

# Возможности космических данных для оценки риска здоровью населения от индустриального загрязнения воздуха

Б.М. Балтер <sup>1</sup>, Д.Б. Балтер <sup>1</sup>, В.В. Егоров <sup>1</sup>, М.В. Стальная <sup>1</sup>, М.В. Фаминская <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия E-mail: [Balter@mail.ru](mailto:Balter@mail.ru)

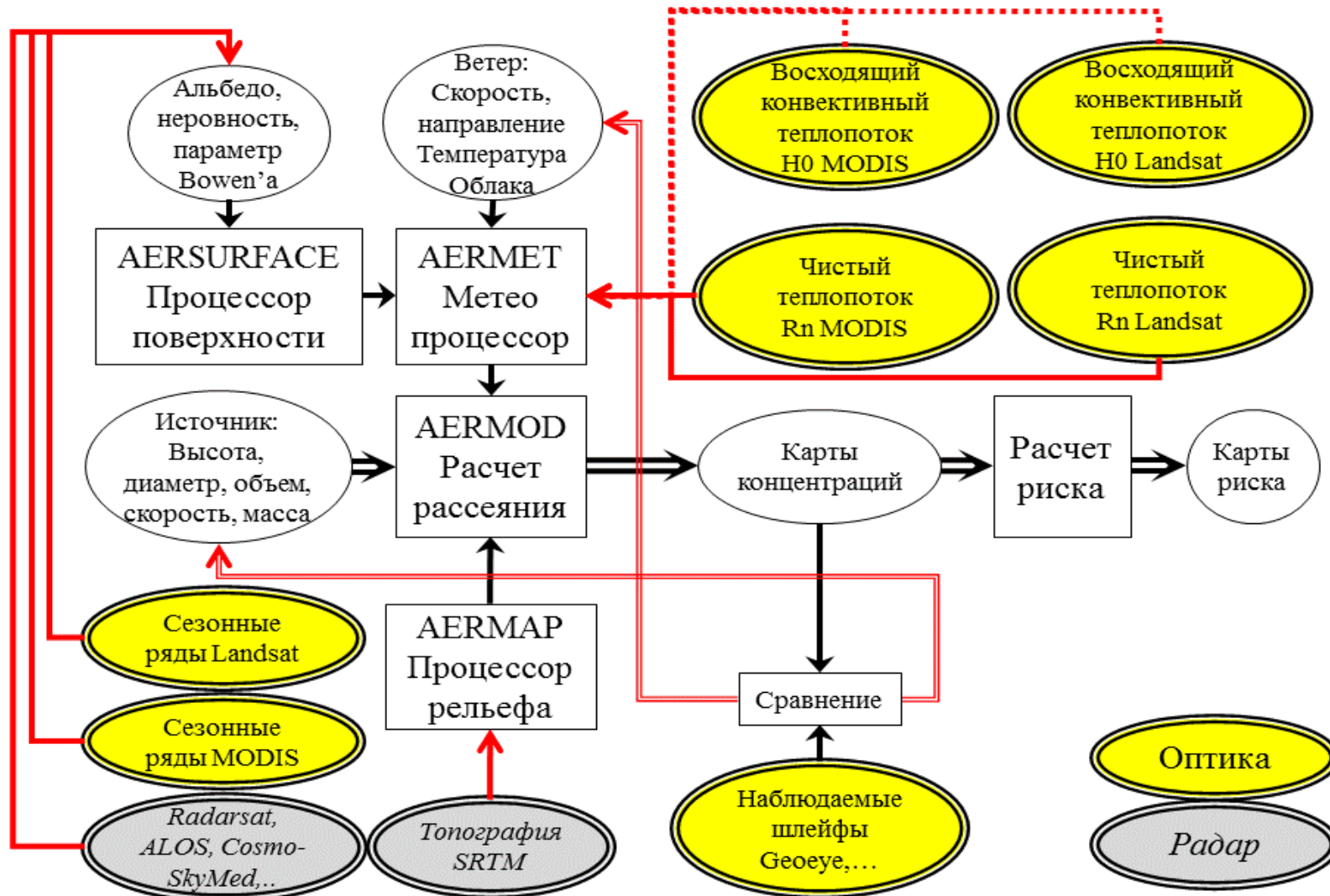
<sup>2</sup>Российский государственный социальный университет, Москва, 129226, Россия

Риск для здоровья населения обычно получается расчетным образом – по моделям рассеяния загрязнений от известных источников выброса. И в исходных данных, и в самих моделях многие параметры – с высокой неопределенностью. Какие космические данные могут быть использованы для уточнения этих параметров?

# **Оценка риска здоровью населения от индустриального загрязнения воздуха с использованием модели рассеяния AERMOD**

- 1. Модель местности:**  
рельеф, альbedo, параметр Боуэна, неровность.
- 2. Метеорологическая модель:**  
восходящий теплопоток, параметр Мони́на-Обухова,...
- 3. Модель источников:**  
расположение, высота, величина выброса,...
- 4. Расчет рассеяния →**  
поле среднегодовых и максимальных концентраций.
- 5. Учет структуры расселения →**  
поле острых и хронических рисков.

## Использование дистанционных данных в оценке риска



Последовательность расчета риска для здоровья населения (черные стрелки) и возможности использования при этом космических данных (красные стрелки: сплошные – апробированные, пунктирные - предполагаемые, двойные линии – коррекция расчетной модели по результатам сравнения с наблюдениями). Прямоугольные блоки – программные модули, овальные блоки – данные и источники данных.

## Параметры местности: уточнение по космическим наблюдениям Альbedo, параметр Боуэна, мелкомасштабная неровность поверхности

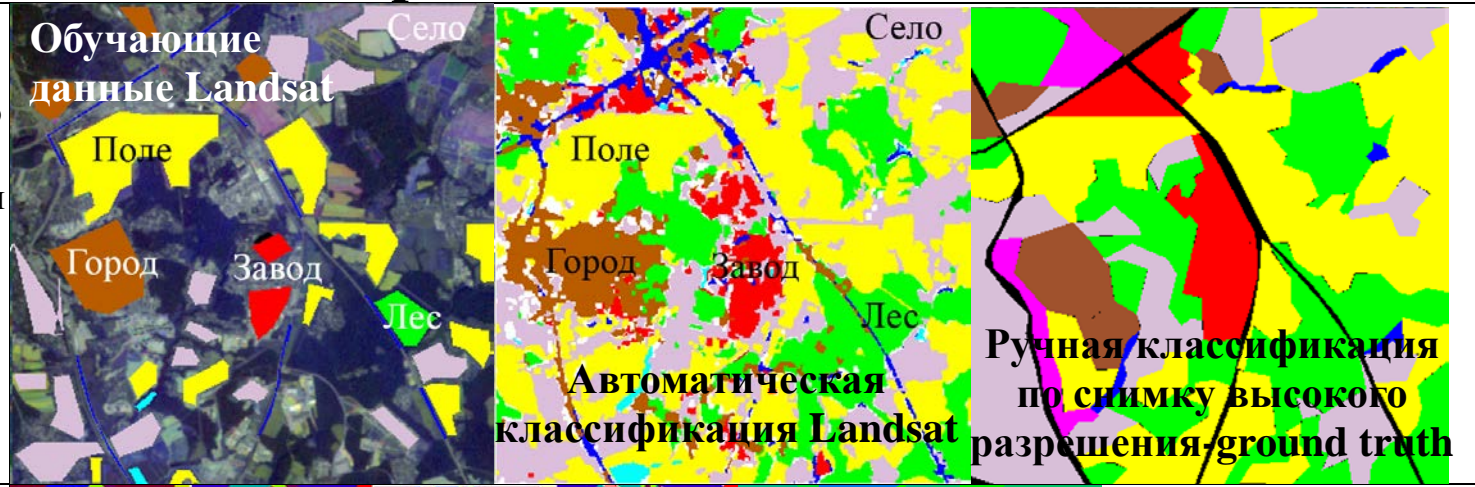
Варианты:

1. **Классификация** территории в квадрате 10 x 10 км вокруг источника по категориям землепользования, соответствующим 21 стандартному типу. Для этих типов используются **стандартные значения параметров** из AERSURFACE. Мелкие дефекты не влияют на применимость результатов: роль играют только средние значения по территории или по секторам.
2. Прямое определение **альbedo** по сенсорам оптического диапазона. Для 5 сезонов → нужны сенсоры с достаточно частым обзором. Пространственное разрешение должно быть не хуже 500 м.
3. Прямое определение **параметра Боуэна**: для оптических сенсоров нужны спектральные каналы, адаптированные к задачам теплопереноса и влажности почвы. Или СВЧ-сенсоры для определения влажности почвы, а через нее – параметра Боуэна. Зависимость от влажности переплетена с зависимостью от неровности поверхности.
4. Прямое определение **неровности поверхности**: в оптическом диапазоне – для растительности – по LAI, для зданий – по снимкам высокого разрешения. В СВЧ-диапазоне – если длина волны соизмерима с неровностью.

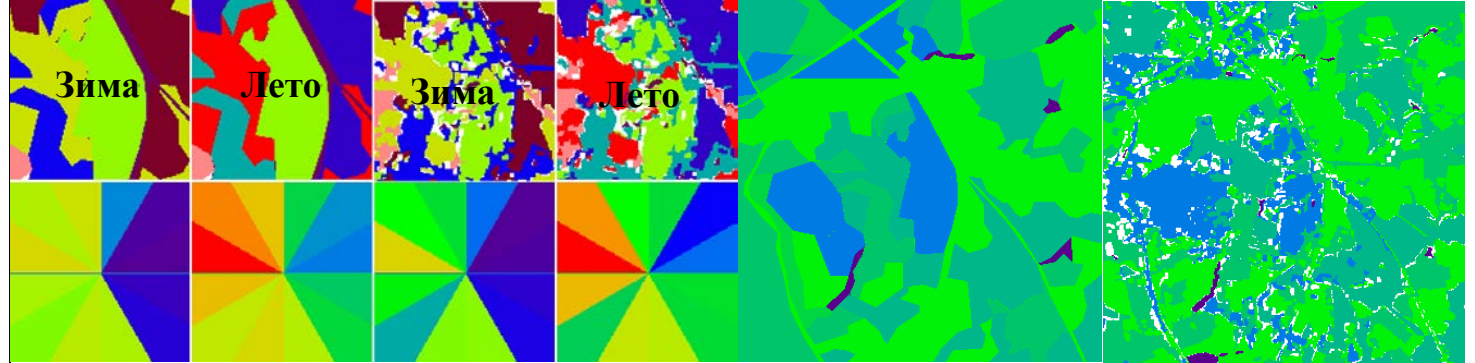


# Классификация типов поверхности по космическим наблюдениям

Отбираются характерные участки, им присваиваются классы из 21 стандартных по виду на снимке высокого разрешения. Автоматическая классификация дает полную карту. Для сравнения в качестве ground truth дана ручная классификация. Пример – для Москокса.



AERSURFACE строит по стандартным значениям для классов средние по карте альбедо и параметр Боуэна и распределение неровности по секторам направления ветра. По 5 сезонам. Красный = 1.



Неровность ручная Неровность автоматическая Альбедо ручная Альбедо автоматическая

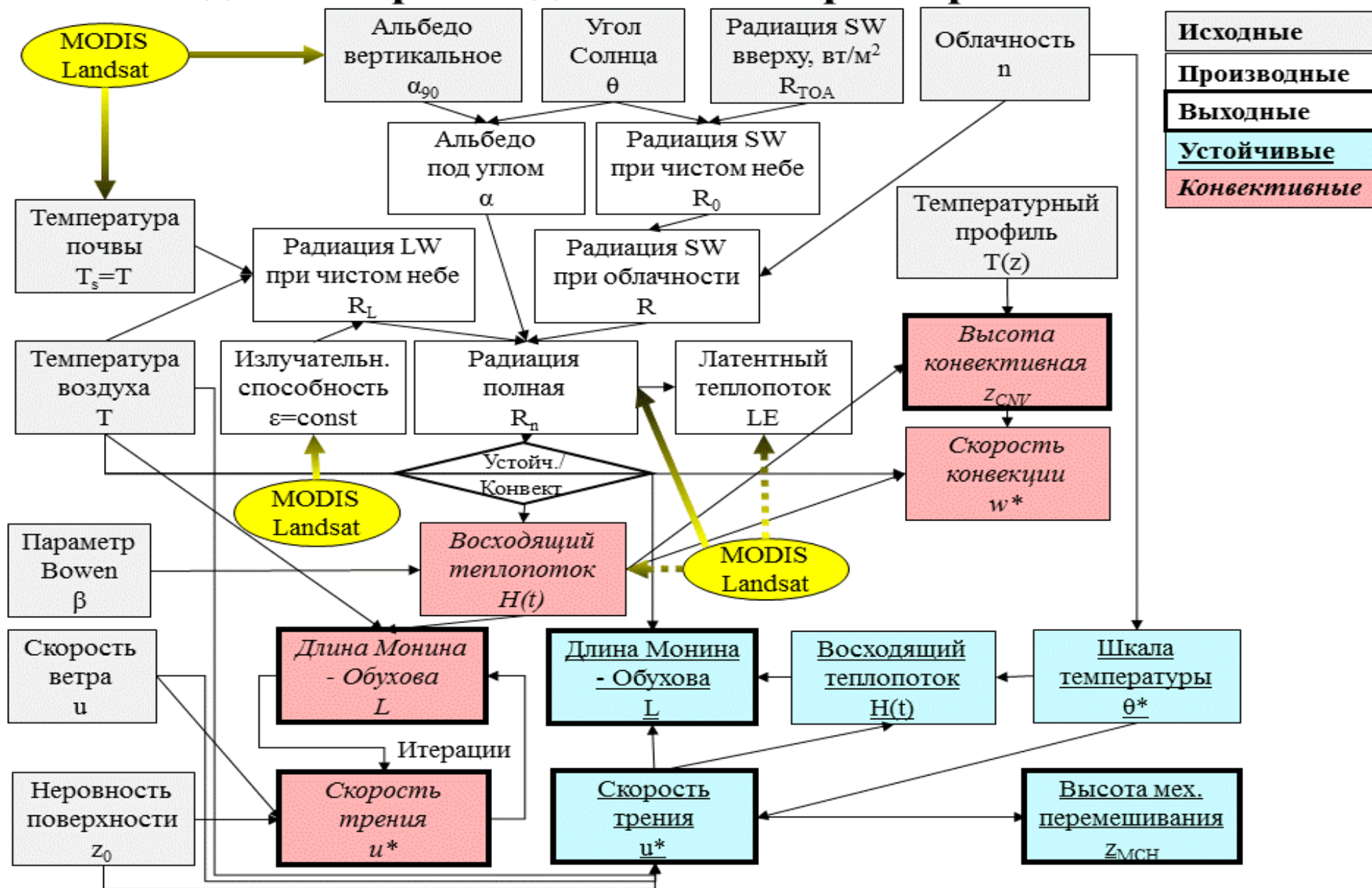
На основе параметров местности рассчитываются метеопараметры. На их основе проводится расчет рассеяния выброса. Показаны максимальные разовые концентрации пыли кокса за год при ручных и автоматических классах и разность концентраций. Это ошибка автоматического подхода, достигает 0.1 ПДК



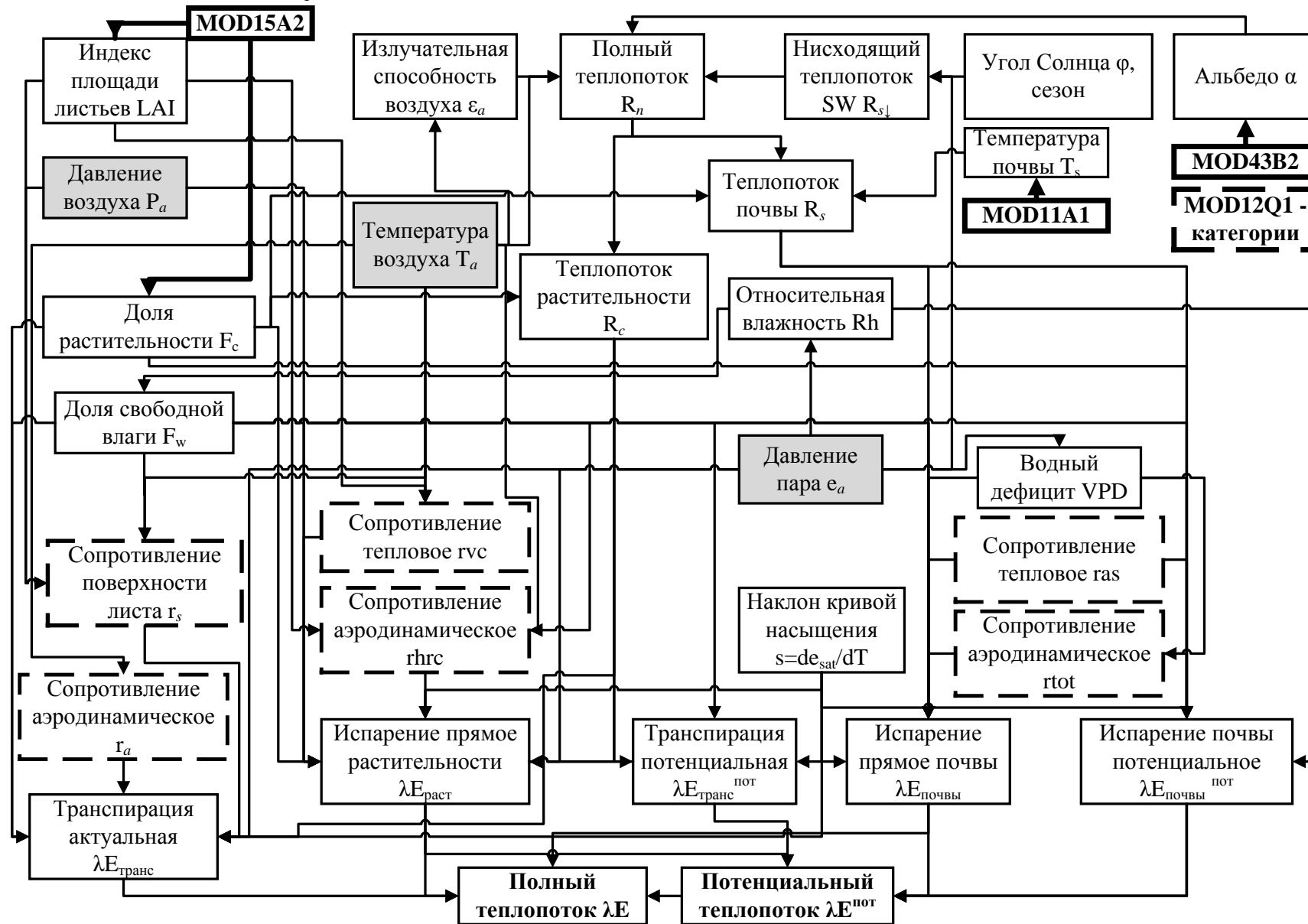


# Метеомодель: уточнение по космическим наблюдениям

## Исходные и производные метеопараметры по AERMET

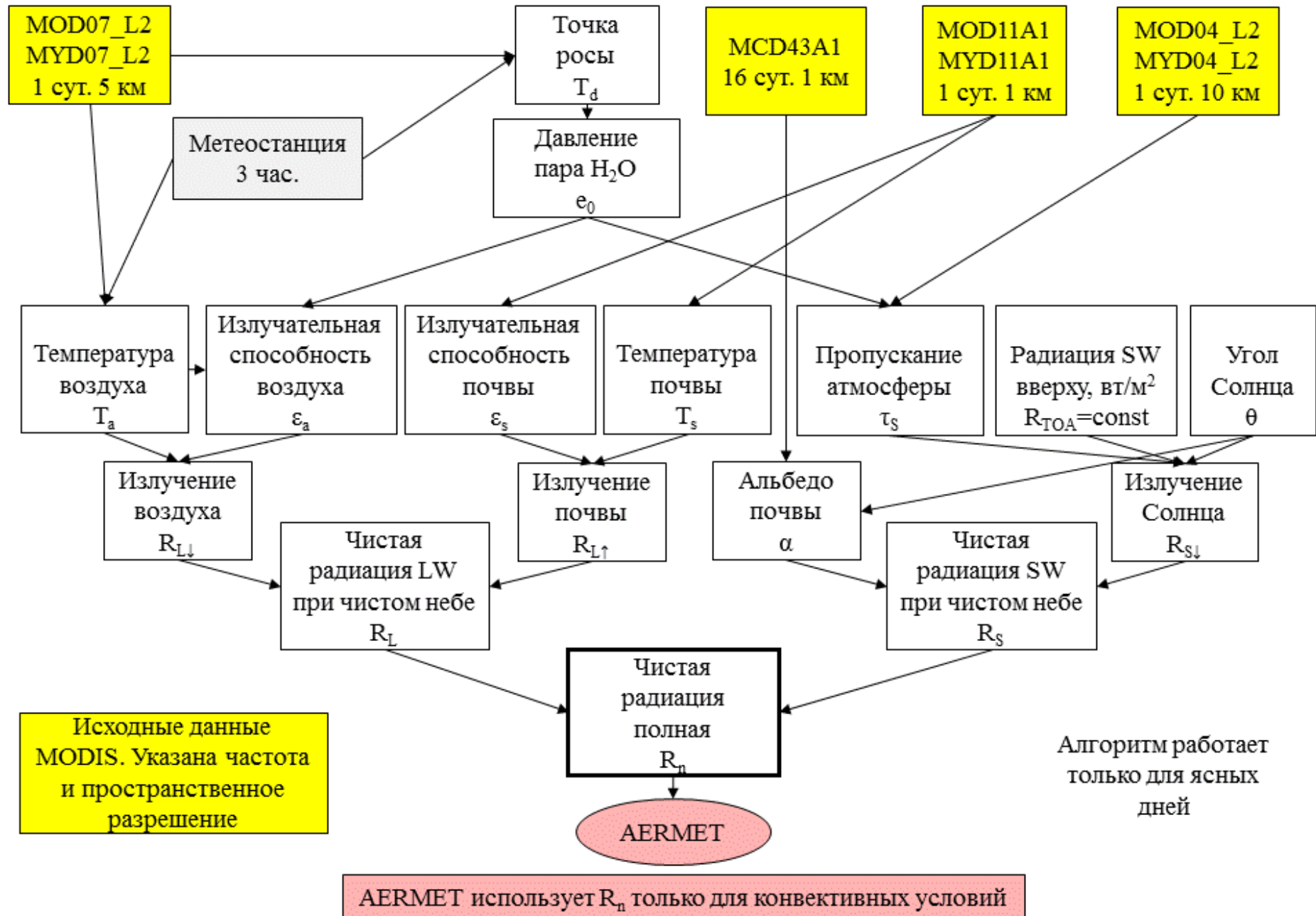


# Метеомодель: уточнение по космическим наблюдениям (MOD16)



Теплопоток почвы и растительности по данным MODIS (алгоритм MOD16). Пунктиром – данные, зависящие от категории растительности, заливкой – данные наземной метеостанции, жирным – данные MODIS.

# Извлечение теплоточков из данных MODIS и внедрение их в алгоритм AERMET





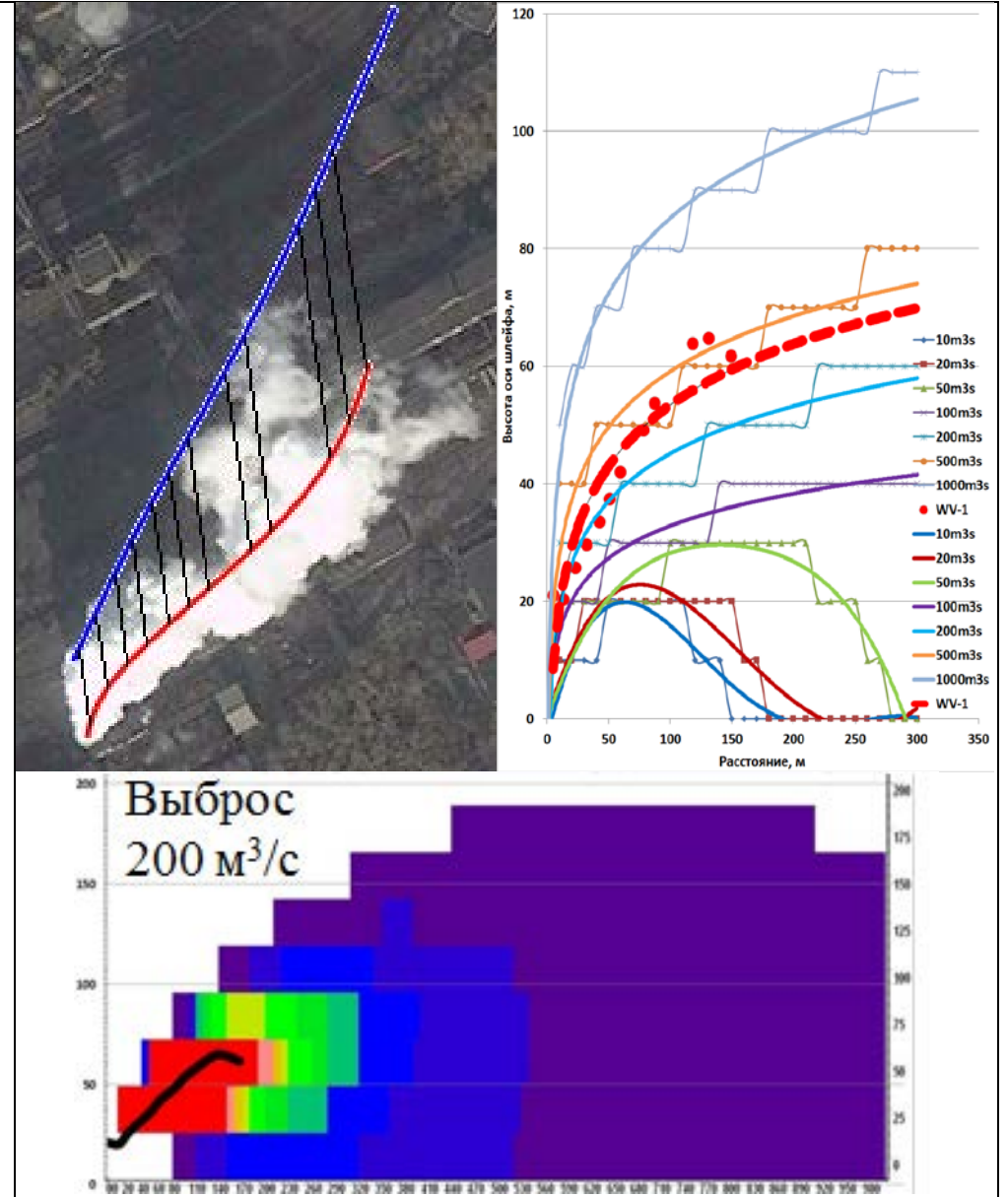
# Параметры источников: уточнение по космическим наблюдениям

## 1. Расположение и высота.

Коррекция ошибок в координатах источников выброса. Высота - с точностью до нескольких метров по теням на снимках высокого разрешения

## 2. Объем и температура выброса.

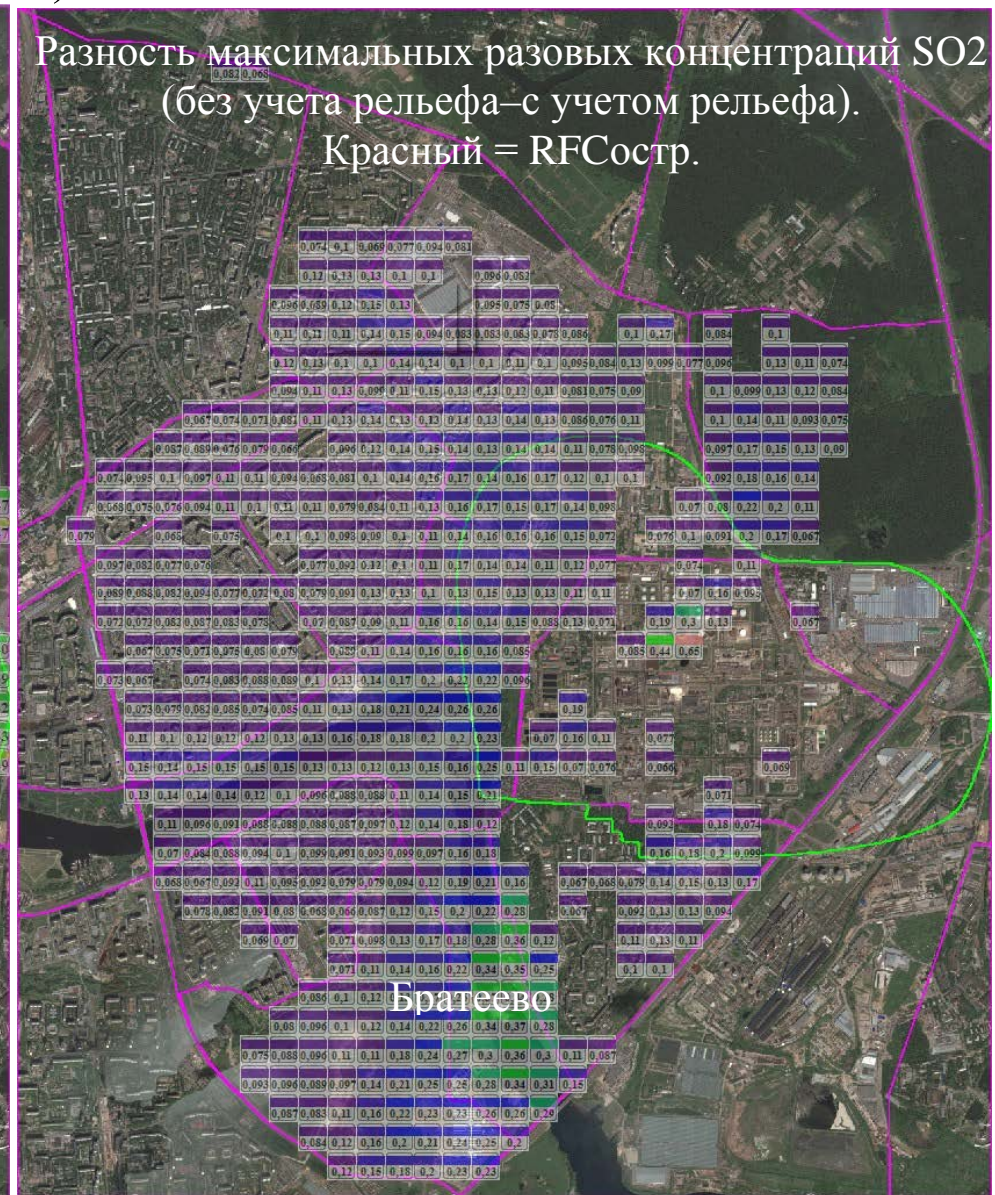
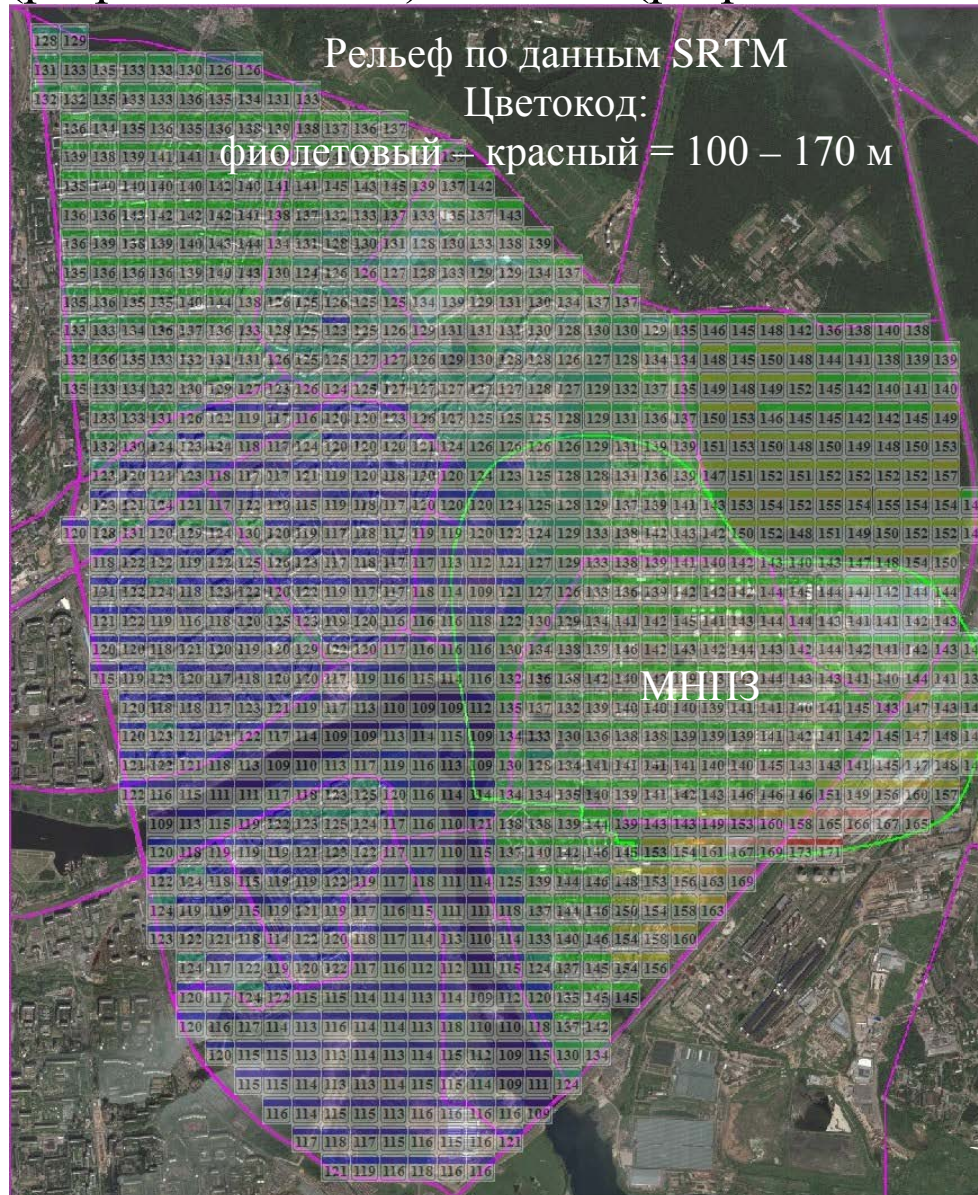
Высота подъема шлейфа горячих выбросов → температура и объем газовой смеси. Для космических данных с высоким разрешением - по шлейфу и его тени на поверхности. Для данных среднего разрешения (Landsat, Aster) - только наиболее крупные шлейфы (ТЭЦ), в холодную погоду – шлейфы от менее мощных горячих источников





# Параметры рассеяния: рельеф - уточнение по космическим наблюдениям

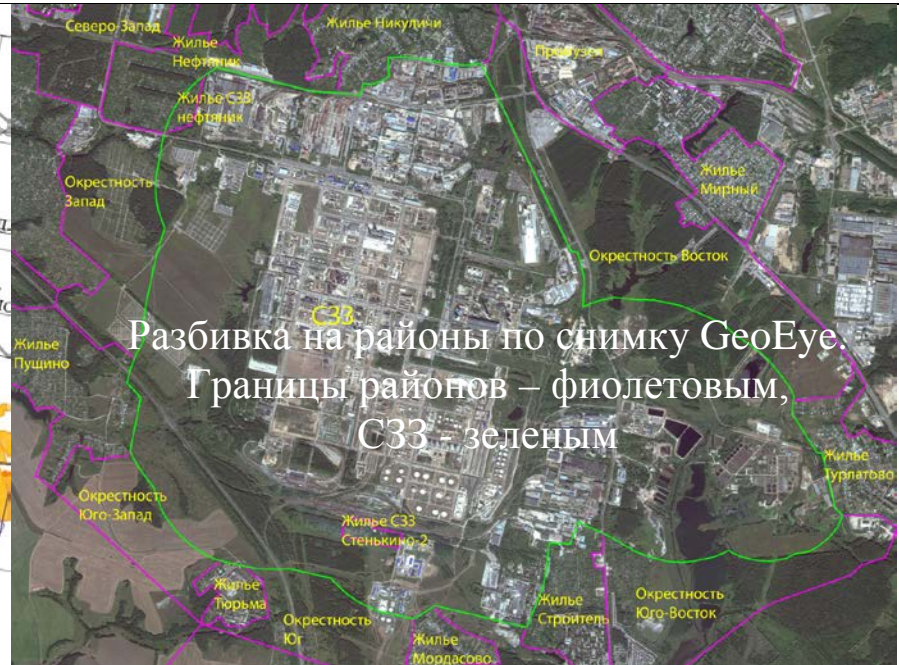
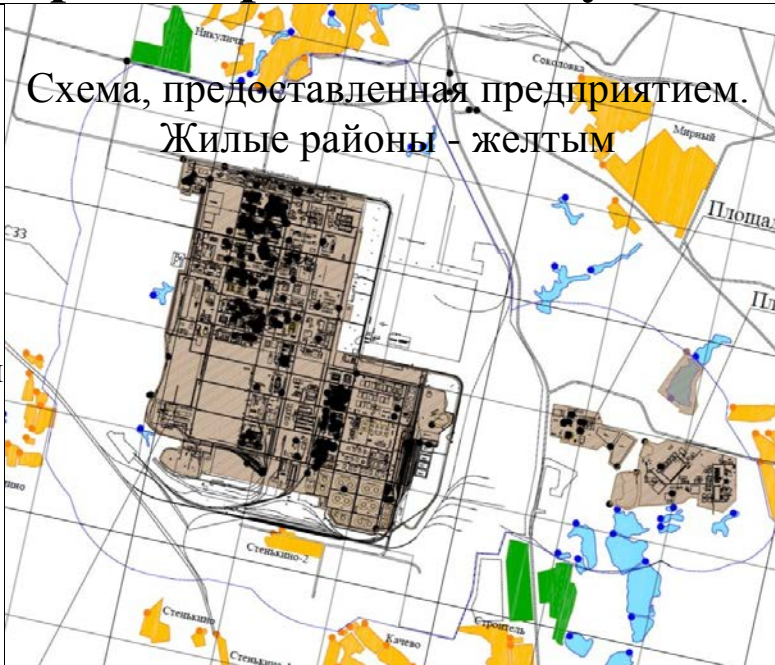
AERMOD учитывает обтекание шлейфом холмов. Данные – глобальные: SRTM (разрешение 90 м), ASTER (разрешение 15 м). Точность по высоте неважна.



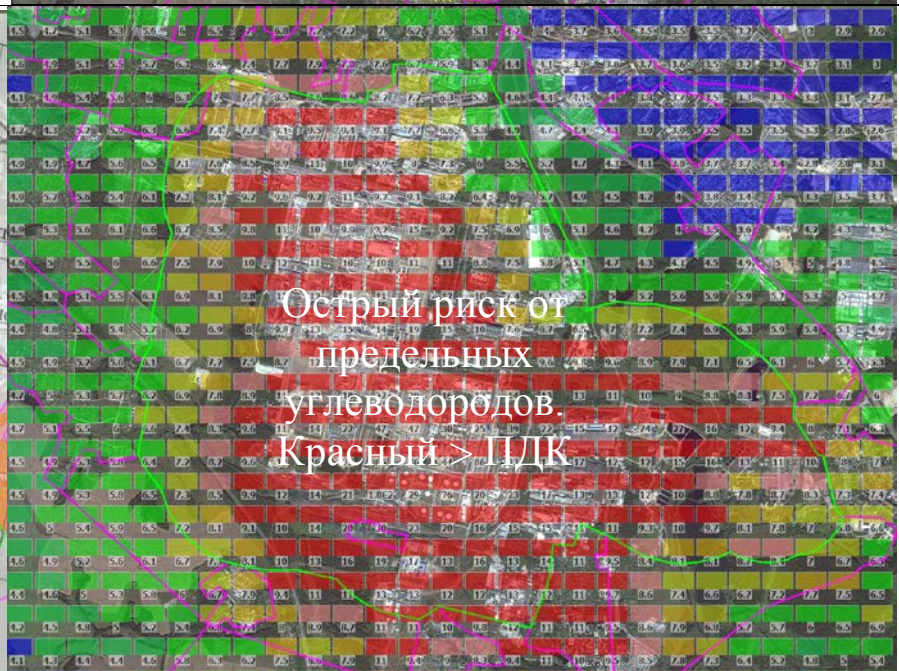
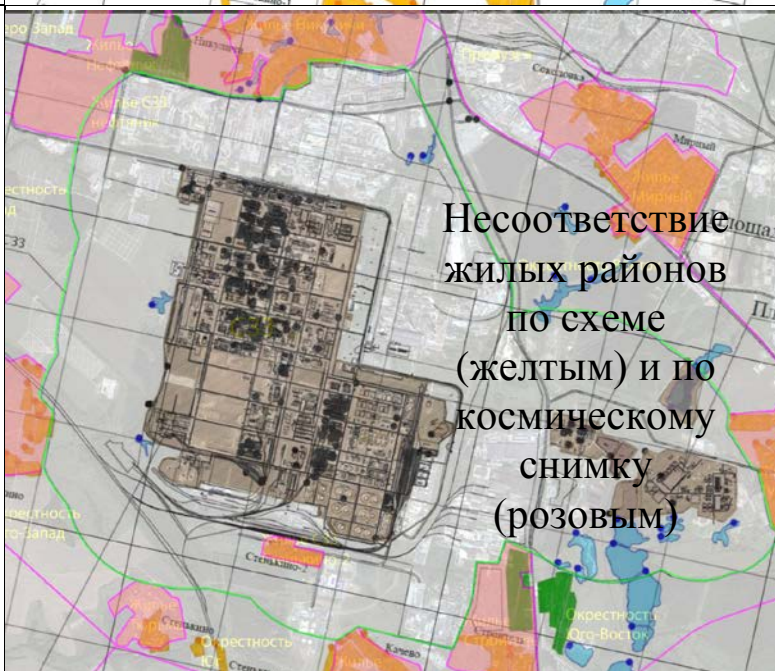


# Параметры риска: расселение - уточнение по космическим наблюдениям

Карты, которыми пользуются предприятия, могут не отражать реальное расселение, особенно садовые и дачные участки. Они определяются по снимкам высокого разрешения.



Рязанский НПЗ: несоответствие жилых районов по схеме предприятия (желтым) и реальных – по космическому снимку (розовым)





# Космические данные для AERMOD, имеющиеся в свободном доступе

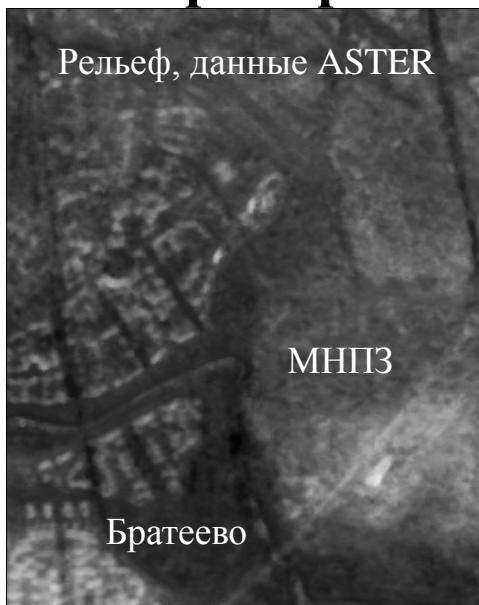
Сенсор, ИСЗ	L5	L7	L8	ASTER	MODIS	Sentinel	Hyperion	ASAR	PALSAR	SRTM DEM	ASTER GDEM
Годы работы	1984-2013	1999-...	2013-...	2000-...	1999-...	2015-...	2000-...	2002-2012	2006-...	2000	2000-2009
Разрешение VIS, м	30	30	30	15	250-1000	10 - 60	30				30
Разрешение SWIR, м	30	30	30	30	500-1000	20 - 60	30				
Разрешение TIR, м	120	60	100	90	1000	-	-				
Разрешение СВЧ, м								30	10 или 100	30	
Каналов VIS	4	4	5	4	16	9	53				
Каналов SWIR	2	2	3	6	10	3	167				
Каналов TIR	1	1	2	5	10	-	-				
Каналов СВЧ /поляризаций								1/3 C-band	1/4 L-band		
Снимков/год	~15-30	~20-30	~40	~10	730	~50	1-2	3-4	1-2	-	-
МБ/снимок	~450	~800	~2000	~100	140(09GA,09GQ)	~500	~2000	~500	40 (1°x1°)	~20 (1°x1°)	~20 (1°x1°)
Дефекты		Пробелы (2003-...)								Нет полярных	
Производные массивы данных				Global Emissivity (GED), Surface Temperature	MOD/MID: 11A1, 13Q1,16A2, 07_L2,04_L2, MCD:12Q1,43A3						



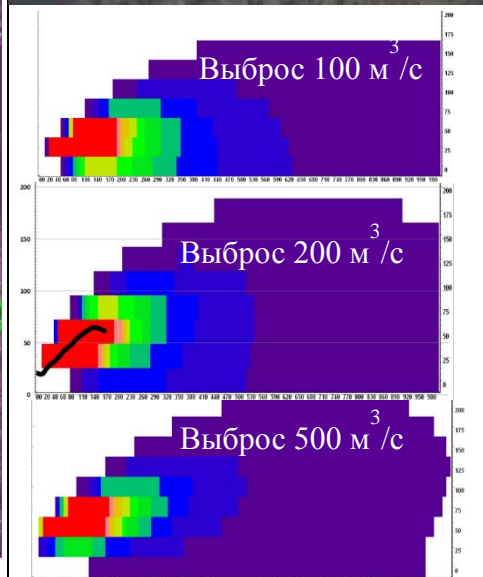
# Варианты совместного использования разных типов данных

Использование 1 типа	Использование 2 типов данных					
<p>AERMET: стандартная процедура (требует карты типов землепользования)</p> <p>MODIS: подневные значения альbedo, неровности по LAI, теплоточков, параметра Боуэна, рассчитанного по теплоточкам. Дополняется почасовой синусоидальной экстраполяцией</p> <p>LANDSAT: альbedo, неровность по LAI по сезонам, с хорошим пространственным разрешением (требуются многосезонные данные).</p> <p>GEOEYE и др. данные высокого пространственного разрешения. Самостоятельное применение невозможно: параметры не извлекаются из визуальных изображений. Возможно применение как вторичных данных в сочетании с одним из вышеприведенных типов как первичным.</p>	Первичный тип					
	<b>В Т О Р И Ч Н Ы Й Т И П</b>	AERMET	MODIS	Landsat	Geoeye..	
		AERMET		Фильтрация ошибок MODIS по альbedo, неровности по отклонению от стандартов	Коррекция сезонных кривых альbedo, неровности Landsat по стандартам	Невозможно: параметры не извлекаются из визуальных изображений
		MODIS	Подневное альbedo, неровность по LAI, теплоточков + почасовой синус		Интерполяция сезонных кривых альbedo, неровности Landsat по данным MODIS	Невозможно: параметры не извлекаются из визуальных изображений
		Landsat	Подгонка стандартных сезонных кривых альbedo, неровности по LAI	Zoom по пространству данных MODIS по альbedo, неровности по LAI		Невозможно: параметры не извлекаются из визуальных изображений
Geoeye..	Ручная классификация поверхности + стандарты параметров AERMET	Детализация классификации поверхности из MOD12Q1	Ручной выбор обучающих участков + автоматическая классификация Landsat			

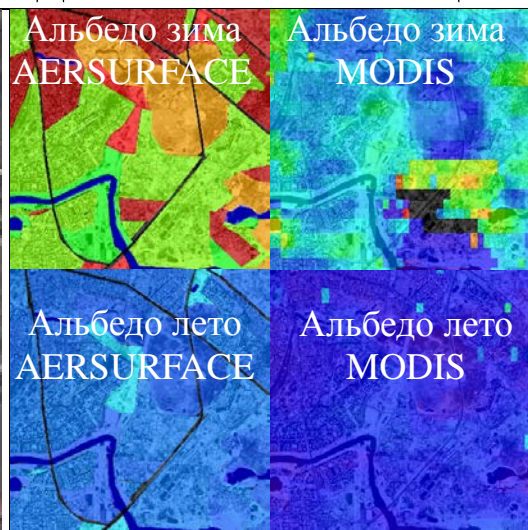
# Примеры влияния космических данных на концентрации и риски



Неучет рельефа завышает концентрации на 50% ПДК в Братеево. МНПЗ.



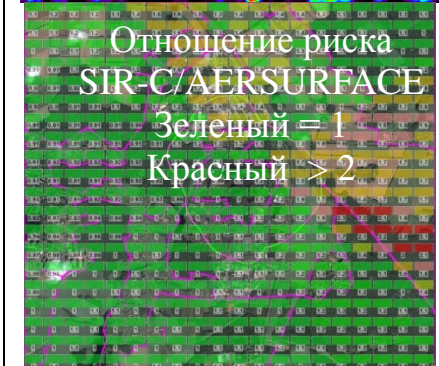
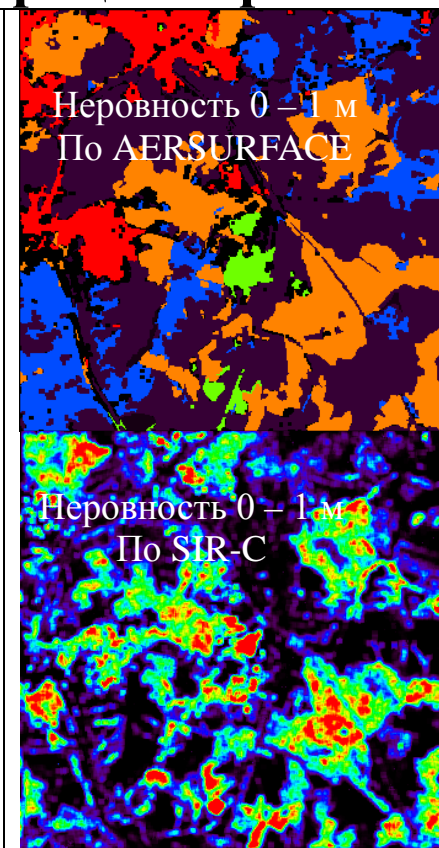
Уточнение объема выброса по высоте шлейфа. Снижение риска: 10 раз. GeoEye.



Исходные данные по альbedo. Цветокод: 0 – 0.5



Уточнение альbedo по прямым наблюдениям MODIS. Снижение риска до 40% вне СЗЗ. МНПЗ.

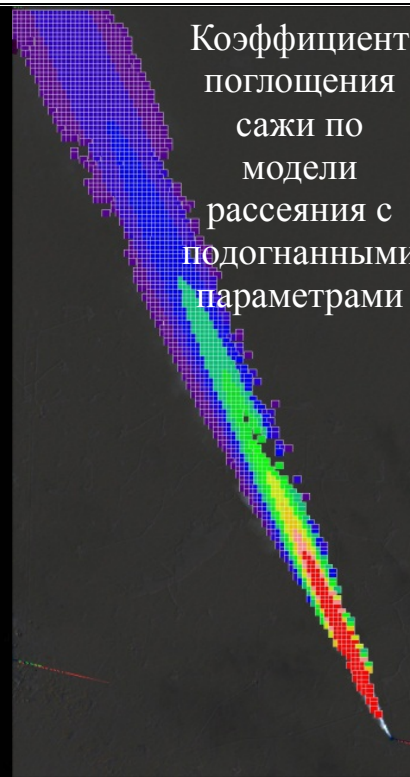
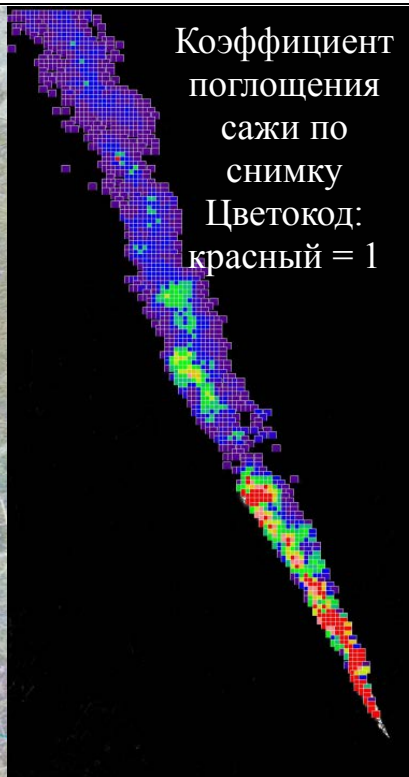


Уточнение неровности по радару SIR-C. Рост риска до >2 раз. Москокс.



# Непосредственная оценка концентраций по коэффициенту поглощения

Только для мощных шлейфов (здесь – для отдувки газовой скважины через факел. По данным космической съемки определяется коэффициент поглощения шлейфа и подгонкой к нему модели – параметры модели и выброс непрозрачного вещества (здесь – сажи). Из него по модели источника рассчитываются другие вещества.



Минимизация энтропии – невязки для шлейфа сажи |Landsat \* (ln(Landsat/модель)|  
 Определен недожиг сажи 10% → выброс H<sub>2</sub>S 200 г/с, а не 3 г/с как по данным завода

H <sub>inv,m</sub>	200	200	200	200	5000	5000	5000	5000
V м/с	1	2	3	5	1	2	3	5
0.25	0.0	2.4	3.68	6.65	1.98	3.32	5.14	5.77
0.5	0.0	0.0	2.13	2.98	0.8	1.89	2.45	3.81
1	0.0	0.0	0.0	1.54	0.3	0.76	1.19	2.36
2	0.0	0.0	0.0	1.87	0.22	0.28	0.47	0.89
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.25	0.5
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.25	0.31	0.23	0.27

**Устойчивость С**

H <sub>inv,m</sub>	200	200	200	200	5000	5000	5000	5000
V м/с	1	2	3	5	1	2	3	5
0.25	0.0	0.0	2.79	6.44	1.31	2.8	3.75	6.47
0.5	0.0	0.0	1.25	2.66	0.47	1.24	2.16	2.74
1	0.0	0.0	0.0	0.95	0.21	0.43	0.86	1.51
2	0.0	0.0	0.0	3.12	0.1	0.22	0.78	0.58
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.27	0.78	0.22	0.29
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.31	0.45	0.2	0.23

**Устойчивость D**

Одновременная оценка нескольких параметров: устойчивость, скорость ветра, высота инверсии, объем выброса. По минимуму невязки поглощения на снимке и по модели