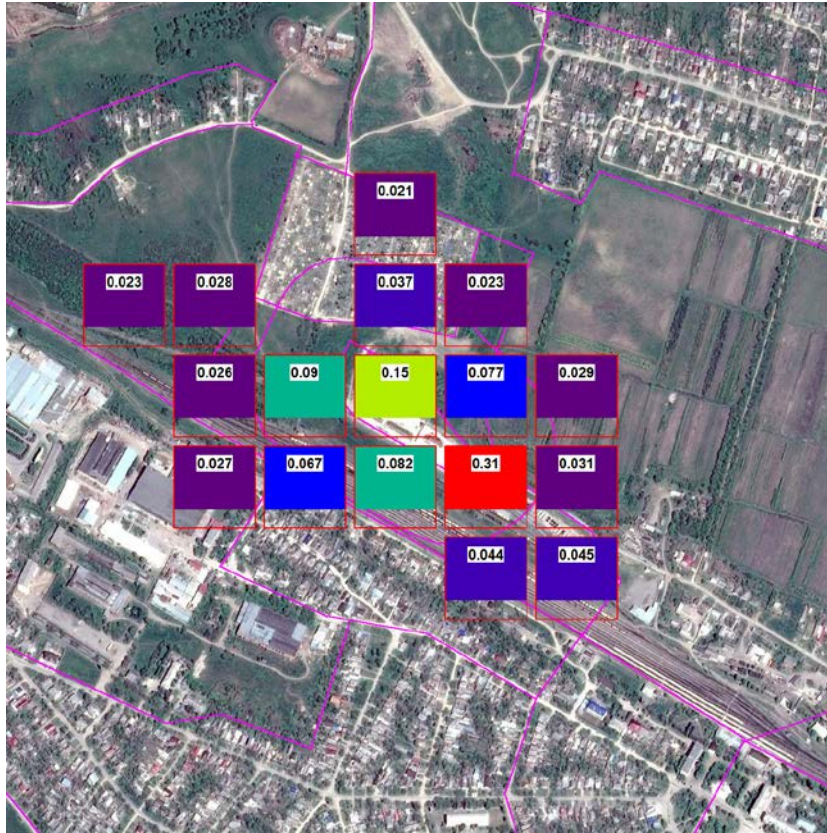
Обратная
длина
Монина-
Обухова



Восходящий
явный
теплопоток



Сравнение максимальных почасовых концентраций NO₂ за год на основе данных о чистой радиации R_n с локальной метеостанции и по базе реанализа космических данных ERA5



Пространственное распределение максимума почасовых разностей «метеостанция – ERA5» за год. Красный = превышения ПДК, мг/м³

Сравнение гистограмм почасовых концентраций NO₂ в одной из расчетных клеток. Красное – метеостанция, фиолетовое – ERA5. Линия – ПДК. В области максимальных значений разницы почти нет.

Учет данных о тепловотоках существенно влияет на *некоторые* почасовые концентрации (изменения до ~ПДК), но практически не влияет на максимумы за год, а они представляют наибольший интерес с точки зрения рисков для здоровья

Вопрос: какова ценность космических данных как дополнения данных метеостанций в задаче моделирования рассеяния выбросов?

1. Для всех рассмотренных параметров рассеяния, которые могут быть извлечены из космических данных (категории поверхности, альbedo, параметр Боуэна, чистая радиация) космические данные, включая их реанализ, дают довольно большие отличия от стандартов, применяемых в AERMOD. Эти различия приводят к существенным, *достигающим величины ПДК и более, отличиям модельных концентраций загрязнителей в некоторые моменты времени*. Однако эти различия *весьма мало сказываются на результатах агрегации концентраций по времени* – будь то максимальные разовые или среднегодовые концентрации. Это ставит вопрос о чувствительности AERMOD к задаваемым извне параметрам, входящим в модель рассеяния.
2. Сказанное не относится к *параметру неровности местности*, который, как известно, наиболее сильно влияет на рассеяние из всех задаваемых параметров. Однако в данной работе влияние этого параметра не исследовалось, так как его труднее всего оценить по космическим данным о теплотоках. Однако такие попытки известны в литературе, и мы планируем продолжать работу в этом направлении.
3. Возможно, слабая чувствительность рассмотренных в данной работе максимальных концентраций к изменению параметров, доступных по космическим данным, связана и с тем, что эти *концентрации в рассмотренных примерах в основном формируются при устойчивой атмосфере*, т.е. в ночное время, когда космические наблюдения не работают, а алгоритм AERMET не использует большую часть доступных по ним параметров, а только температуру, неровность и скорость ветра.