Исследование вариативности снежного покрова и альбедо по спутниковым наблюдениям и данным реанализа ERA5-Land

Белов А.Е.[1], Ракитин В.С.[1], Парфёнова М.Р.[1], Аржанов М.М.[1], Тимажев А.В.[1]
y.beloff2013@yandex.ru
[1]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Россия, Москва

Рассмотрены вариации снежного покрова в Евразии (домен 0°-180° с.ш. / 0°-90° в.д.) по данным спутникового спектрометра MODIS (коллекция 6.1, набор данных MOD10C1, переменная Day CMG Snow Cover, разрешение 0,05°×0,05°) и расчётам реанализа ERA5-Land (разрешение 1,0°×1,0°). Рассматриваемый спутниковый прибор и реанализ предоставляют результаты в виде процентного заполнения ячейки пикселя снежным покровом (0-100%). Орбитальные данные были приняты за эталонные значения, относительно них была выполнена валидация расчётов реанализа.

Кроме того, была рассмотрена взаимосвязь между результатами модельных расчётов снежного покрова и спутниковыми измерениями альбедо поверхности (TROPOMI OFFL L3 NO2 (переменная Surface Albedo, λ=758 нм) и TROPOMI OFFL L3 CH4 (переменная Surface Albedo NIR, λ=758 нм)).

Целью представленного исследования является сопоставление результатов измерения снежного покрова спутникового спектрометра MODIS/Terra и реанализа ERA5-Land, а также изучение взаимосвязи между величинами снежного покрова и альбедо поверхности в глобальном и региональном масштабах.

Обработка спутниковых данных, построение распределений и расчёт трендов проводился в ПО TROPOMI tools ИФА РАН (Ракитин и др., 2025).

Использованная литература:

Ракитин В.С., Казаков А.В., Еланский Н.Ф., Кириллова Н.С., Федорова Е.И. Программа для визуализации и анализа орбитальной информации о составе атмосферы // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025619712, 17.04.2025.

S5P L2 PUM Methane SRON-S5P-LEV2-MA-001 issue 2.4.0, 2022-07-11 – released

S5P L2 PUM Nitrogendioxide S5P-KNMI-L2-0021-MA issue 4.0.0, 2020-12-01 – released

Climate Data Store URL: https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land

National Snow and Ice Data Center URL: https://nsidc.org/data/MOD10C1

Выполнено:

- Построены пространственные распределения величины снежного покрова для нескольких периодов (15.01-15.02; 15.03-15.04; 01.11-30.11) 2020-го года на основе данных MODIS и ERA5-Land. Построение проводилось на двух масштабных уровнях – на глобальном (домен «Евразия» − 0°−90° с.ш. / 0°−180° в.д.) и региональном (для нескольких под-доменов – Прикаспийская низменность (44°−52° с.ш. / 43°−55° в.д.), Западная Сибирь (55°−65° с.ш. / 60°−80° в.д.), Гималаи (26°−36° с.ш. / 72°−97° в.д.)).
- Проведено сопоставление данных по снежному покрову спутникового спектрометра MODIS и реанализа ERA5-Land при разных типах фильтрации. Орбитальные данные были приняты за эталонные значения, относительно них была выполнена валидация расчётов реанализа.
- Оценено влияние фильтрации данных снежного покрова реанализа ERA5-Land (Snow<10^{-3}) на характеристики сопоставления со спутниковыми данными.

Исследование было выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-77-00113

Рис. 1. Распределение величины снежного покрова за зимний период (15.01.−15.02.2020): ***a*** – по данным ERA5-Land; ***b*** – по данным MODIS (CMG SnowCover)

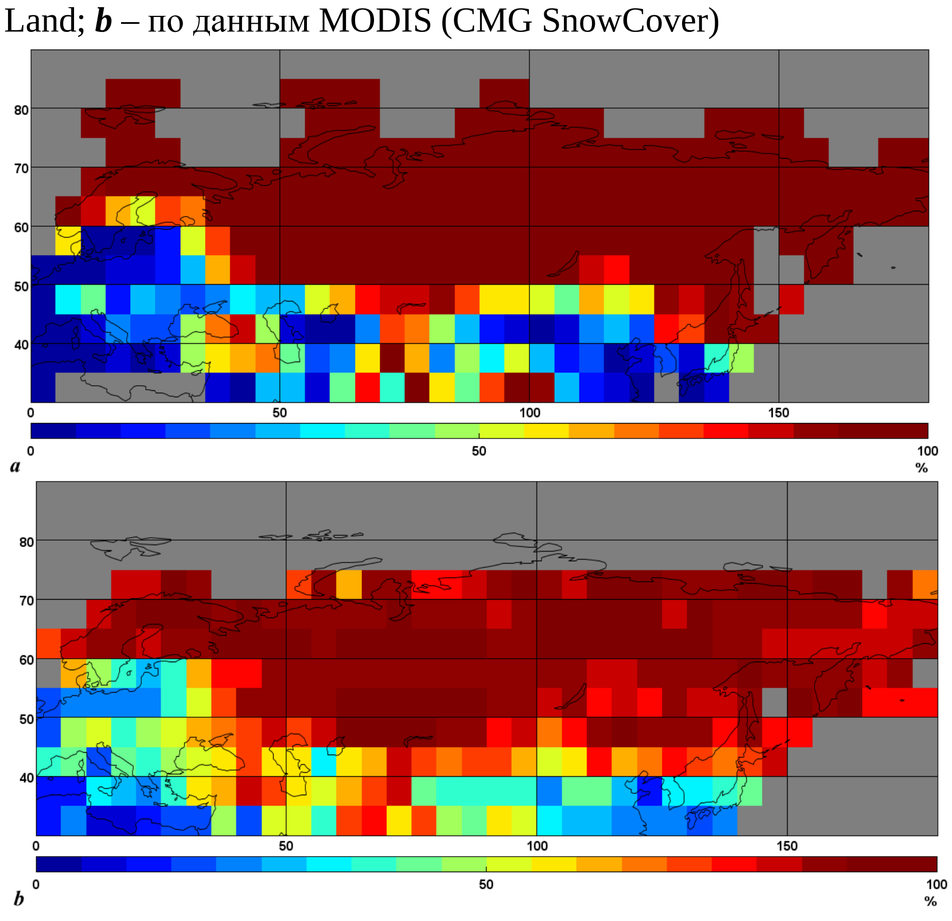


Рис. 2. Распределение величины снежного покрова для под-домена «Западная Сибирь» по данным ERA5-Land: ***a***: 15.01.−15.02.2020; ***b***:15.03.−15.04.2020; ***c*** – 01.11.−30.11.2020

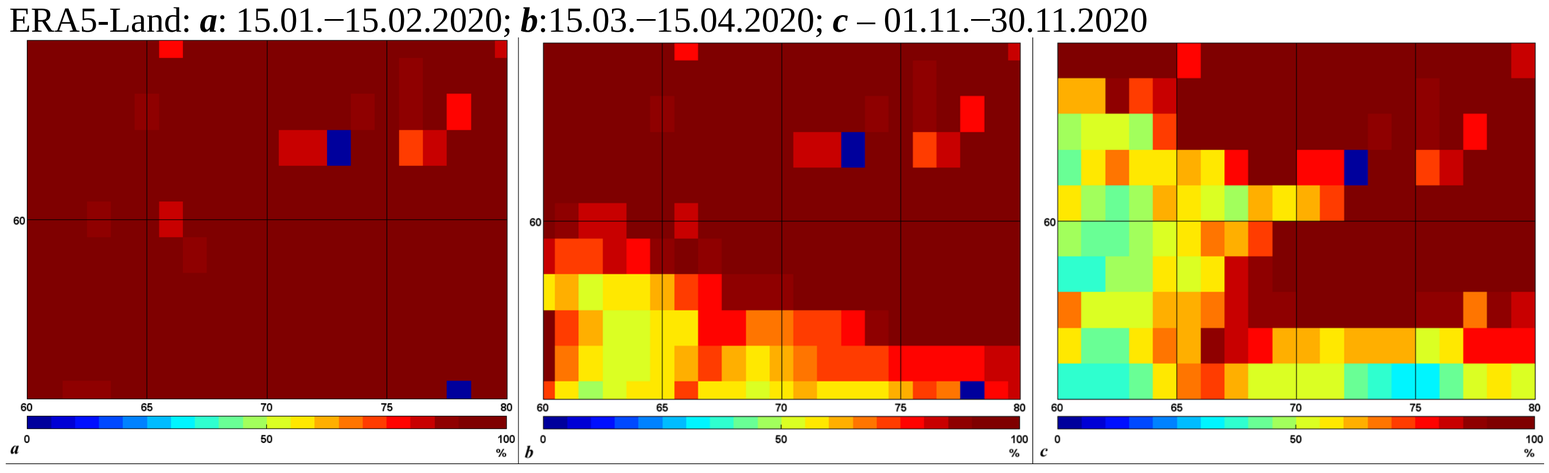


Рис. 3. Распределение величины снежного покрова для под-домена «Западная Сибирь» по данным MODIS: ***a*** – 15.01.−15.02.2020; ***b*** – 15.03.−15.04.2020; ***c*** – 01.11.−30.11.2020

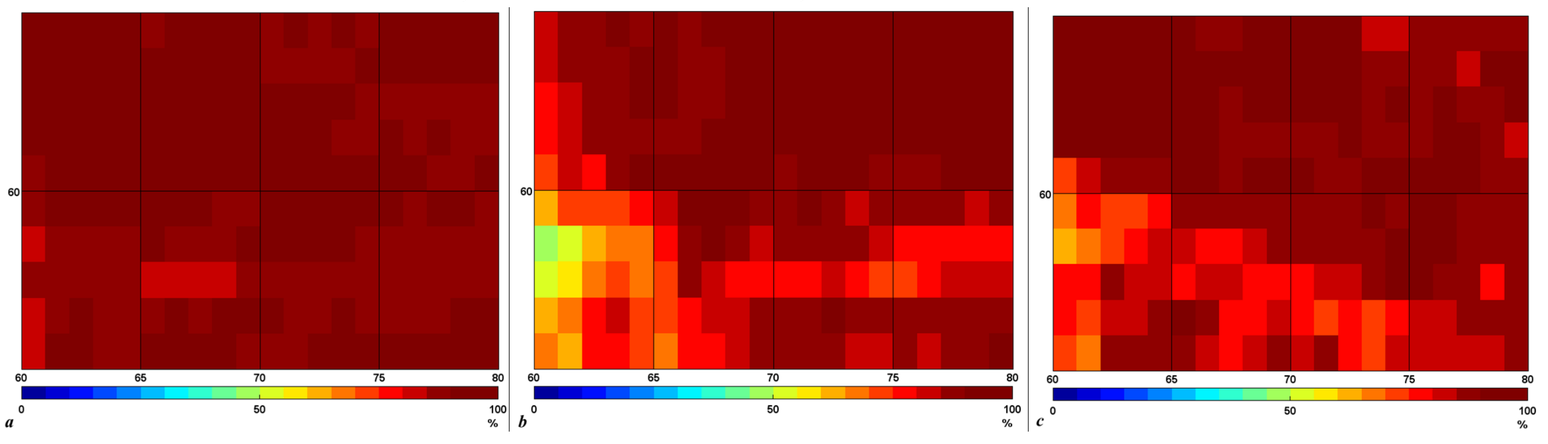
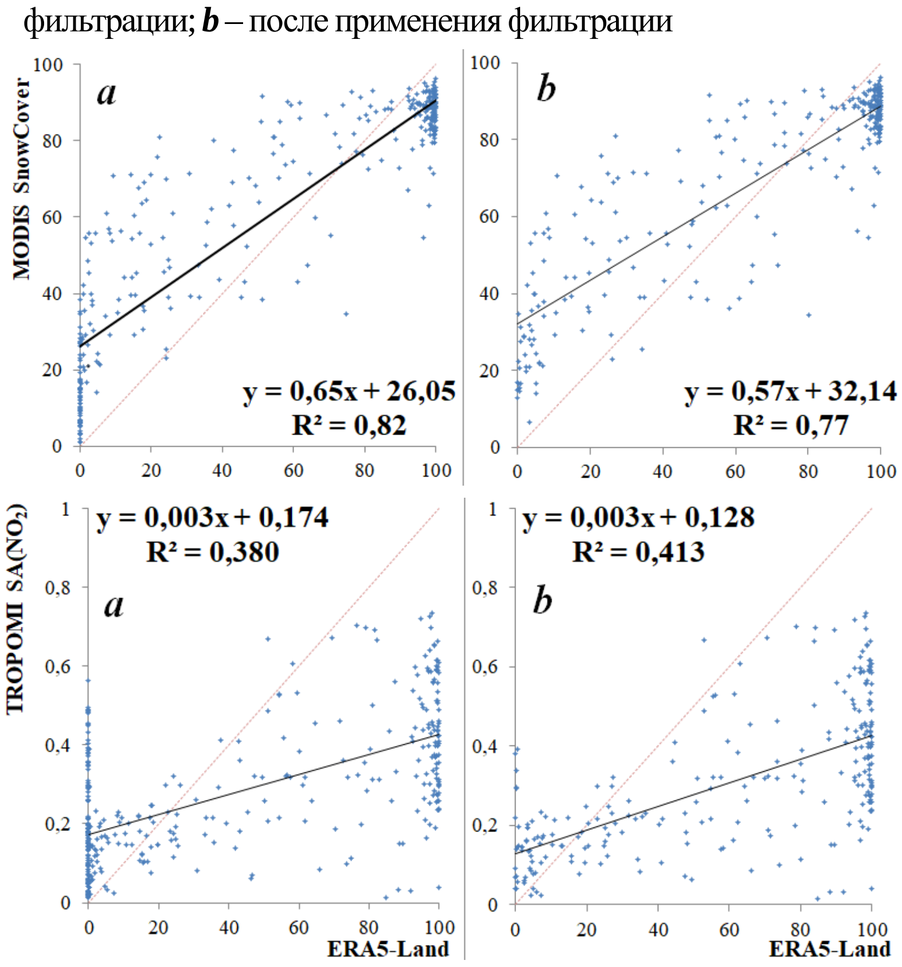


Рис. 5, 6. Корреляционные диаграммы *SC(ERA5) / SC(MODIS)* и *SC(ERA5)/SurfaceAlbedo(TROPOMI)* за зимний период: ***a*** – до фильтрации; ***b*** – после применения фильтрации



Условие фильтрации величины снежного покрова ERA5-Land:

$$SnowCover(ERA5) > 1E-03$$

Сопоставление данных реанализа и спутниковых изменений: рассчитывались параметры линейной регрессии:

$$SnowCover_{MODIS} = k \times SnowCover_{ERA5-Land} + a$$

$$SurfaceAledo_{TROPOMI} = k \times SnowCover_{ERA5-Land} + a$$

Фильтр ERA5	Сезон	*SnowCover* MODIS / ERA5		TROPOMI *SurfaceAlbedo* (NO_2) / ERA5 *(SC)*		TROPOMI *SurfaceAlbedo (NIR)* / ERA5 *(SC)*	
		Лин. регр.	R	Лин. регр.	R	Лин. регр.	R
Без фильтра	15.01-15.02	y=0,65x+26,0	0,90	y=0,003x+0,17	0,62	y=0,0035x+0,28	0,72
	15.03-15.04	y=0,67x+24,0	0,93	y=0,0034x+0,16	0,69	y=0,0037x+0,25	0,72
	01.11-30.11	y=0,67x+26,7	0,85	y=0,0013x+0,16	0,39	y=-6E-05x+0,28	0,01
SC>1E-03	15.01-15.02	y=0,57x+32,1	0,88	y=0,003x+0,13	0,64	y=0,004x+0,22	0,74
	15.03-15.04	y=0,66x+23,7	0,93	y=0,0041x+0,10	0,71	y=0,0043x+0,16	0,75
	01.11-30.11	y=0,61x+29,2	0,83	y=0,0018x+0,11	0,58	y=0,0009x+0,22	0,28

Рис. 4. Распределение альбедо поверхности (SurfaceAlbedo) для под-домена «Западная Сибирь» по данным TROPOMI для периода 15.03.−15.04.2020:

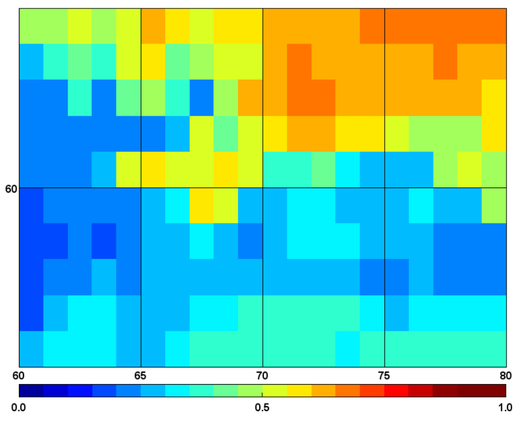


Табл. 1. Корреляционные параметры валидации данных ERA5 относительно MODIS для глобального домена (пространственное разрешение - 5°×5°)