

М.Ю. Червяков, А.И. Котума, А.А. Спиряхина

# **Атлас альбедо**

по данным измерений отраженных потоков коротковолновой радиации, полученных с помощью гидрометеорологического спутника «Метеор-М» № 1

Саратовский национальный исследовательский университет  
имени Н.Г. Чернышевского

М.Ю. Червяков, А.И. Котума, А.А. Спиряхина

## **Атлас альбедо**

по данным измерений отраженных потоков коротковолновой радиации,  
полученных с помощью гидрометеорологического спутника «Метеор-М» № 1

Саратов  
Издательство Саратовского университета  
2017

**УДК 551.521.14**

**Червяков М.Ю., Котума А.И., Спиряхина А.А.** Атлас альбедо по данным измерений отраженных потоков коротковолновой радиации, полученных с помощью гидрометеорологического спутника «Метеор-М» № 1. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2017. – 57 с.: ил.

Подготовка электронного атласа альбедо выполнена при финансовой поддержке Русского географического общества (Договор о предоставлении гранта № 40/2016-Р).



Атлас альбедо включает в себя карты распределения среднемесячных величин альбедо за период с ноября 2009 по август 2014 года. Построение карт стало возможным благодаря работе измерителя коротковолновой отраженной радиации ИКОР-М, установленного в составе гелиогеофизического измерительного комплекса на борту гидрометеорологического спутника «Метеор-М» № 1.

В атласе также приведена методика построения карт, краткая история спутниковых исследований радиационного баланса Земли, проводимых в Саратовском государственном университете и библиографический список по данному вопросу.

Атлас альбедо представляют интерес для специалистов в области климатологии, метеорологии, физики атмосферы, географии, геофизики, океанологии и др. Он также может быть использован в качестве учебного пособия для студентов СГУ, обучающихся по направлению подготовки «Прикладная гидрометеорология» и аспирантов специальности «Метеорология. Климатология. Агрометеорология».

**Издается в электронном виде в авторской редакции**

© Червяков М.Ю., Котума А.И., Спиряхина А.А., 2017

© Саратовский государственный университет, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Краткая история спутниковых исследований составляющих радиационного баланса Земли в Саратовском государственном университете	4
Методика построения карт распределения среднемесячных величин альбедо	15
Карты альбедо за 2009 год	21
Карты альбедо за 2010 год	22
Карты альбедо за 2011 год	28
Карты альбедо за 2012 год	34
Карты альбедо за 2013 год	40
Карты альбедо за 2014 год	46
Анализ карт распределения среднемесячных величин альбедо	50
Библиографический список	54

*Памяти Юрия Андреевича Склярова*



*(27 января 1931 - 19 июня 2014 гг)*

**Краткая история спутниковых исследований составляющих  
радиационного баланса Земли в  
Саратовском государственном университете**

29 мая 2008 года на расширенном заседании Ученого совета географического факультета СГУ состоялась презентация учебно-научной лаборатории исследования составляющих радиационного баланса Земли. К этому времени положение о лаборатории было утверждено Ученым советом университета, подписан приказ ректора, руководителем лаборатории назначен профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой метеорологии и климатологии Ю.А. Скляров.

Создание лаборатории явилось частью общего проекта реализации инновационной образовательной программы университета. Необходимость

создания подобной лаборатории назревала уже давно, поскольку вопросами измерения составляющих радиационного баланса Земли в университете занимаются на протяжении нескольких десятков лет. За эти годы пройден большой путь от создания наземной измерительной аппаратуры, автоматической аэростатной аппаратуры до спутниковой измерительной техники. Работы выполнялись по ведомственным, государственным и международным программам, поддерживались средствами из государственного бюджета, различными грантами и на основании договоров.

Важным фактором, сыгравшим роль в создании лаборатории, послужило то, что 19 марта 2007 года на указанные работы группы профессора Ю.А. Складова университет получил лицензию Федерального космического агентства на осуществление космической деятельности. Таким образом, университет официально признан членом «клуба» организаций ведущих космическую деятельность.

В сентябре 2009 года состоялся запуск российских метеорологических спутников нового поколения «Метеор-М» № 1 и 8 июля 2014 года - «Метеор-М» № 2. На спутниках установлена аппаратура ИКОР-М – «Измеритель коротковолновой отраженной радиации», созданная в СГУ под руководством Ю.А. Складова. Ранее подобная аппаратура работала на спутниках «Метеор-3» № 7 (1994-1995 гг.) и «Ресурс-01» № 4 (1998-1999 гг.). Приборы входят в гелиогеофизический аппаратный комплекс ГГЭК-М.

Радиометр ИКОР предназначен для спутникового мониторинга уходящей отраженной коротковолновой радиации, являющейся одной из составляющих радиационного баланса Земли, и альbedo системы Земля-атмосфера. Данная информация может быть использована в различных моделях долгосрочных прогнозов погоды и исследованиях трендов изменения климата, а также для получения величин поглощенной солнечной радиации.

Первые регулярные данные с первого спутника стали поступать с ноября 2009 года, а в августе 2014 года прием завершился. Со спутника «Метеор-М» № 2 прием информации начался в августе 2014 года и продолжается по сей день, данные поступают в Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) Роскосмоса дважды в сутки, после чего данные передаются в Саратовский государственный университет для дальнейшей обработки.

Основная цель программы исследований – получение среднемесячных значений альбедо и поглощенной радиации, широтных распределений этих величин, глобальных значений альбедо и поглощенной радиации и оценка их вариаций, то есть мониторинг альбедо и поглощенной радиации, их воздействие на изменение климата.

Особым направлением работы лаборатории является изучение солнечной постоянной. Для этих целей служит солнечный радиометр, каковым является измеритель солнечной постоянной (ИСП). Радиометр ИСП в различных модификациях принимал участие в работе на ИСЗ «Космос-1484» (1983 г.), в уже упоминавшихся совместных российско-французских экспериментах на ИСЗ «Метеор-3» № 7 и «Ресурс-01» № 4. Во всех случаях результаты измерений публиковались в России и в зарубежных изданиях. Особенно плодотворным был период работы на ИСЗ «Метеор-3» № 7, когда удалось обнаружить появление осцилляций солнечного потока при резких изменениях индексов солнечной активности (см., например, Ю.А. Складов и др. Письма в Астрономический журнал. 1997. Т.23, №10. с. 771-778; Ю.А. Складов и др. Известия РАН. Серия Физика. 1998. Т.62, №6. с. 1186-1191 и др).

В 2003 г. началась работа по установке радиометра на геостационарный ИСЗ «Электро-Л». Прибор был полностью модернизирован как в технической, так и, особенно, в электронной его составляющих и получил название ИСП-2М. Запуск спутника был осуществлён 20 января 2011 года. На борту этого спутника был установлен измеритель ИСП-2М, предназначенный для

прецизионных измерений интегральной энергетической освещённости прямой солнечной радиации (величины солнечной постоянной) в диапазоне 0,2...100 мкм в абсолютных единицах с погрешностью среднесуточного измерения  $\sim 0,01\%$ .

ИСП-2М представляет собой единый модуль, содержащий механическую и электронную части. Механическая часть содержит двухкоординатную следящую систему с установленным на ней измерительным блоком, который включает в себя два идентичных измерительных канала: один из них является основным, рабочим и действует постоянно, второй – калибровочный, включается по внешней команде и служит в качестве бортового эталона для проверки рабочего канала. В каждом измерительном канале используется полостной приёмный элемент болометрического типа. Оба измерительных канала градуированы по представителю российского радиометрического эталона (Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова). Необходимо отметить, что вывод солнечного радиометра на геостационарную орбиту осуществлён впервые в мировой практике гелиофизических измерений.

Включение аппаратуры ИСП-2М состоялось 4 марта 2011 г. Информация с ИСП-2М принималась 4-7 марта. В этот период измеритель ИСП-2М работал в штатном режиме, все функции чётко выполнялись. Датчики температуры, контроль наведения, система поиска и слежения работали без сбоев. Данные регистрации позволили получить 8 серий наблюдений продолжительностью от 11 до 24 отсчётов радиации в различных сериях. Учитывая крайне неровные температурные условия измерительного блока, можно считать этот результат за все дни наблюдений вполне удовлетворительным. В отдельно взятых сериях (один и тот же день) прибор регистрирует 0,01-0,03 %, т.е. единицы десятитысячных долей измеряемой величины. Уже это даёт возможность регистрировать развитие, например, отдельных солнечных пятен.



В период испытаний с 4 по 7 марта склонение Солнца менялось от минус  $6,5^\circ$  до минус  $5,0^\circ$ , т.е. Солнце находилось вблизи от плоскости небесного экватора. Каждые сутки космический аппарат все сильнее погружался в тень Земли, отмечались и другие затеняющие факторы. Наконец, захват Солнца прекратился, и аппаратура была выключена 17.03.2011 г.

Дальнейшее включение прибора после достижения Солнцем склонений, превышающих плюс  $10^\circ$  (11.04.2011 г), не привело к захвату Солнца.

Таким образом, эти первые испытания радиометра подтвердили возможность работы с относительной погрешностью (в его шкале) на уровне 0,01%. Геостационарная орбита привлекает тем, что при высоких склонениях Солнца появляются участки, где ежесуточная продолжительность непрерывных наблюдений достигает 10-11 часов. Учёт всего опыта проведённых испытаний позволит устранить недочёты и обеспечить работу второго лётного образца радиометра именно в таком благоприятном режиме.

В связи с исследованиями СП значительное внимание уделялось проблеме солнечно-земных связей. Ряд работ опубликован совместно с медиками. Переменность потока излучения Солнца и его возможного влияния на глобальный климат обсуждались в монографиях и ряде публикаций. Можно упомянуть о работах по созданию солнечного фотометра, практическая разработка экспериментального образца была успешно завершена, основные теоретические положения и особенности конструкции опубликованы.

В настоящее время продолжается обработка научной информации, поступающей от радиометра ИКОР-М, работающего на ИСЗ «Метеор-М» № 2. По данным измерений была произведена оценка изменчивости альбедо в течение 2010-2013 гг для регионов Амазонской низменности и тропической Африки, а также для муссонных регионов Юго-Восточной Азии.

В качестве примера на рис. 1 приведены результаты для региона с высокой муссонной активностью в Юго-Восточной Азии (80-130° в.д., 15-40° с.ш.). В течение тёплого периода (конец весны, лето и начало осени) в данном регионе наблюдалась область с высокими значениями альbedo, достигающими 60 % и средним значением 35-40 %.

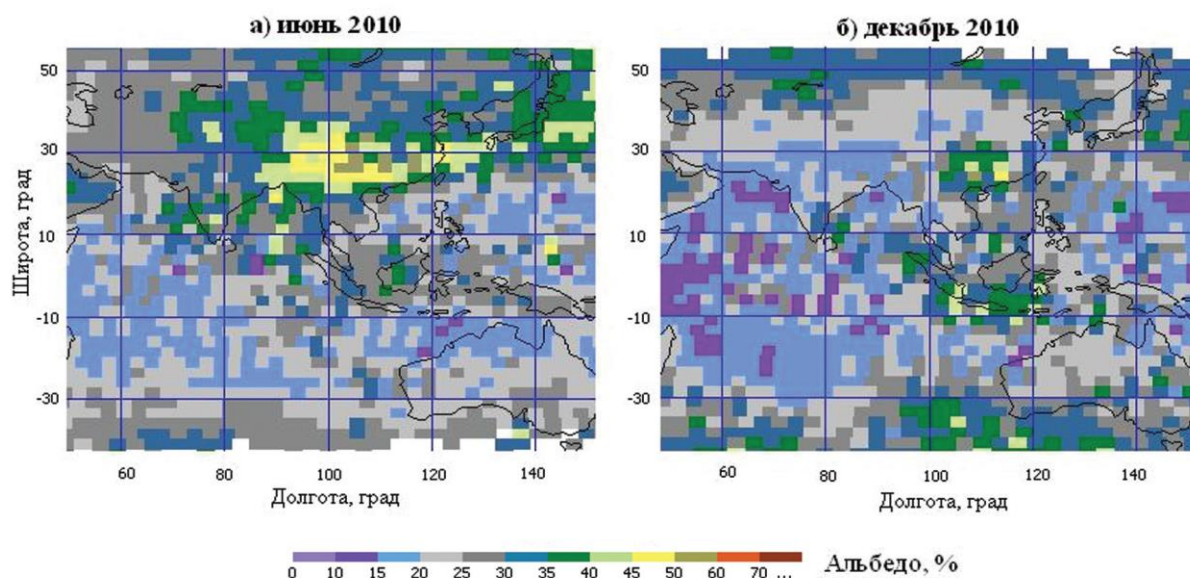


Рис. 1 Распределение среднемесячных величин альbedo над Юго-Восточной Азией

Зимой над этим регионом также наблюдаются высокие значения альbedo (до 45 %), но только в небольшой области с координатами центра 25° с.ш., 110° в.д. На остальной территории, где в летние месяцы была зона высоких значений, зимой альbedo едва достигает 15-25 %, с локальными максимумами 30-35 %.

Особое внимание уделено исследованию широтного распределения альbedo для океана и суши, а также оценке вклада облачности в альbedo. Для этого была выбрана широтная зона в пределах от 60° ю.ш. до 60° с.ш. Широтные распределения облачности были получены путём осреднения данных проектов ISCCP, MODIS и EECRA и взяты нами из работы Чернокульского А.В. и Мохова И.И. (Сравнительный анализ характеристик глобальной и зональной облачности по различным спутниковым и наземным наблюдениям // Исследование Земли из космоса. 2010. № 3. С.12-29).

Для каждого широтного интервала с шагом  $10^\circ$  находилось среднеарифметическое значение трёх указанных рядов. Таким образом, были получены широтные распределения средних значений облачности по 13 значений, приведенные в таблице 1 и показанные на рис. 2 б. Величины альбедо усреднялись по тем же широтным интервалам, что и облачность.

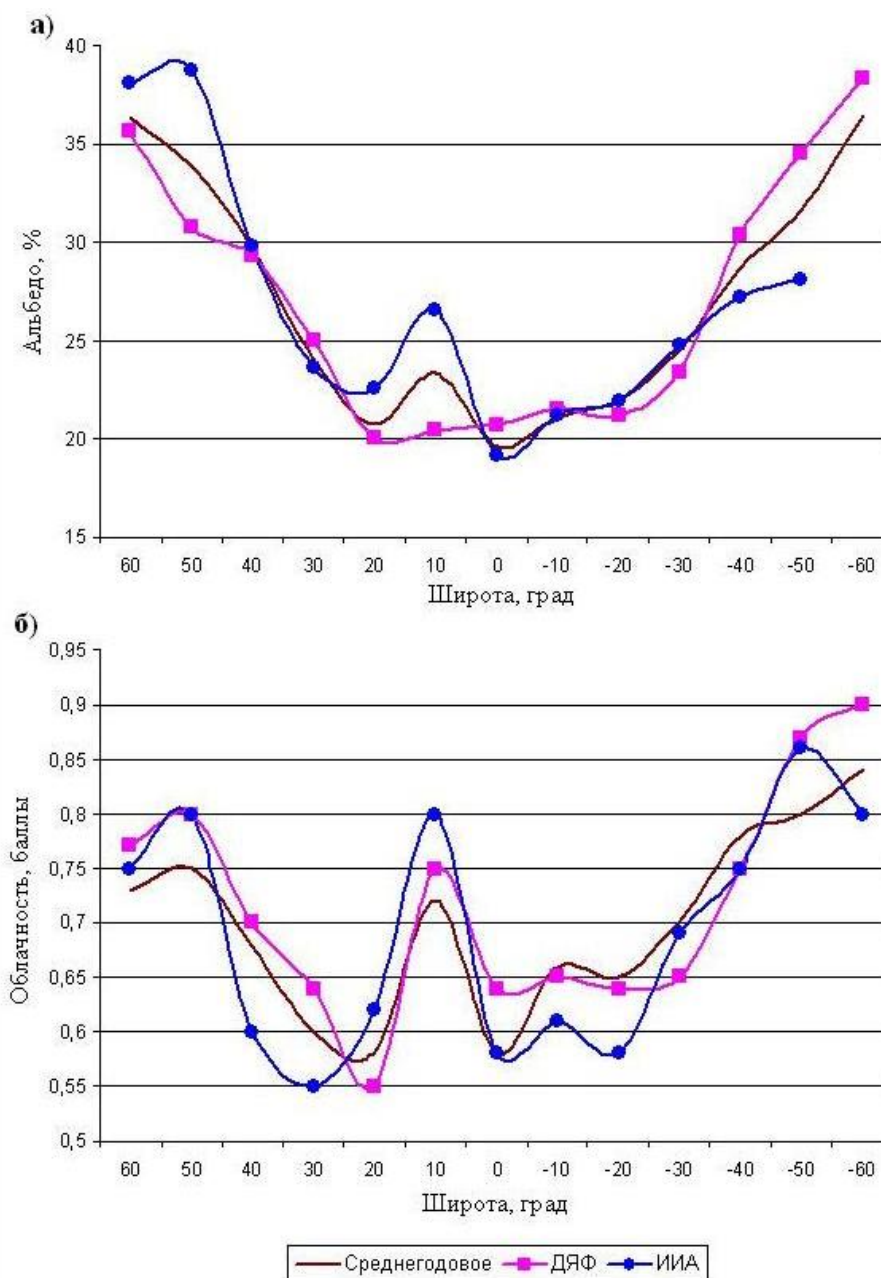


Рис. 2 Широтное распределение среднегодового и среднесезонных величин альбедо (а) и облачности (б) над океаном

Сравнения альбедо и облачности проводились отдельно для суши и океана, а также суши и океана в целом. Рассматривались среднегодовые и среднесезонные: летние (июнь, июль, август - ИИА) и зимние (декабрь, январь, февраль - ДЯФ) значения характеристик. В таблице 1 в качестве примера представлены широтные распределения альбедо и облачности над океаном, а на рис. 2 построены их графики.

Таблица 1

### Широтные распределения облачности и альбедо над океаном

Широта центра интервала, градусы	Облачность, баллы			Альбедо, %		
	Среднегодовые	ДЯФ	ИИА	Среднегодовые	ДЯФ	ИИА
60	0,73	0,77	0,75	36	36	38
50	0,75	0,80	0,80	34	31	39
40	0,68	0,70	0,60	30	29	30
30	0,60	0,64	0,55	24	25	24
20	0,58	0,55	0,62	21	20	23
10	0,72	0,75	0,80	23	20	27
0	0,58	0,64	0,58	20	21	19
-10	0,66	0,65	0,61	21	22	21
-20	0,65	0,64	0,58	22	21	22
-30	0,70	0,65	0,69	24	23	25
-40	0,78	0,75	0,75	29	30	27
-50	0,80	0,87	0,86	32	35	28
-60	0,84	0,90	0,80	36	38	Нет данных

В ходе сравнения распределений облачности и альбедо было выявлено наличие их высокой положительной корреляции для океана, ее меньшие значения для океана и суши в целом и сравнительно малая корреляция для суши. Высокое значение корреляции над океаном (в среднем за год

коэффициент линейной корреляции  $r = 0,80$ ) обусловлено тем, что его поверхность практически однородна и на величину альбедо может повлиять только наличие облачности. В меньшей степени на альбедо влияет волнение, так как при достаточно больших размерах ячейки влияние волн усредняется.

В течение года над океаном наблюдается заметное изменение значений коэффициента корреляции. Зимой он больше и равен 0,85, а летом уменьшается до значения 0,62.

Для океана и суши в целом коэффициент корреляции между альбедо и облачностью составляет в среднем за год 0,71, зимой 0,78 и летом 0,60. Значительный коэффициент корреляции обусловлен тем, что рассматриваемая широтная зона (от  $60^\circ$  ю.ш. до  $60^\circ$  с.ш.) на 74 % покрыта океанами, над которыми наблюдается большая корреляция между альбедо и облачностью.

Для суши значения коэффициента корреляции меньше и составляют: летом 0,46; зимой 0,42. Коэффициент корреляции для среднегодовых значений равен 0,20 и его малая величина связана с отсутствием значимой корреляционной зависимости облачности и альбедо весной и осенью. Облачность над сушей также вносит вклад в альбедо, но не является единственным фактором. Определенное влияние оказывают сезонные изменения альбедо подстилающей поверхности (формирование снежного и ледового покрова, изменения растительности и т.п.).

Известно, что при наличии линейной корреляции величин некоторая доля изменчивости одной величины будет определяться изменчивостью другой. Эта доля изменчивости характеризуется квадратом коэффициента корреляции. Так, вклад облачности в альбедо над океаном составляет 72 % зимой (при коэффициенте корреляции  $r = 0,85$ ), 38 % летом ( $r = 0,62$ ) и в среднем за год 64 % ( $r = 0,80$ ). Для суши и океана в целом вклад облачности в альбедо 61 % зимой ( $r = 0,78$ ), 36% летом ( $r = 0,60$ ) и в среднем за год 50 % ( $r$

= 0,71). Для суши вклад облачности не оценивался из-за малых значений корреляции.

Все результаты были представлены в виде докладов на научных школах, семинарах, конференциях международного, российского и регионального уровня, а также опубликованы в ведущих российских журналах и на сайте лаборатории исследования составляющих радиационного баланса Земли СГУ им. Н.Г. Чернышевского (<http://www.sgu.ru/structure/geographic/metclim/balans>).

На этом же сайте создан интернет-архив данных составляющих радиационного баланса Земли по данным ИСЗ «Метеор-М» № 1 и № 2 в виде карт глобально распределения. Оперативность размещения материалов позволяет заинтересованным структурам использовать данные в научно-практических целях.

Таким образом, из представленного краткого обзора видно, что выполнен большой объем теоретических и опытно-конструкторских разработок по проблеме исследований радиационного баланса Земли. В процессе работ по созданию аппаратуры получено 14 авторских свидетельств и патентов на изобретения, а также 4 программы для ЭВМ получили государственную регистрацию. В 2009 году опубликована монография [9].

Наибольший вклад в развитие исследований по тематике РБЗ внесли идейный руководитель и организатор исследований Скляр Юри́й Андре́евич (27 января 1931 - 19 июня 2014 гг) и следующие сотрудники: кандидаты наук Ю.И. Бричков, А.В. Предтеченский, А.И. Котума, Н.В. Семенова, ведущие специалисты В.К. Сахаров, С.А. Клочков, В.А. Воробьев, инженер Т.И. Кудряшова, большую помощь в работе группы оказывает заведующий лабораторией астрономии и геофизики НИИ МФ д.ф.-м.н. М.Б. Богданов. Понятно, что без внимания и огромной помощи специалистов и руководства

ряда саратовских предприятий выполнение таких работ не было бы возможным.

В настоящее время ведутся обширные исследования ряда специфических вопросов по теме радиационного баланса Земли, реакции земной климатической системы. Создание специализированной учебно-научной лаборатории исследования составляющих РБЗ существенно укрепит материально-техническую базу для дальнейшего развития исследований. Лаборатория исследования РБЗ может служить базой для работы аспирантов, студентов, выполнения курсовых работ, прохождения практики студентами университета.

## **Методика построения карт распределения среднемесячных величин альбедо**

Приём данных информации с ИСЗ «Метеор-М» № 1 производился в Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ). Дважды в сутки производилась передача со спутника и декодирование этой информации, после чего информация записывалась на FTP-сервер НЦ ОМЗ (<ftp://ftp.ntsomz.ru>) в виде заархивированных двоичных файлов, с данными ИКОР, которые являются данными нулевого уровня обработки. Доступ к этому серверу производится только авторизованными пользователями. Каждый такой архивный файл содержит двоичный файл (размером порядка 600 килобайт) с «сырыми» данными аппаратуры ИКОР, которые содержат информационные кадры ИКОР, включающие в себя показания измерений уходящей коротковолновой радиации, температуру прибора и дополнительную служебную информацию с частотой - 1 измерение в секунду. В каждом файле записана информация приблизительно за сутки работы спутника, а каждый следующий файл данных включает приблизительно 50 % информации от предыдущих суток, обеспечивая её перекрытие. На этом сервере доступны телеметрические данные в виде заархивированных текстовых файлов, в которых содержатся: бортовое время (посекундное), а также соответствующие этому времени широта и долгота подспутниковой точки, высота ИСЗ. Каждый такой текстовый файл обычно содержит в себе данные за 5-7 суток, а его размер составляет приблизительно 30 – 50 Мегабайт.

Поступающие в НЦ ОМЗ «сырые» данные обрабатываются при помощи разработанного специалистами Саратовского госуниверситета программного обеспечения (ПО). На первом этапе обработки с помощью ПО «SSU\_Decoder» [2], производится декодирование данных, записанных на ИСЗ при помощи «Блока накопления данных», который разработан специалистами СКБ КП ИКИ и отвечает за накопление гелиогеофизических данных на



спутнике, т.е. разбирает информационные кадры «Блока накопления данных», проверяет их соответствие контрольным суммам (при необходимости). Затем, производится первичная отбраковка данных, декодируются информационные кадры радиометра ИКОР, которые сортируются в хронологическом порядке при сбоях, связанных с помехами при передаче данных со спутника, а также производится привязка всех измерений ИКОР к бортовым дате и времени. В результате обработки формируется текстовый файл (размером около 6 Мегабайт) в котором содержится следующая ежесекундная информация: номер информационного кадра блока накопления данных, номер информационного кадра радиометра ИКОР, бортовые дата и время каждого измерения, номер пакета данных ИКОР, результаты измерения потока отражённой коротковолновой радиации и температуры прибора.

Для дальнейшего использования на втором этапе обработки данных производится привязка каждого измерения к телеметрической информации. Для этих целей в Саратовском госуниверситете была разработана программа «CoordReader», которая считывает файлы данных первого уровня обработки и телеметрические данные (файлы с бортовым временем, координатами подспутниковой точки и текущей высотой спутника), затем для каждого измерения ИКОР производится поиск соответствующих ему телеметрических данных, осуществляется привязка данных к Гринвичскому времени. Эти данные сохраняются в виде двоичных файлов в банк данных. Каждый такой файл содержит в себе одни сутки (с 00:00 до 23:59 по гринвичскому времени) ежесекундных измерений, а его размер за каждые сутки составляет приблизительно 2,7 Мегабайта. Банк данных представляет собой автоматически формируемый и структурированный набор каталогов и файлов данных, а также дополнительных файлов, содержащих вспомогательную информацию о хранимой в банке данных информации для удобства анализа и доступа к данным.

Третий этап обработки данных производится с помощью ПО «IKOR Archive Viewer for Meteor-M Satellite», которое использует в качестве источника банк данных, формируемый на предыдущем этапе. На этом этапе производится получение мгновенных физических величин УКР и альbedo, привязанных к уровню верхней границы атмосферы (ВГА). Затем производится расчет среднесуточных и среднемесячных величин альbedo, поскольку они являются климатологически значимыми. Альbedo практически всех сцен имеют большую зависимость от величины зенитного угла Солнца (ЗУС). Измерение производится при конкретном значении ЗУС, а над любой площадкой в течение суток (от восхода до захода Солнца) величина ЗУС изменяется в широких пределах. Для учёта этого «суточного фактора» была разработана методика при расчете среднесуточного значения альbedo из мгновенных величин альbedo. Данная методика подробно изложена в следующих работах [4, 10, 14, 15, 20].

Для их предварительного просмотра и анализа в ПО имеется возможность просмотра мгновенных данных (рис. 3). Для этого, выбираются необходимые сутки, затем в окне просмотра суточных данных отображается любой выбранный виток. На рис. 3 красной линией на фоне карты Земли изображен выбранный виток (построенный по координатам подспутниковой точки). На этой линии можно выбрать любую конкретную точку измерения, которая отображается фиолетовым эллипсом, соответствующим по форме и размерам полю зрения ИКОР. Для данной (текущей) точки также рассчитывается и отображается текущее положение подсолнечной точки (на карте подсолнечная точка изображена в виде красной точки). Под картой располагается график температуры прибора (синяя линия), умноженной на 10 (чтобы шкала измерений ИКОР и шкала температуры совпадали) и график «сырых» показаний прибора на уровне ИСЗ, на котором желтым цветом показана текущая выбранная точка, для которой в отдельном окне приведены мгновенные данные уходящей коротковолновой радиации и альbedo на уровне

ВГА, а также прочие вспомогательные параметры. График под картой соответствует не долготам на карте, а времени от начала текущего витка. Также для удобства анализа программное обеспечение «IKOR Archive Viewer for Meteor-M Satellite» позволяет произвольным образом увеличить анализируемую область, как на карте, так и на графике, что позволяет изучить каждый конкретный ежесекундный отсчет. Так на рис. 4 видно, что график измерений состоит из дискретных точек с возможностью выбора в качестве текущей (крупная желтая точка на рис. 4) любой из них. При смене текущей точки также перерисовывается соответствующее ей поле зрения ИКОР на карте.

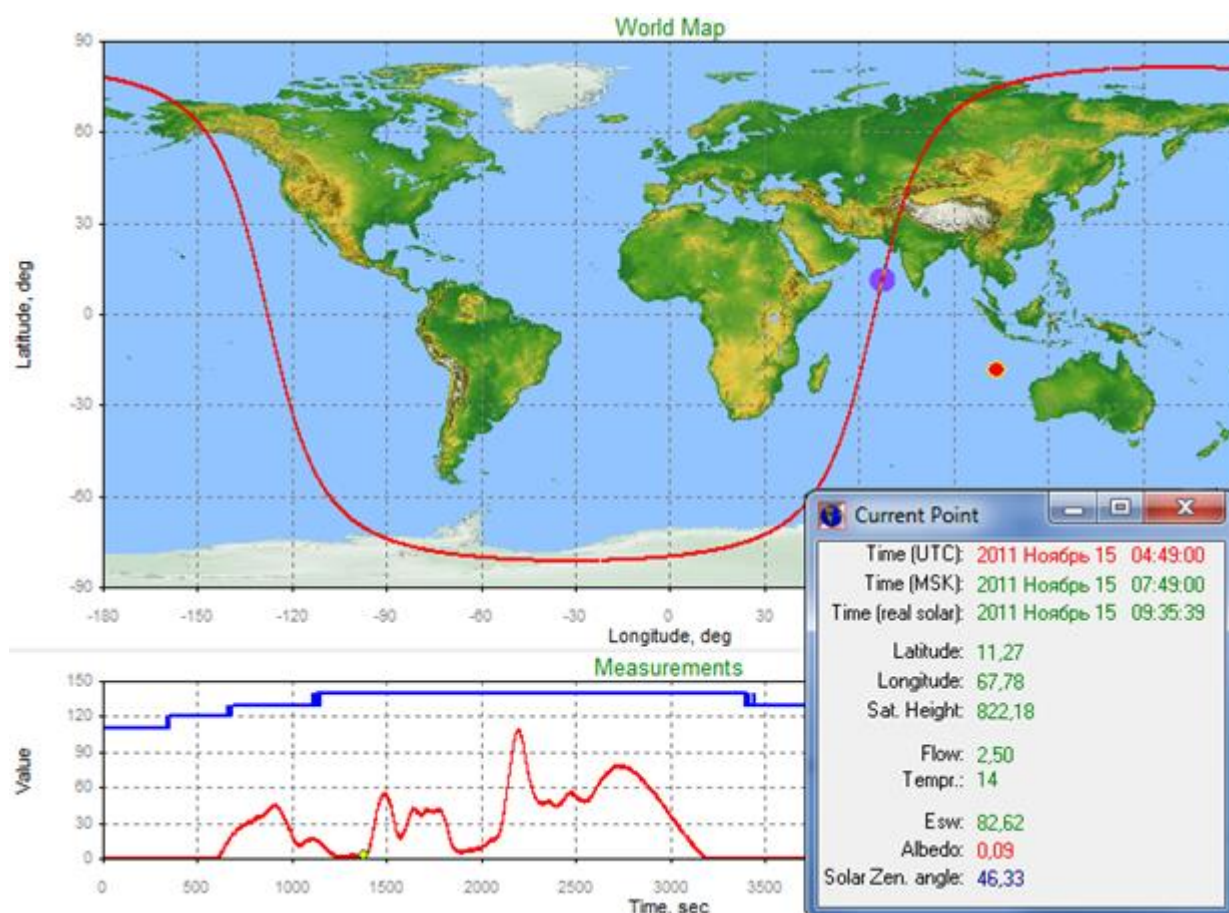


Рис. 3 Форма отображения мгновенных данных за конкретный виток ИСЗ.

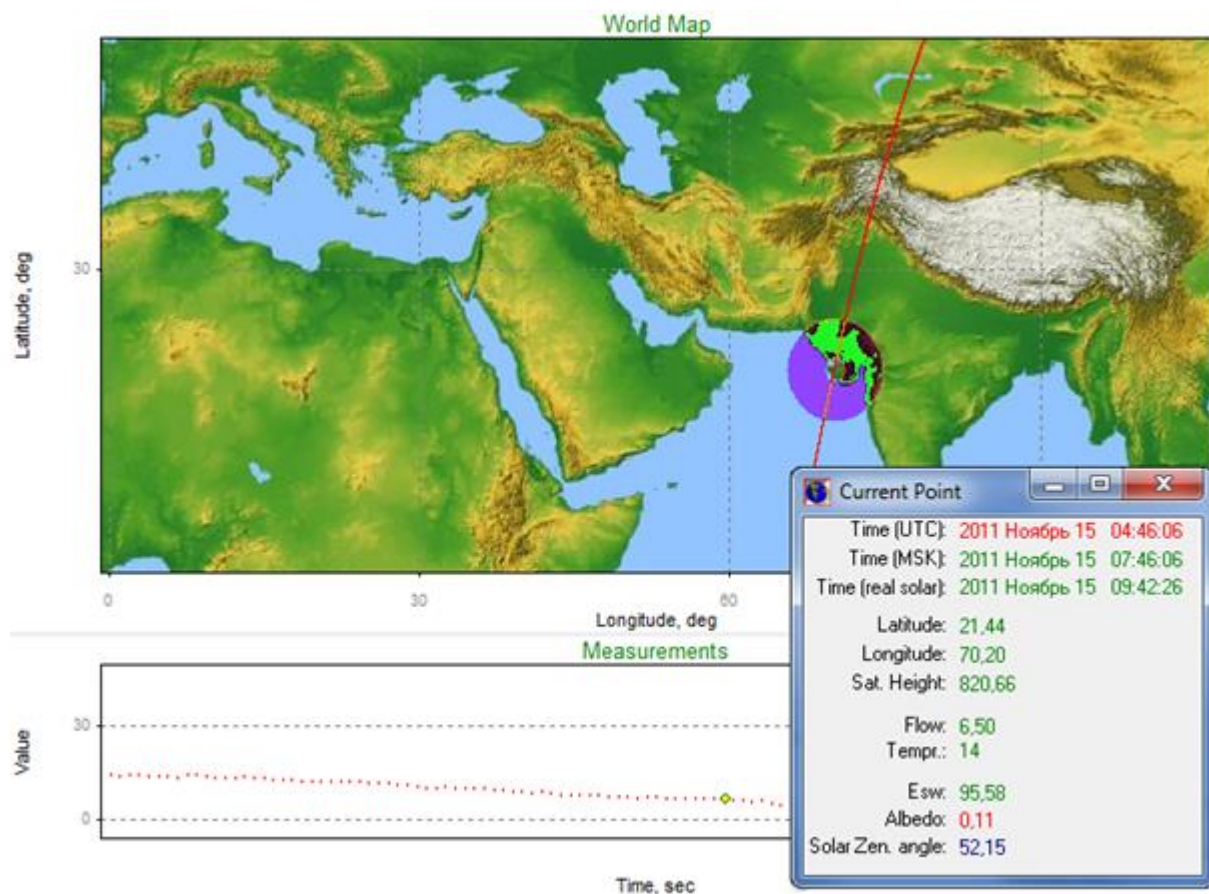


Рис. 4 Форма отображения мгновенных данных. Анализ ежесекундных измерений.

На данном этапе обработки также производится расчет среднемесячных данных уходящей коротковолновой радиации, альbedo и поглощенной радиации на уровне ВГА. Для этого, используется массив ячеек равных по площади, на которые разбивается вся поверхность Земли. Для этих целей применяется сетка с ячейками 2,5 x 2,5 град. (около экватора), представленная на рис. 5.

Ячейки равны по площади, на рис. 5 «растягивание» ячеек по долготе с ростом широты объясняется искажением проекции карты Меркатора. С увеличением широты количество ячеек в каждой широтной зоне уменьшается. Далее ПО анализирует все мгновенные измерения в течение месяца и определяет к какой ячейке относится центр поля зрения данного мгновенного измерения.

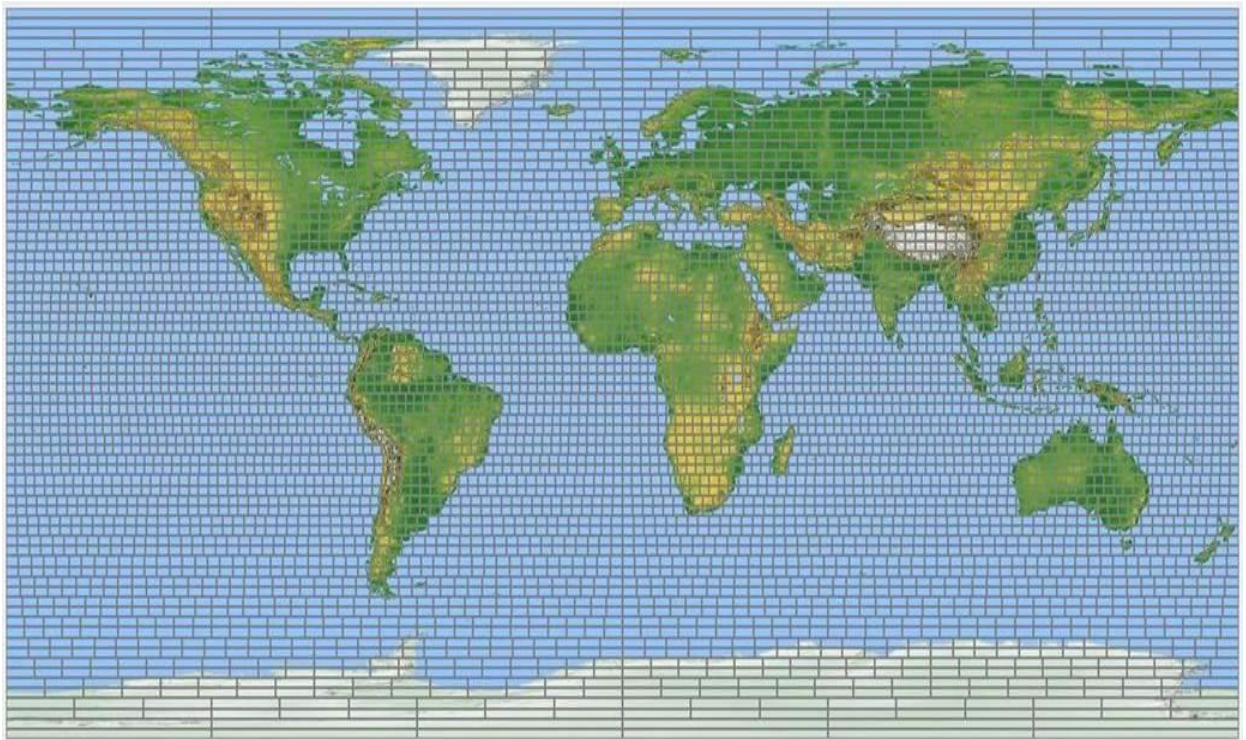
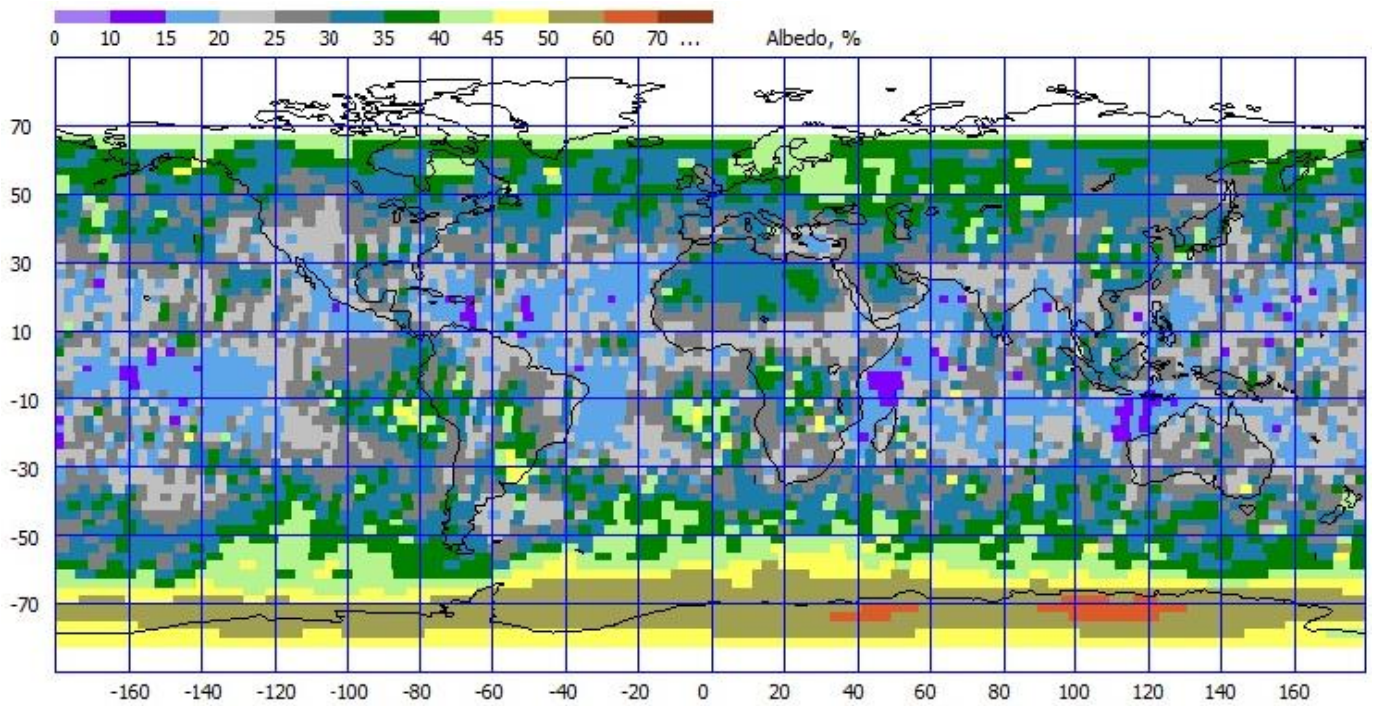


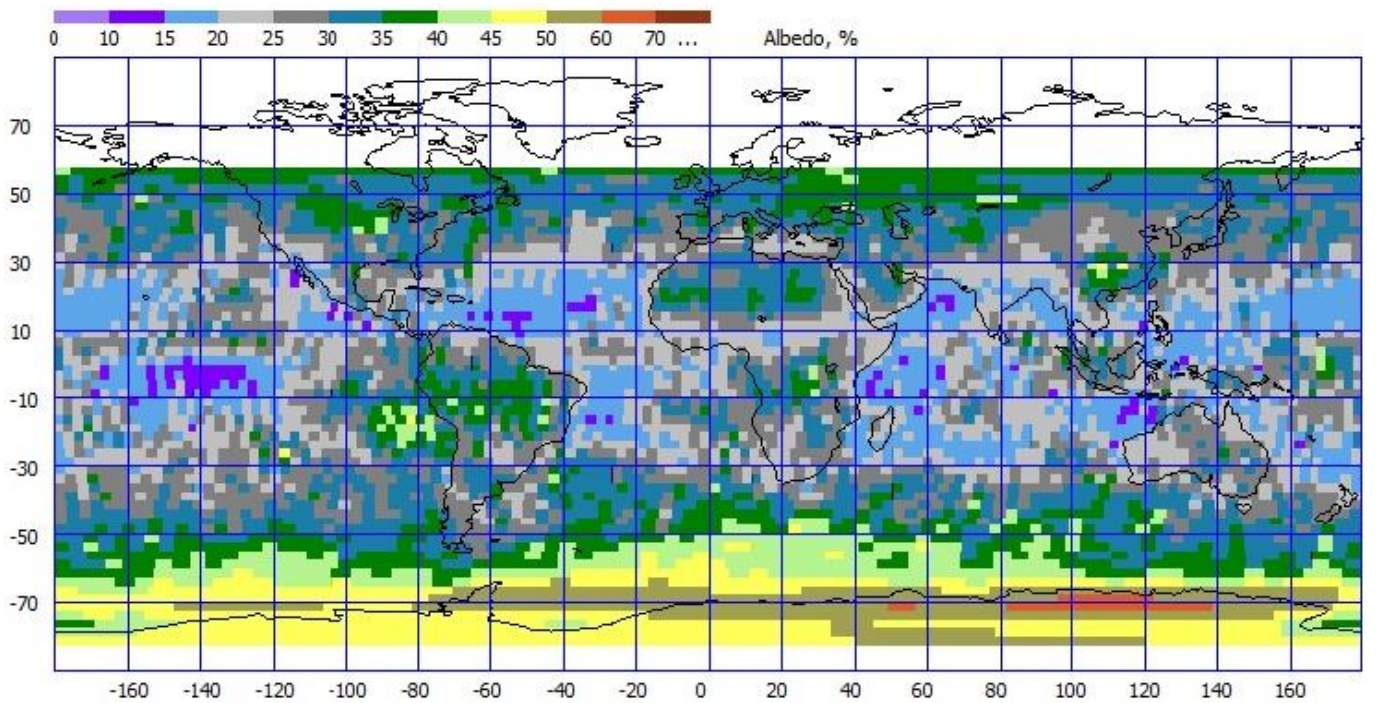
Рис. 5 Карта с нанесением сетки ячеек размером 2.5 x 2.5 градусов

В результате, для каждой ячейки накапливается массив мгновенных измерений, которые затем усредняются за месяц. Здесь используется свойство гелиосинхронного ИСЗ. В сутках не укладывается целого числа витков, поэтому первый виток новых суток начинается либо раньше, либо позже завершения суток. Это приводит к сдвигу всей системы витков так, что через несколько дней второй виток оказывается на месте первого и т.д. Для ИСЗ «Метеор-М» № 2 этот период равен 4,67 суток, так что при осреднении наблюдений за месяц угловое расстояние между витками ( $27,3^\circ$  на экваторе) покрывается 5,4 раза. В качестве среднего принимается средний результат всех мгновенных ежесекундных отсчётов, центры полей зрения которых попадают в каждую конкретную ячейку. Этим автоматически учитывается месячный ход склонения Солнца и изменений расстояния Земля-Солнце. В итоге, получаются среднемесячные данные по ячейкам для потоков отраженной солнечной радиации и среднесуточных альбедо.

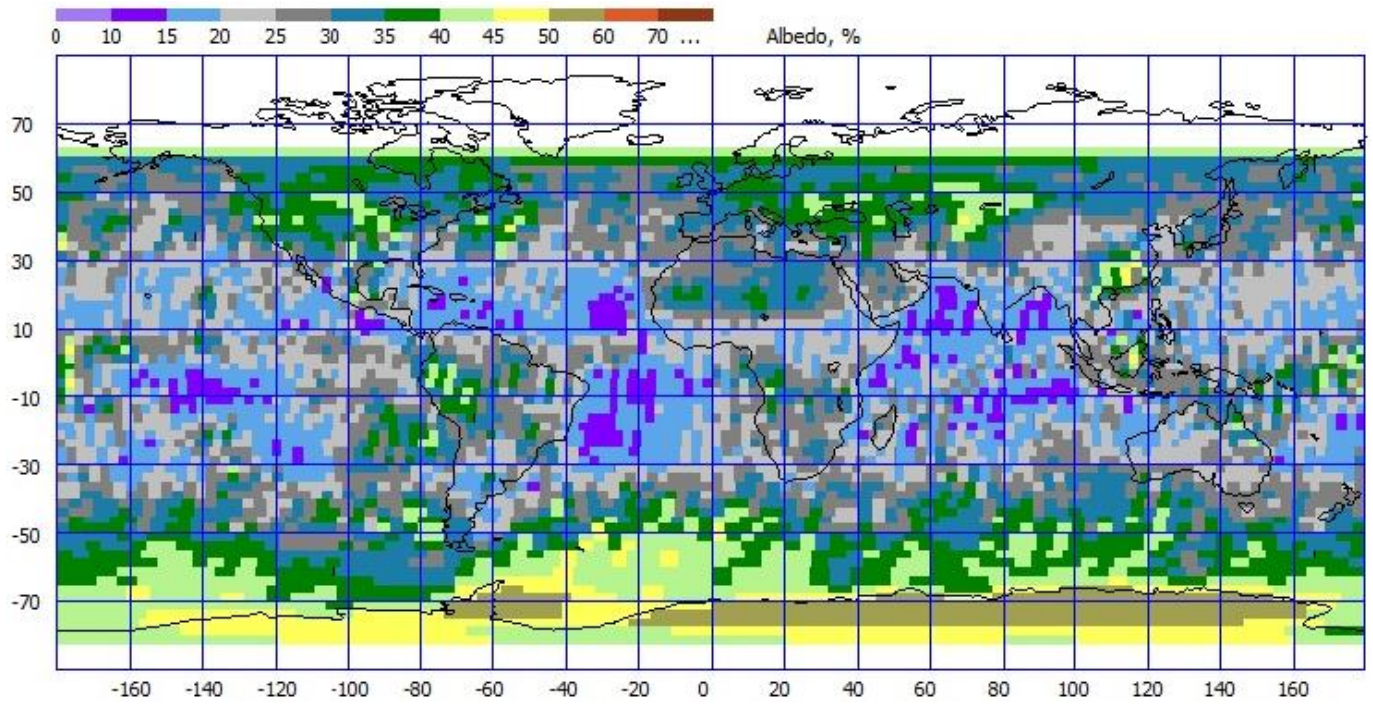
Ноябрь 2009 года



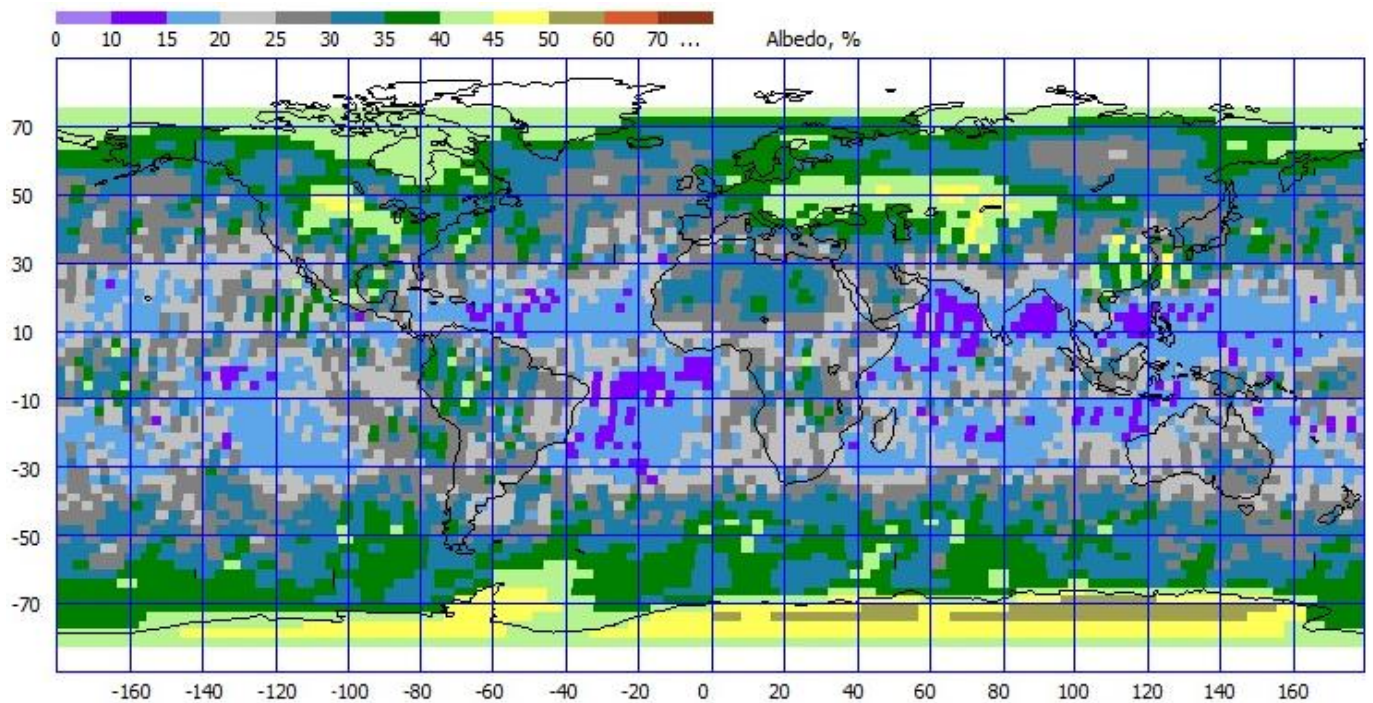
Декабрь 2009 года



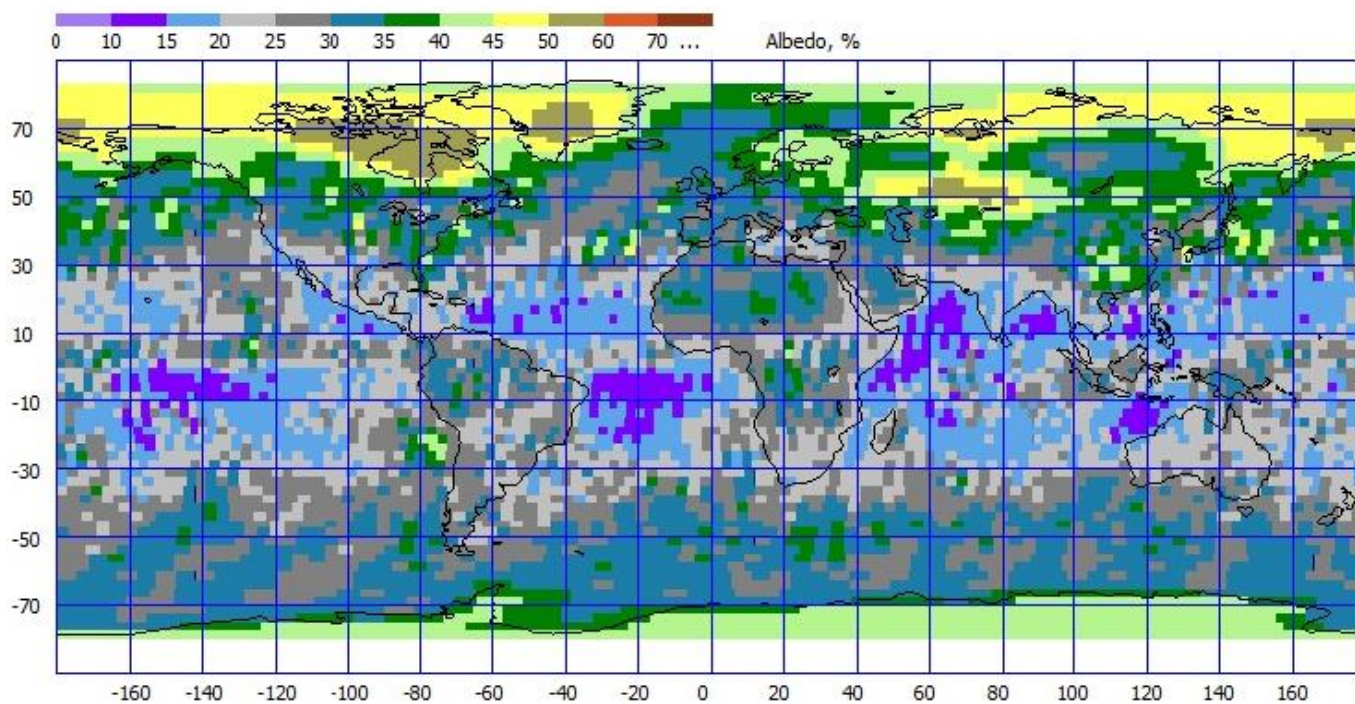
Январь 2010 года



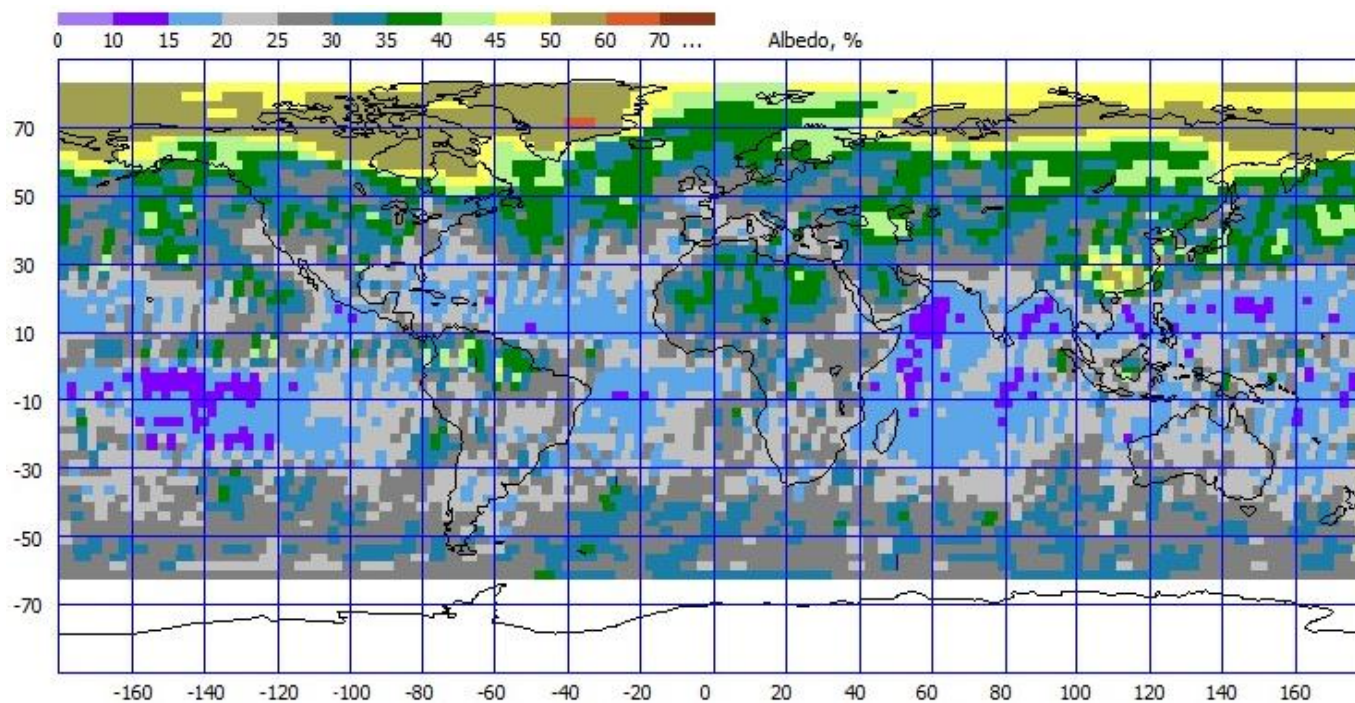
Февраль 2010 года



Март 2010 года

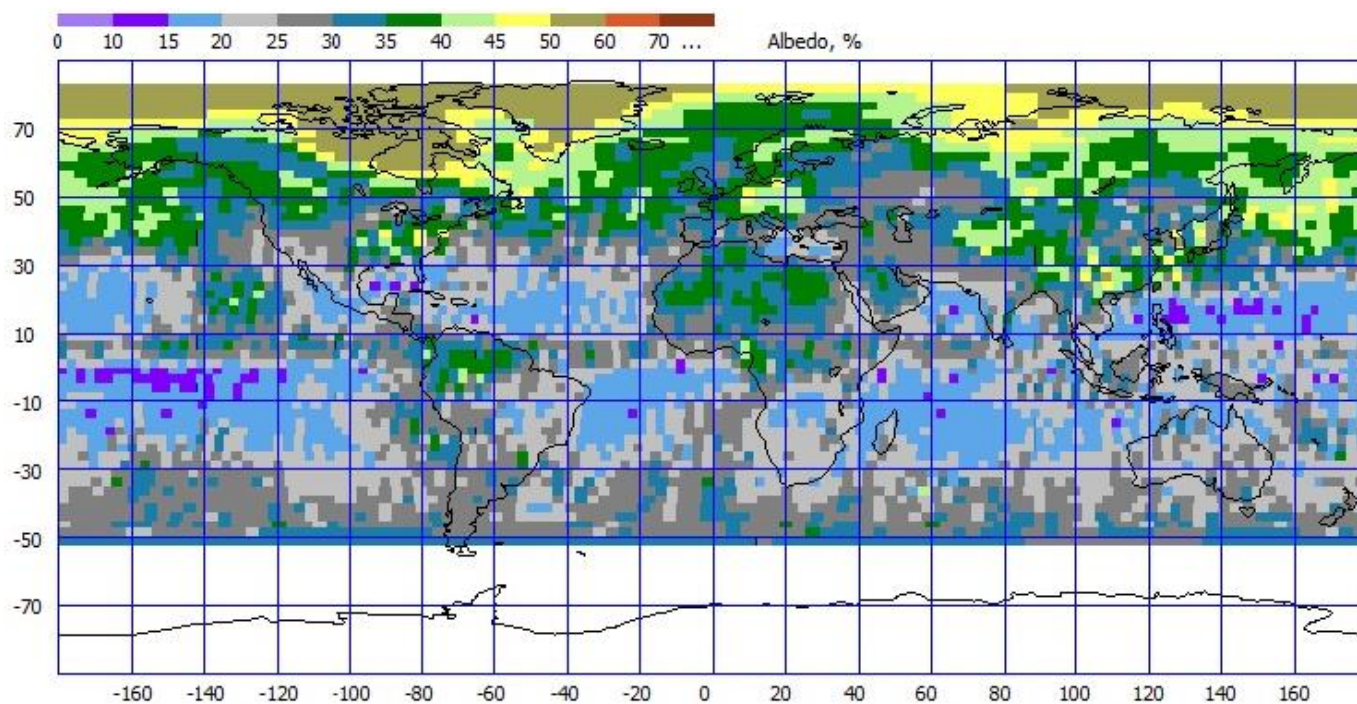


Апрель 2010 года

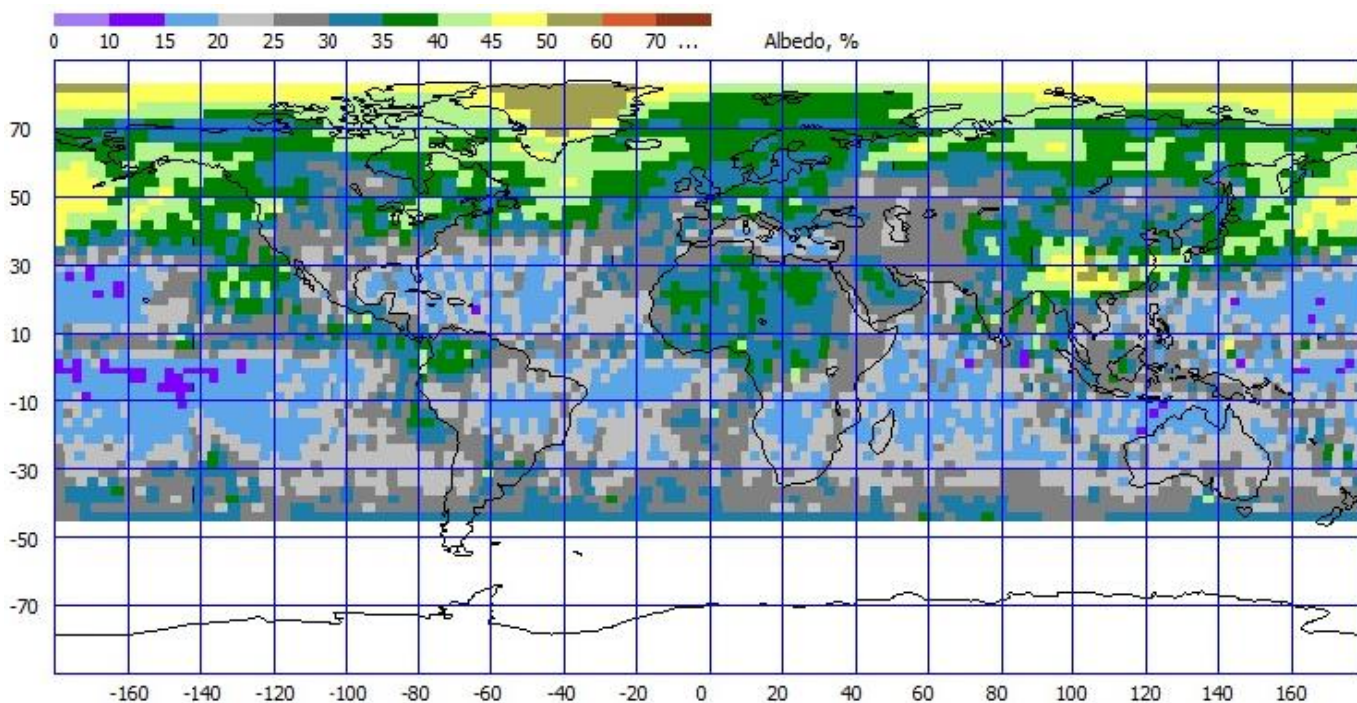




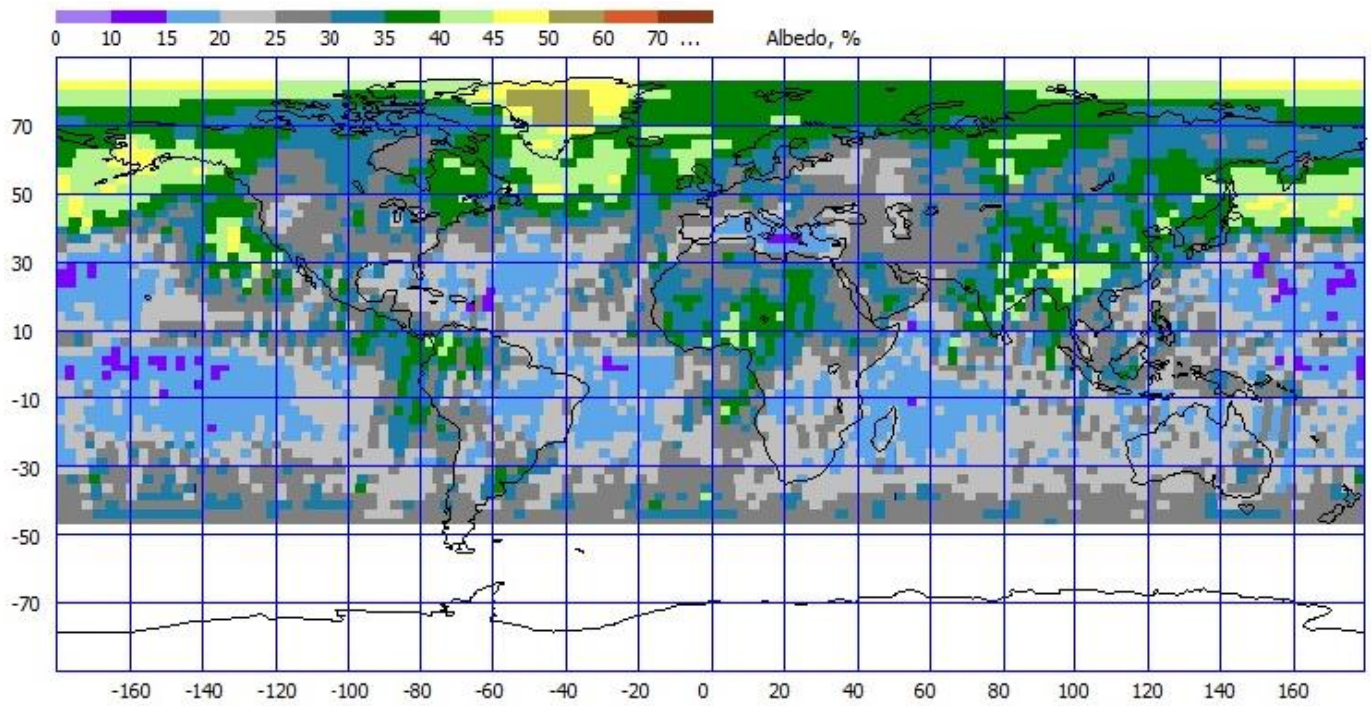
Май 2010 года



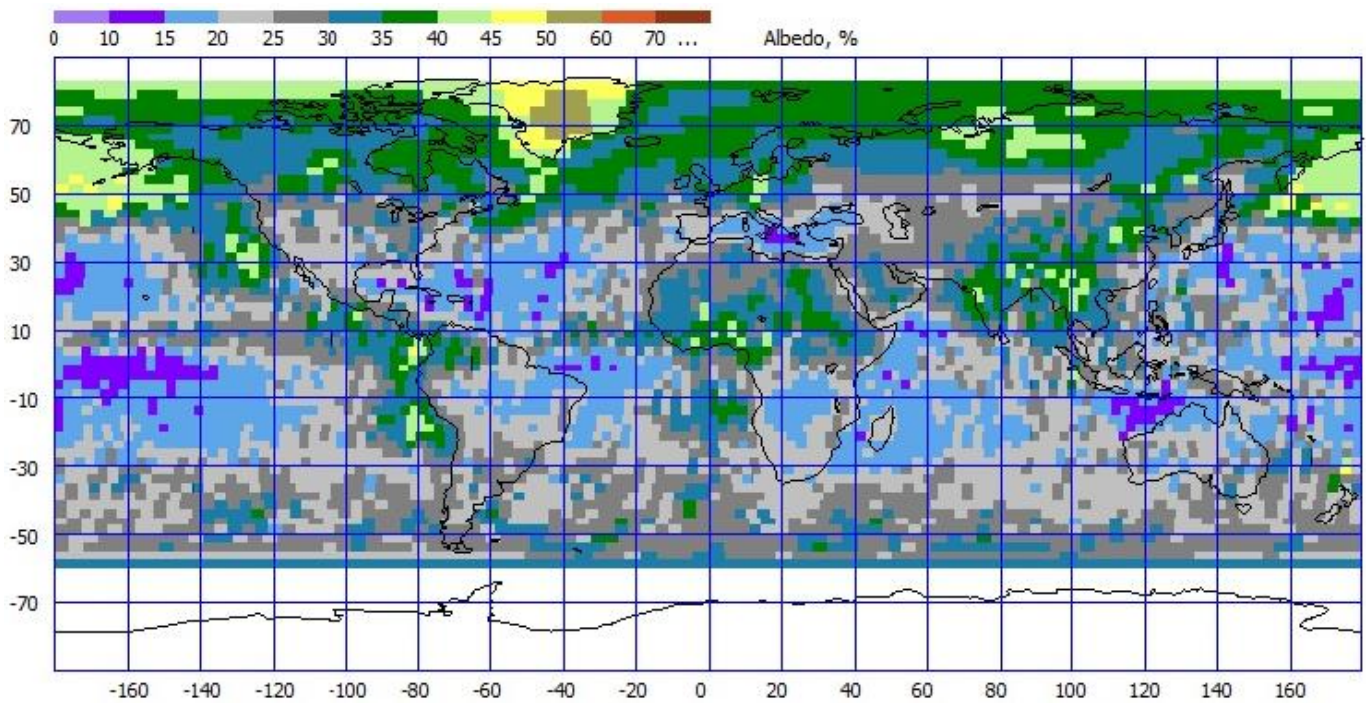
Июнь 2010 года



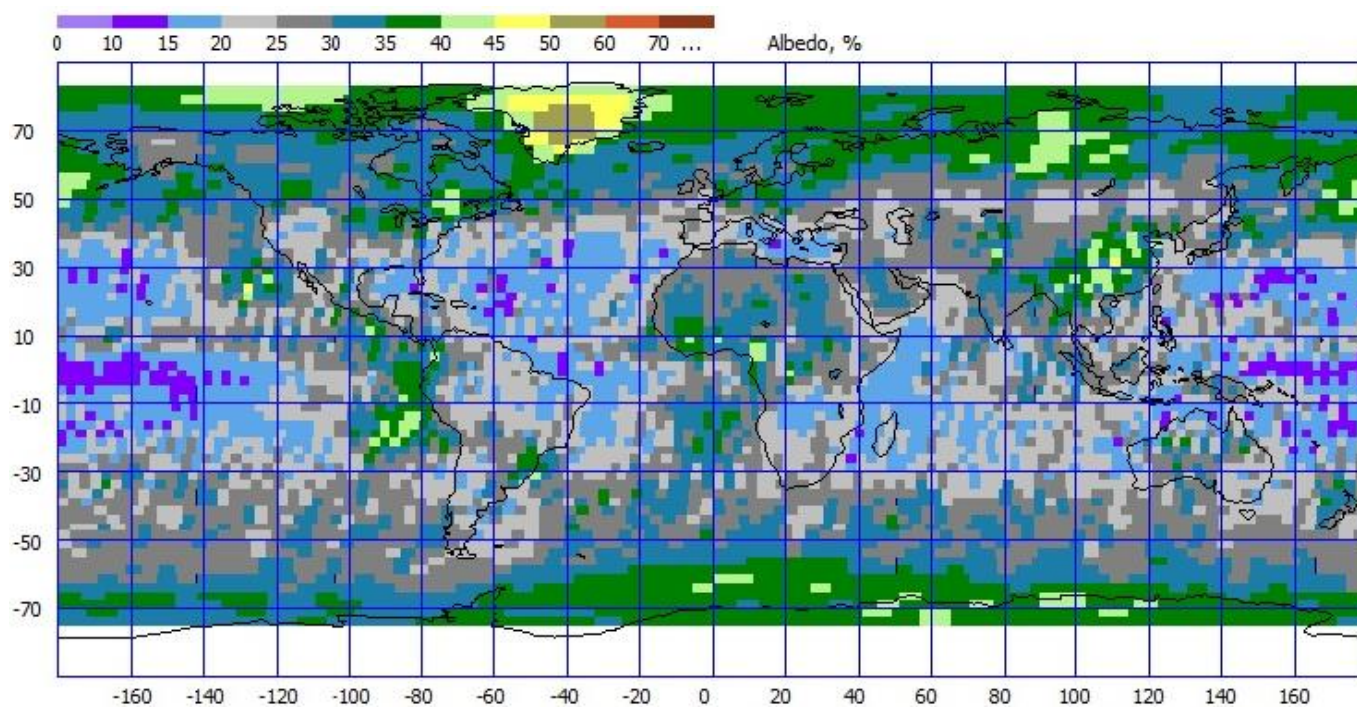
Июль 2010 года



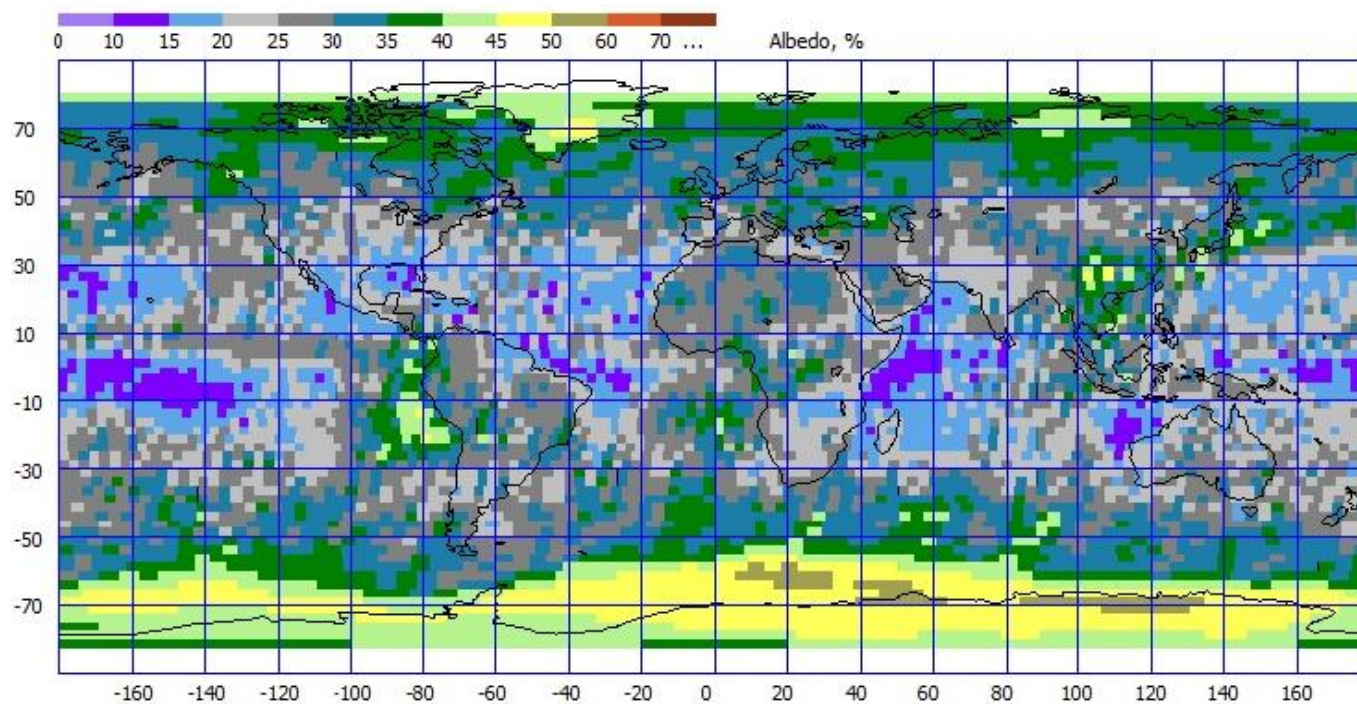
Август 2010 года



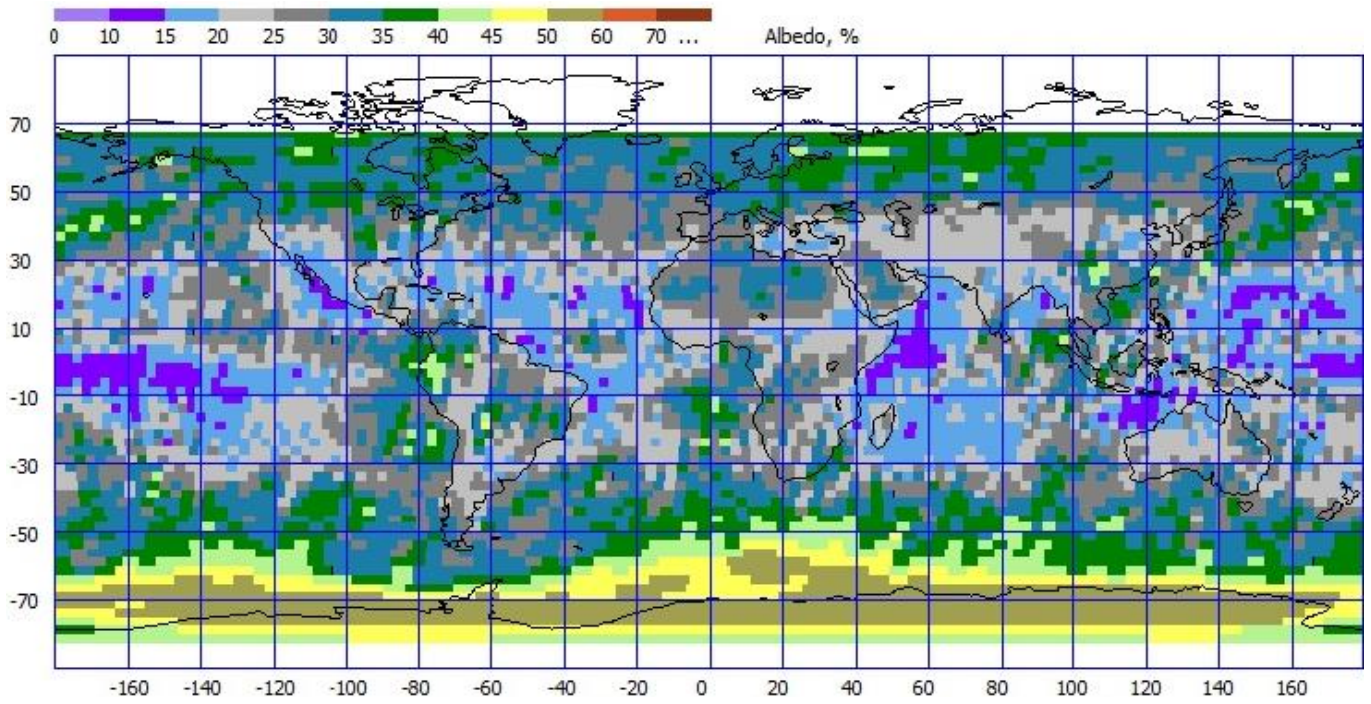
Сентябрь 2010 года



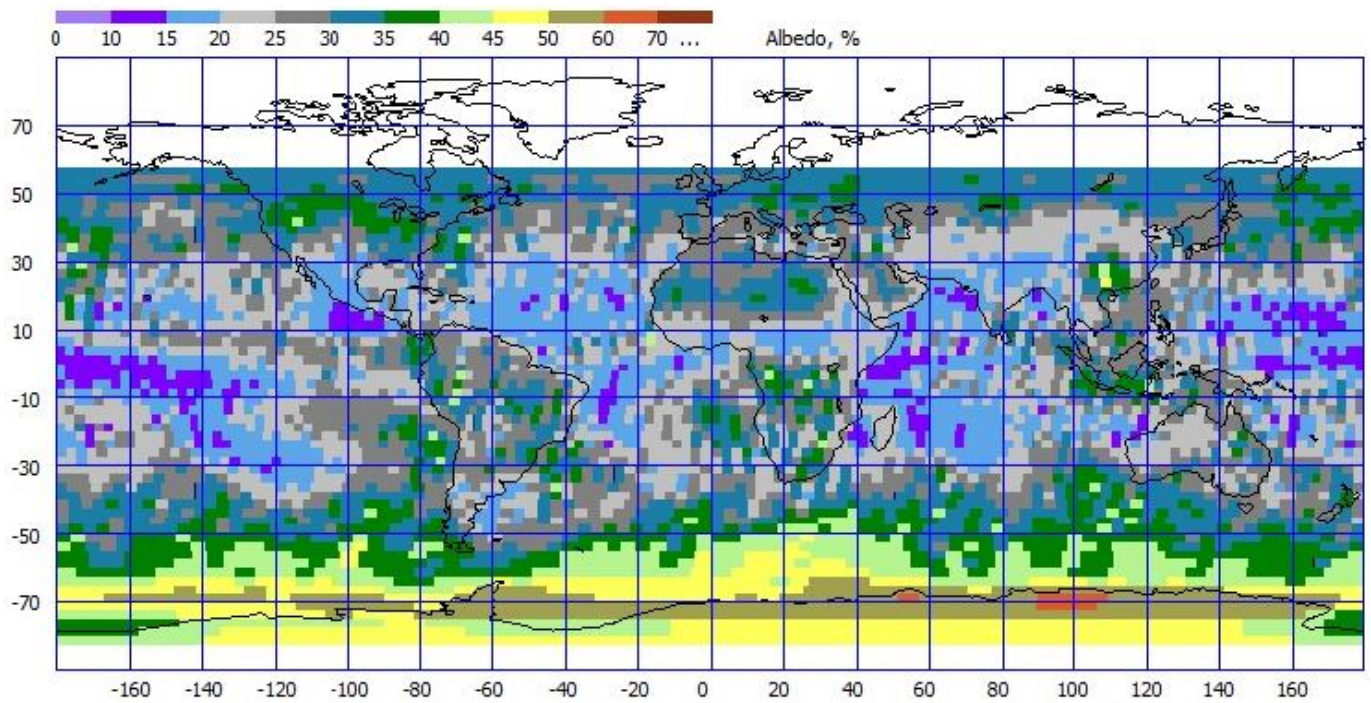
Октябрь 2010 года



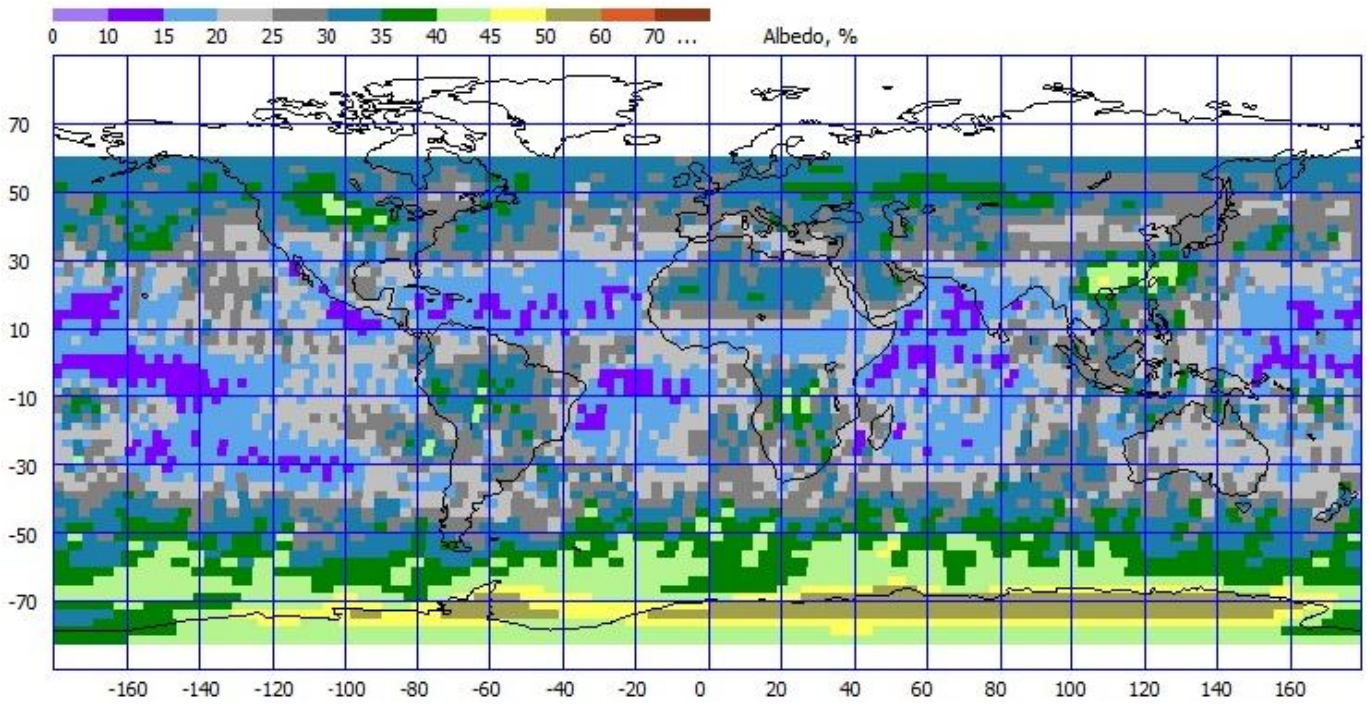
Ноябрь 2010 года



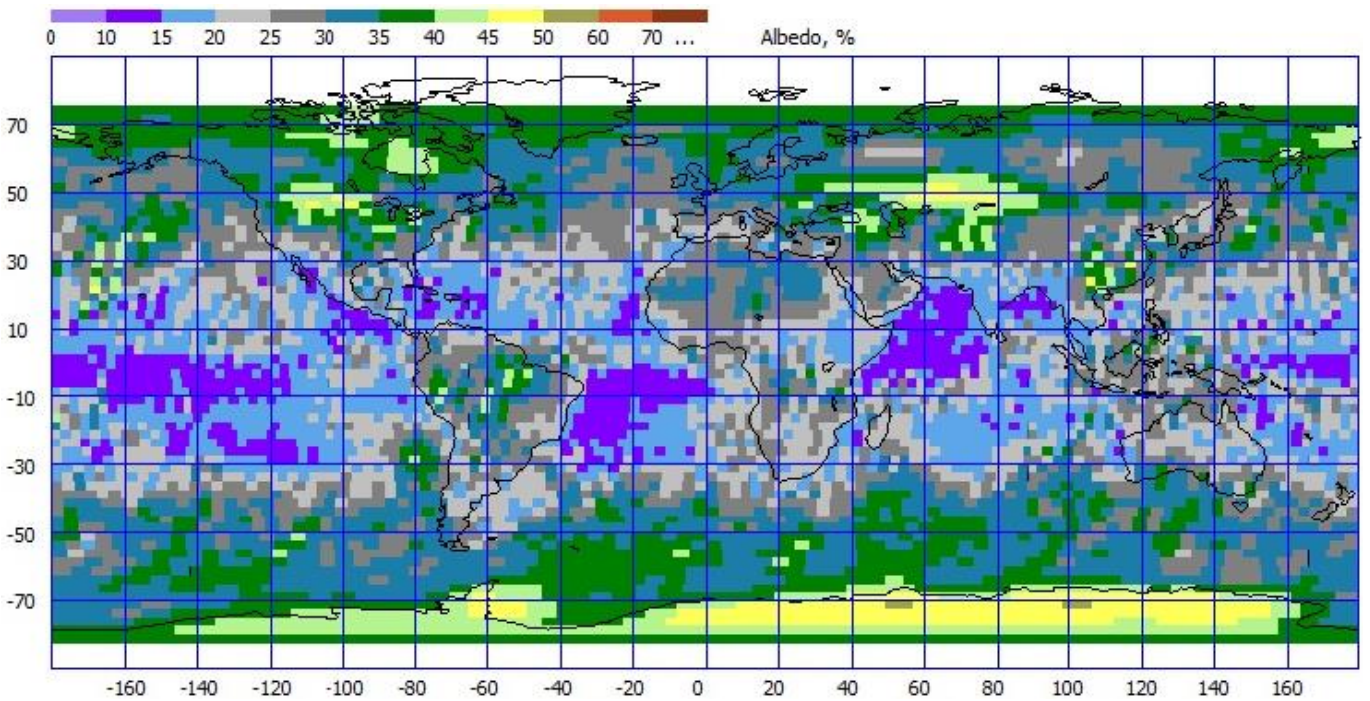
Декабрь 2010 года



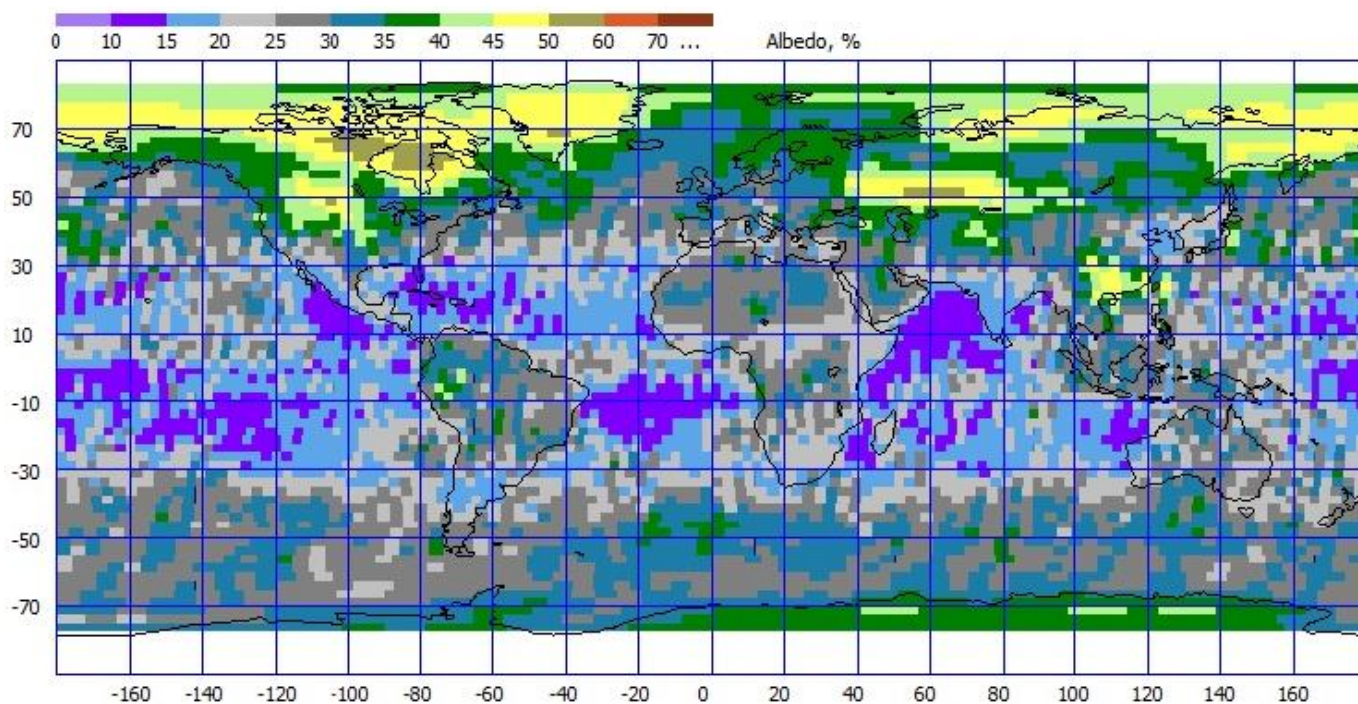
Январь 2011 года



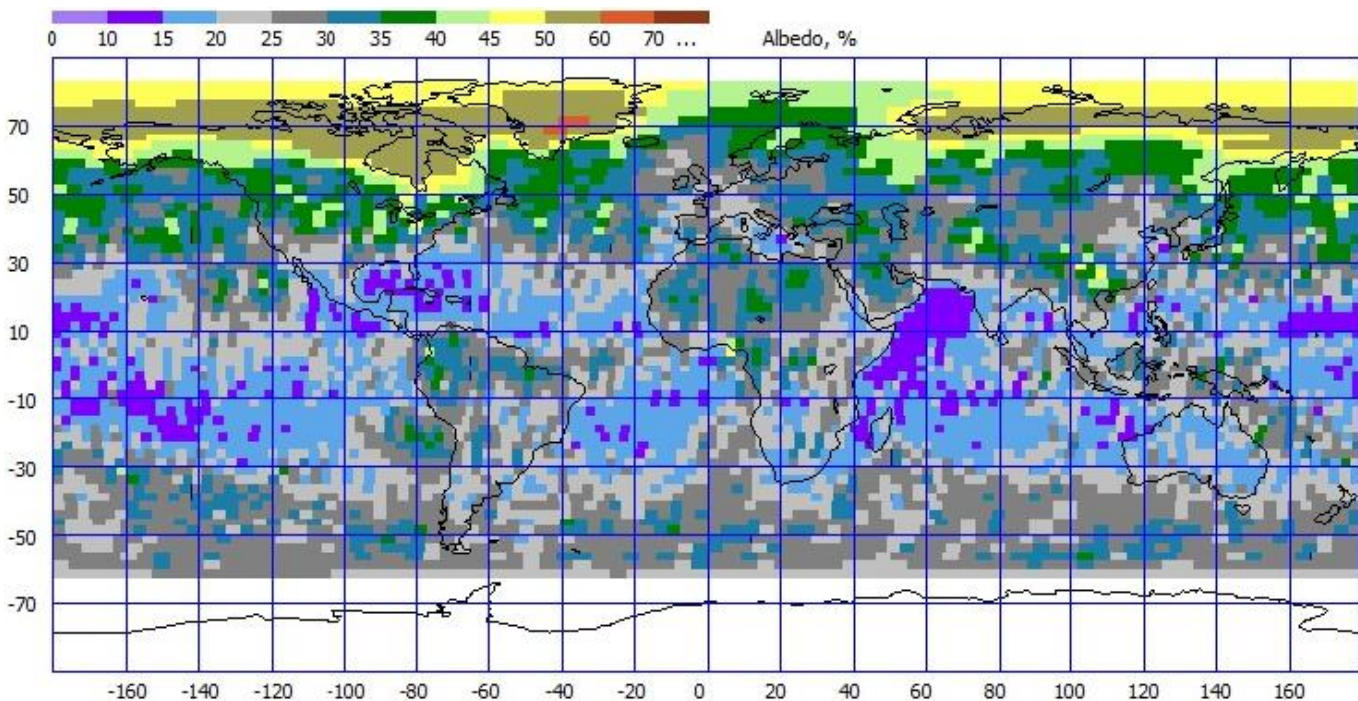
Февраль 2011 года



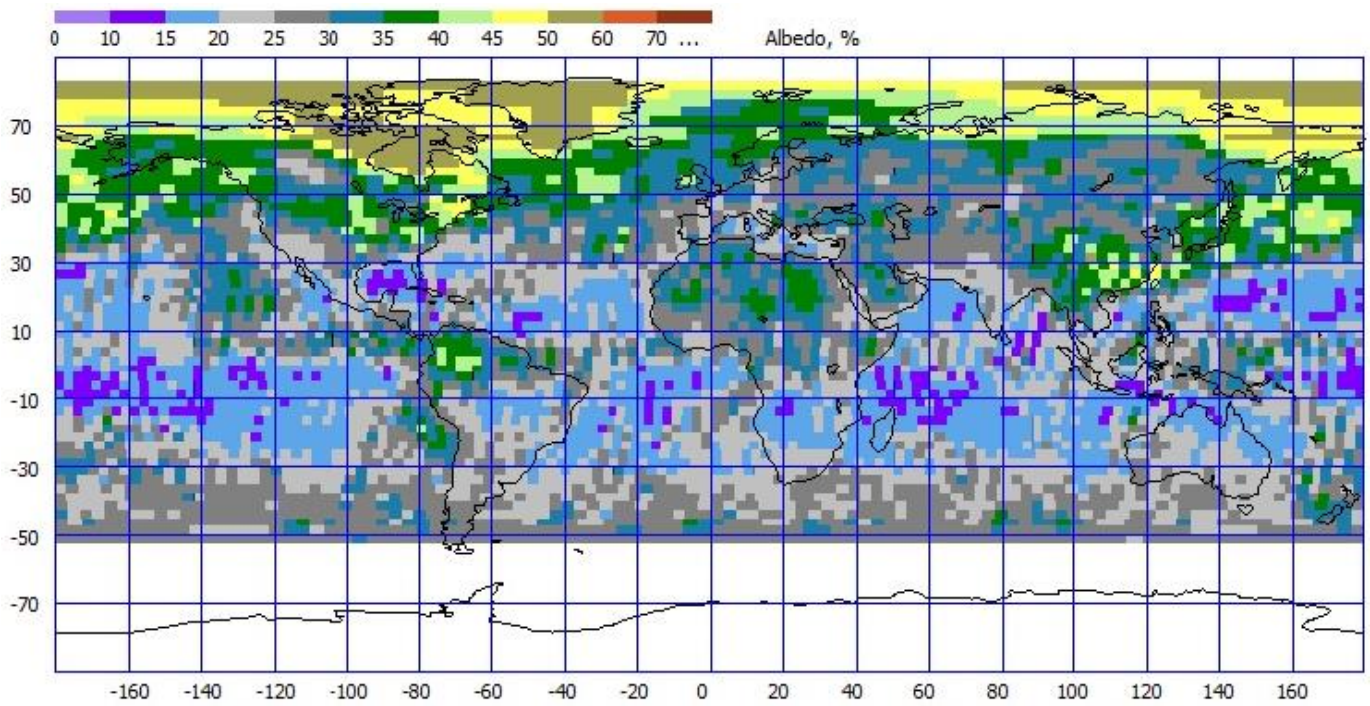
Март 2011 года



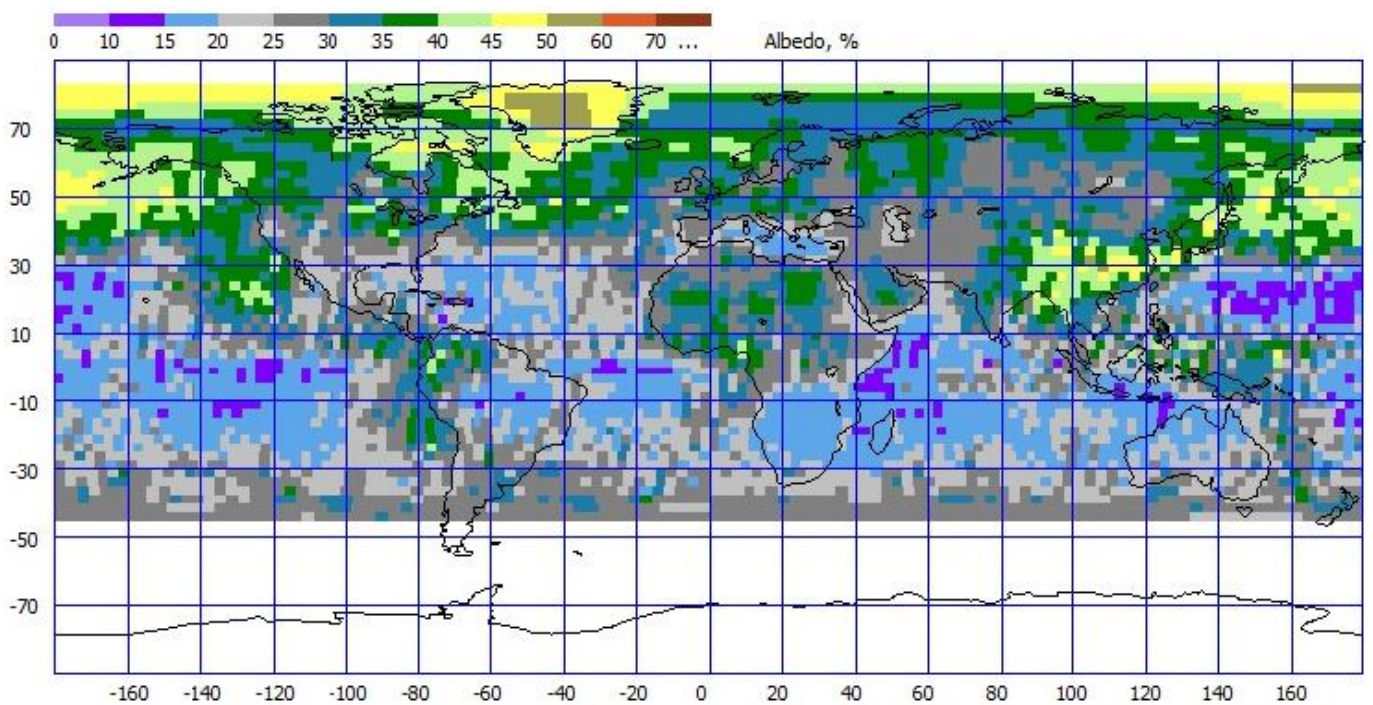
Апрель 2011 года



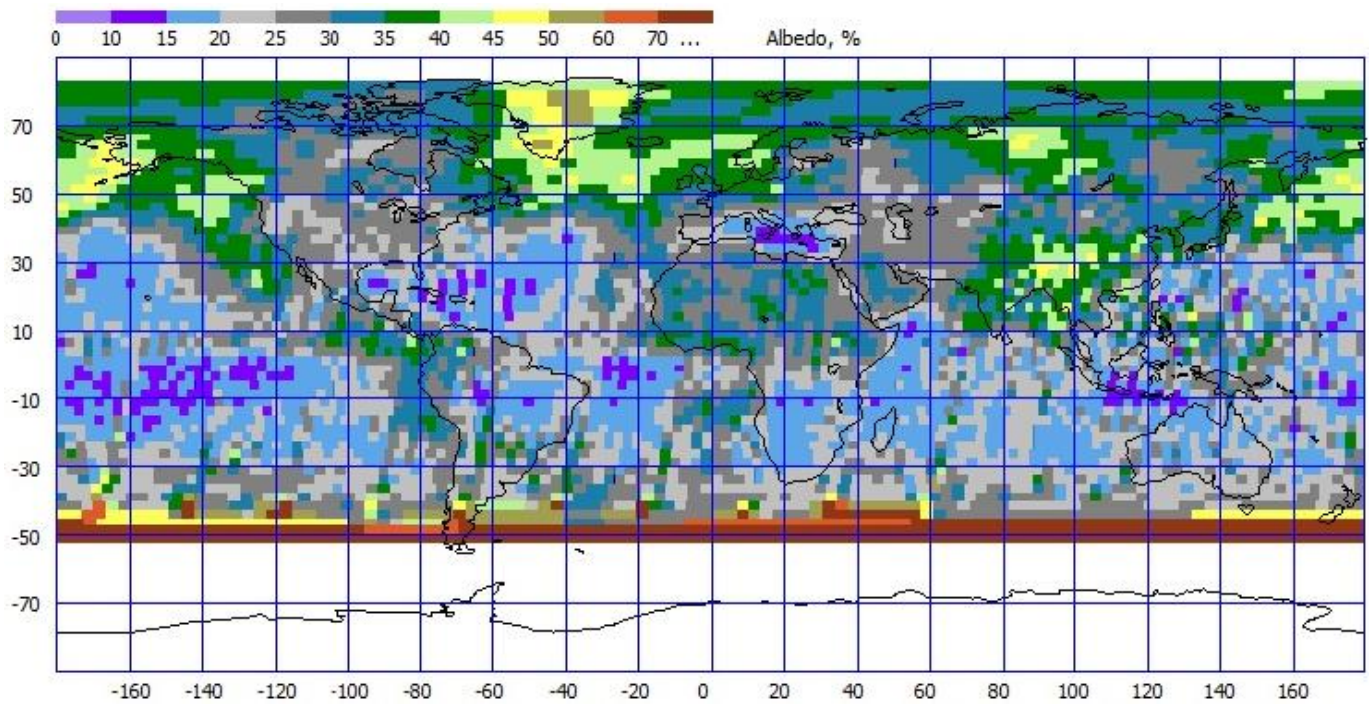
Май 2011 года



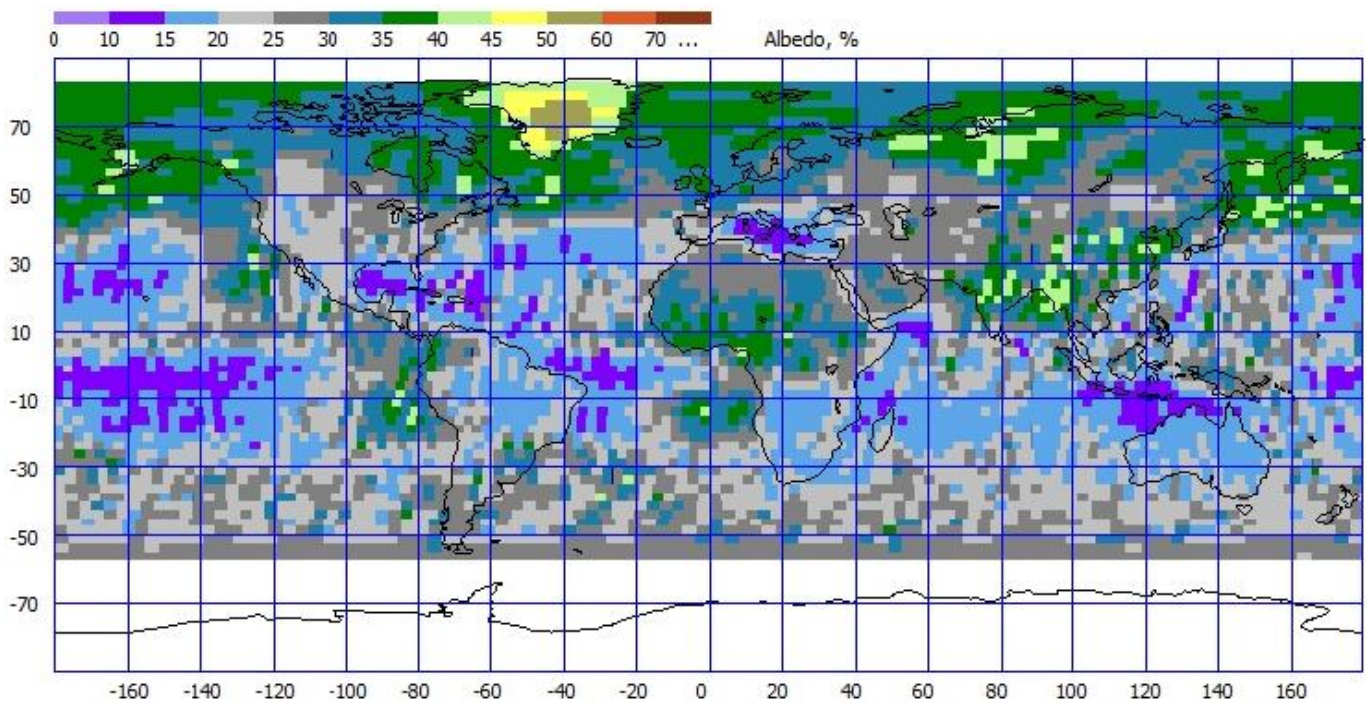
Июнь 2011 года



Июль 2011 года

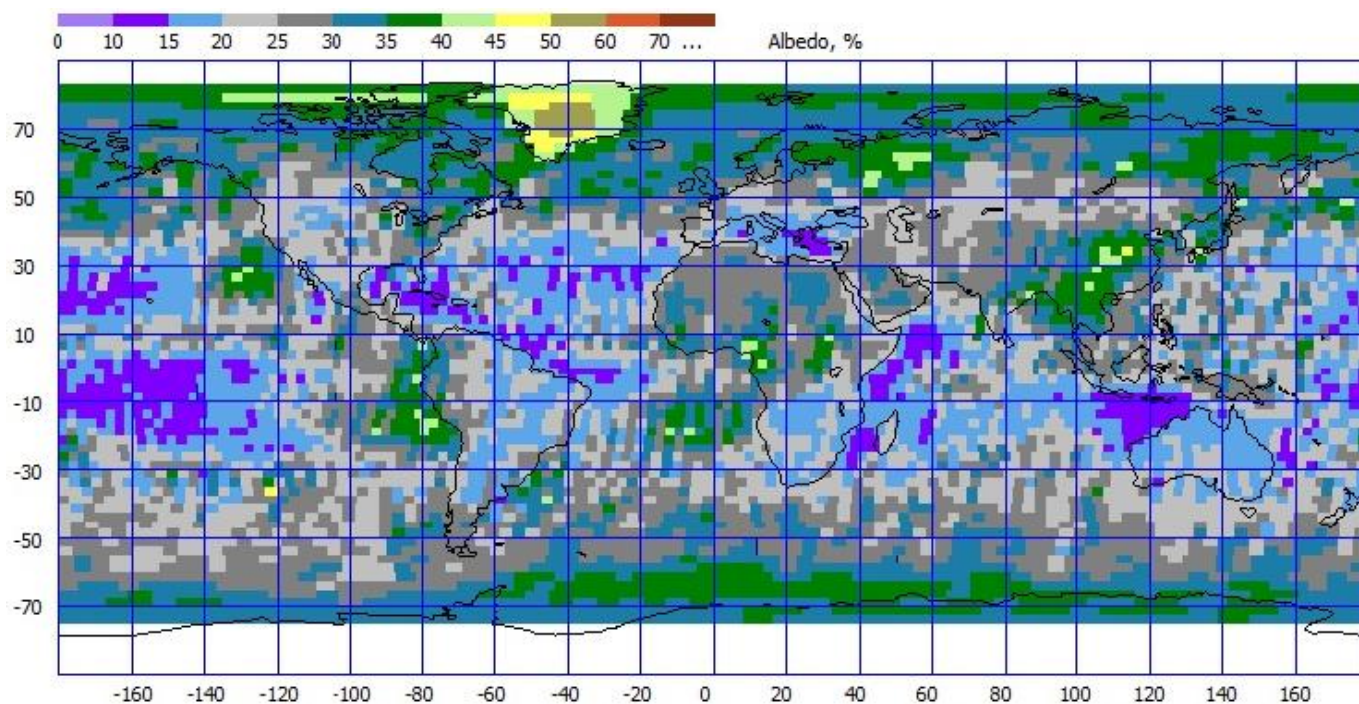


Август 2011 года

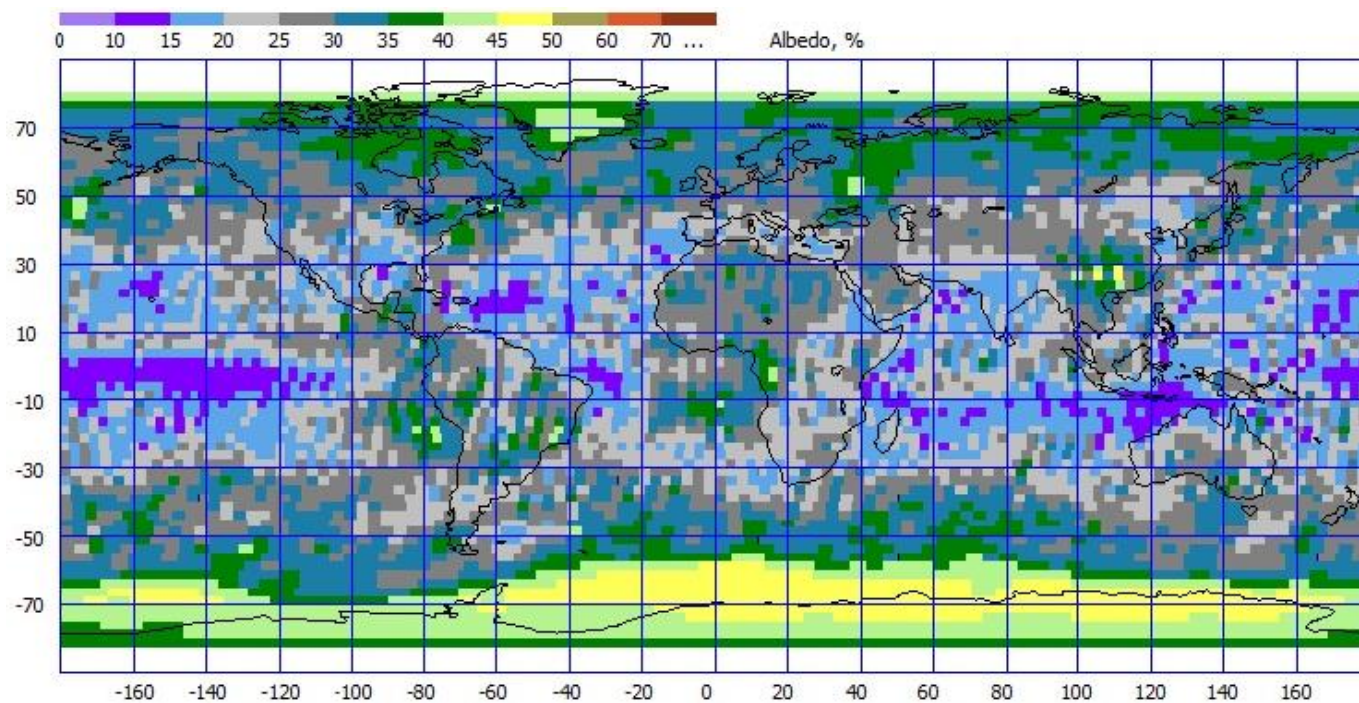




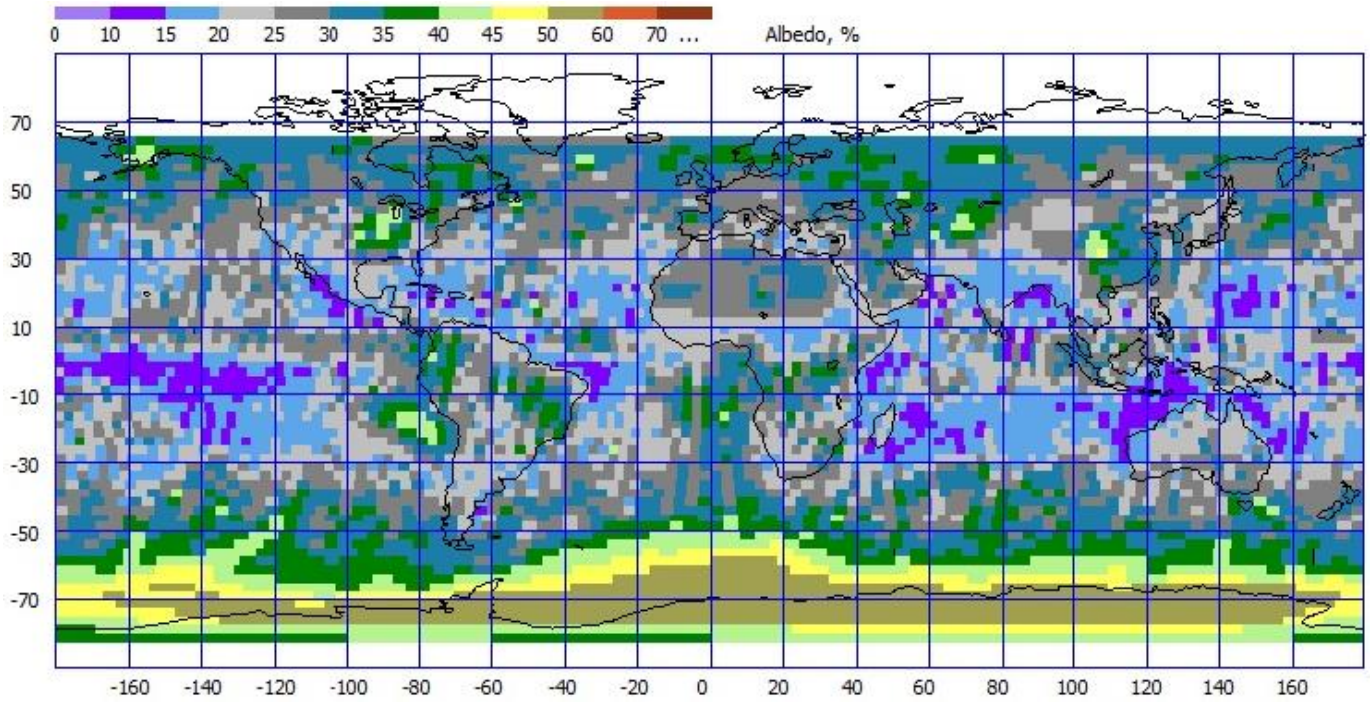
Сентябрь 2011 года



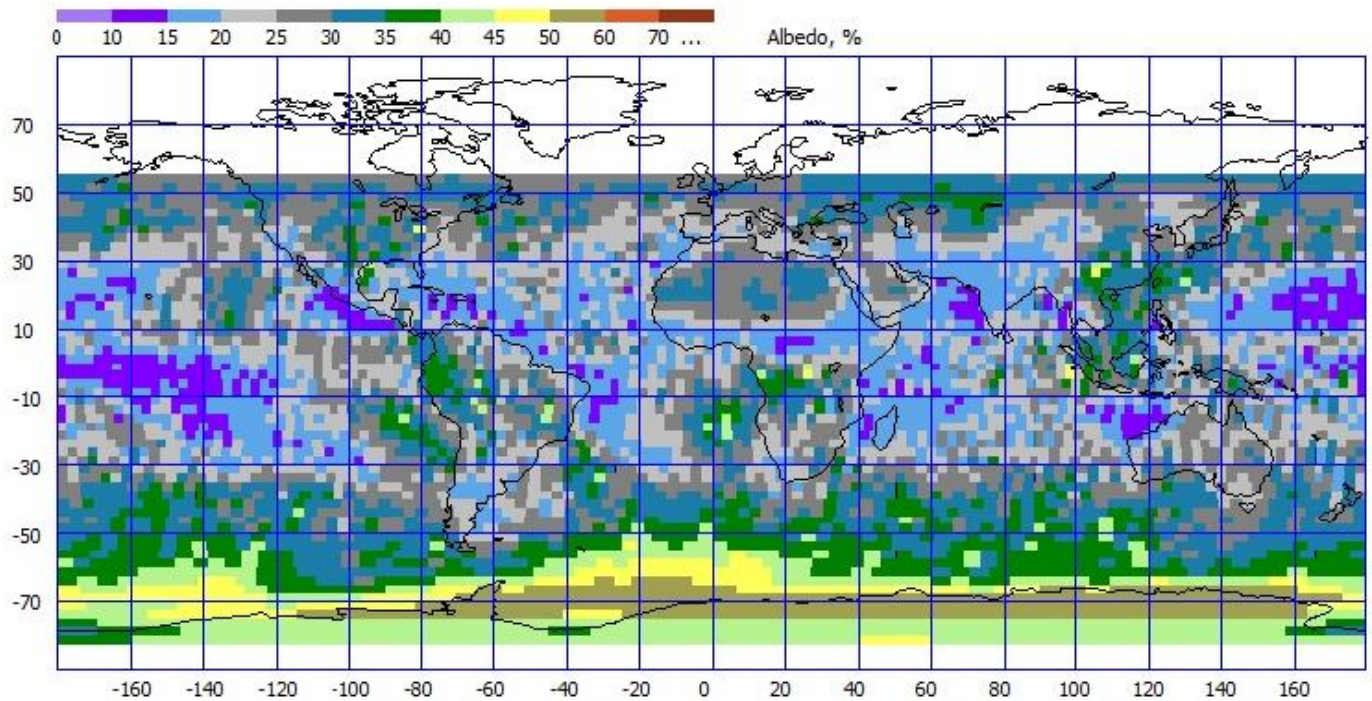
Октябрь 2011 года



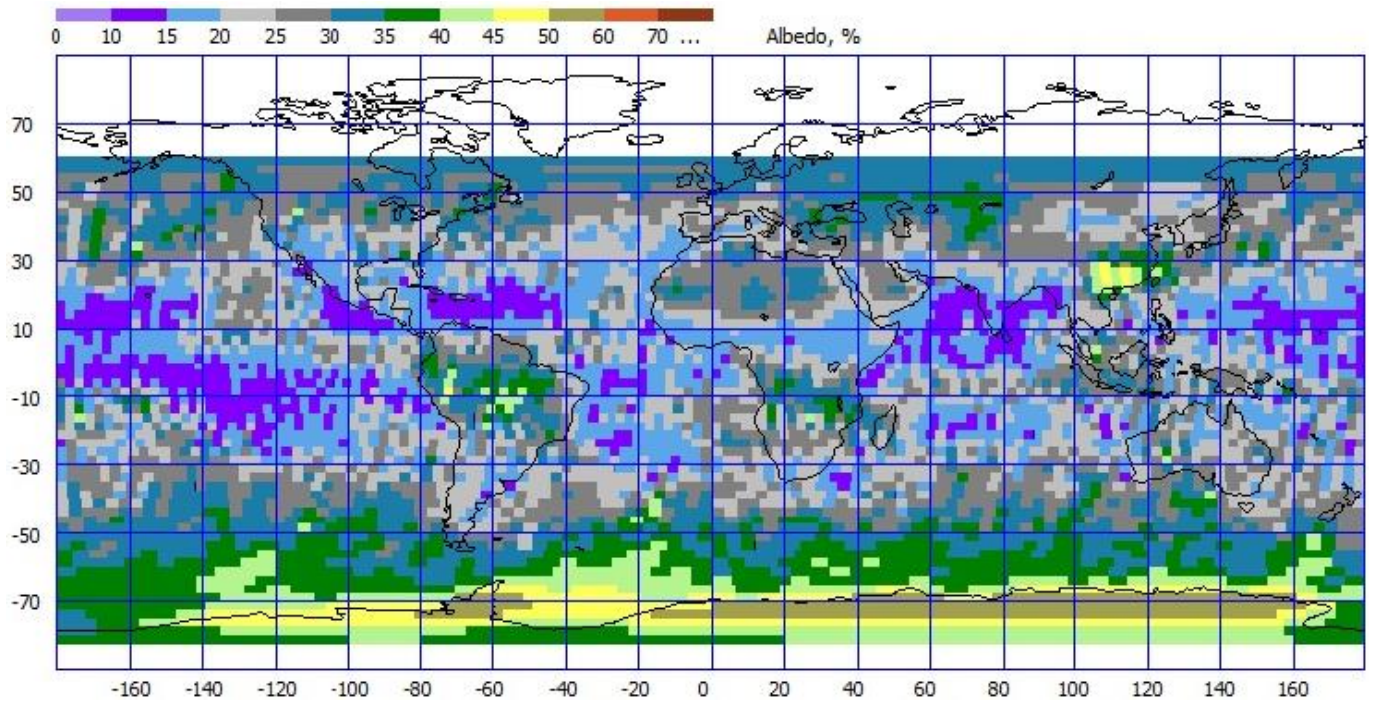
Ноябрь 2011 года



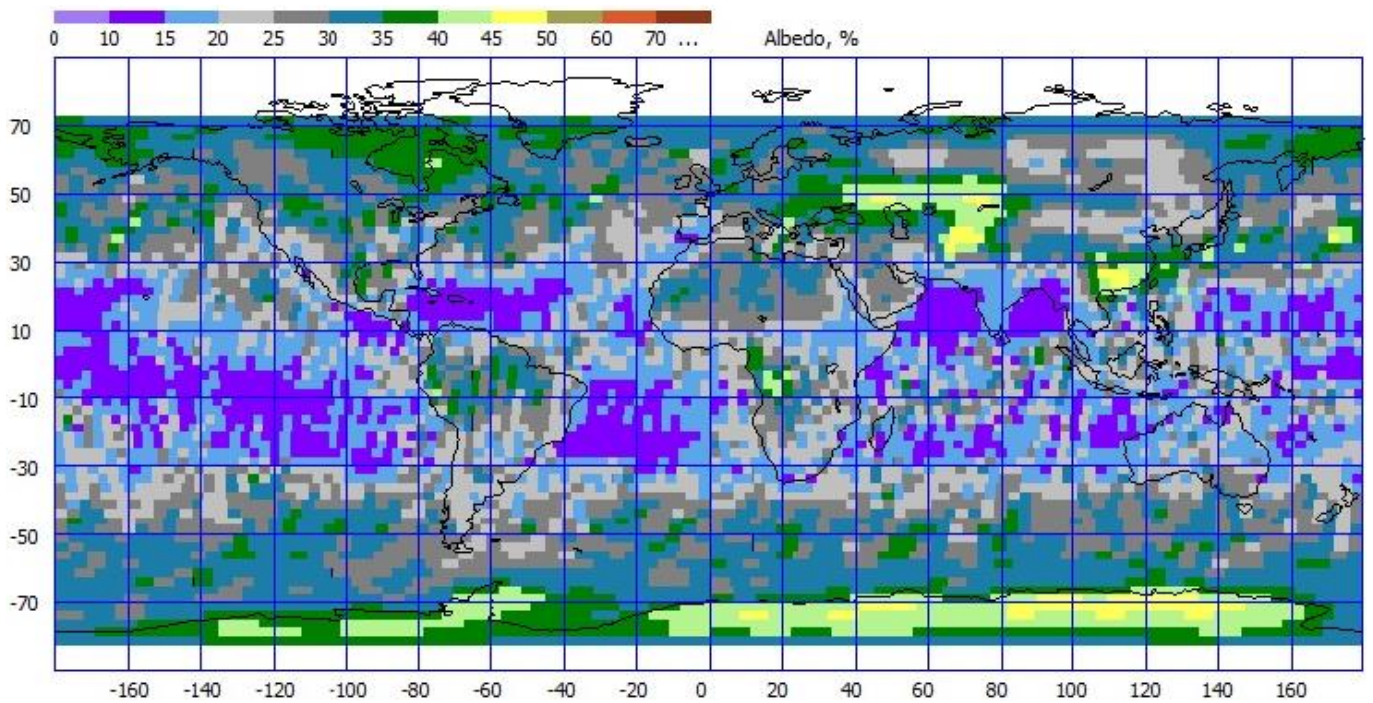
Декабрь 2011 года



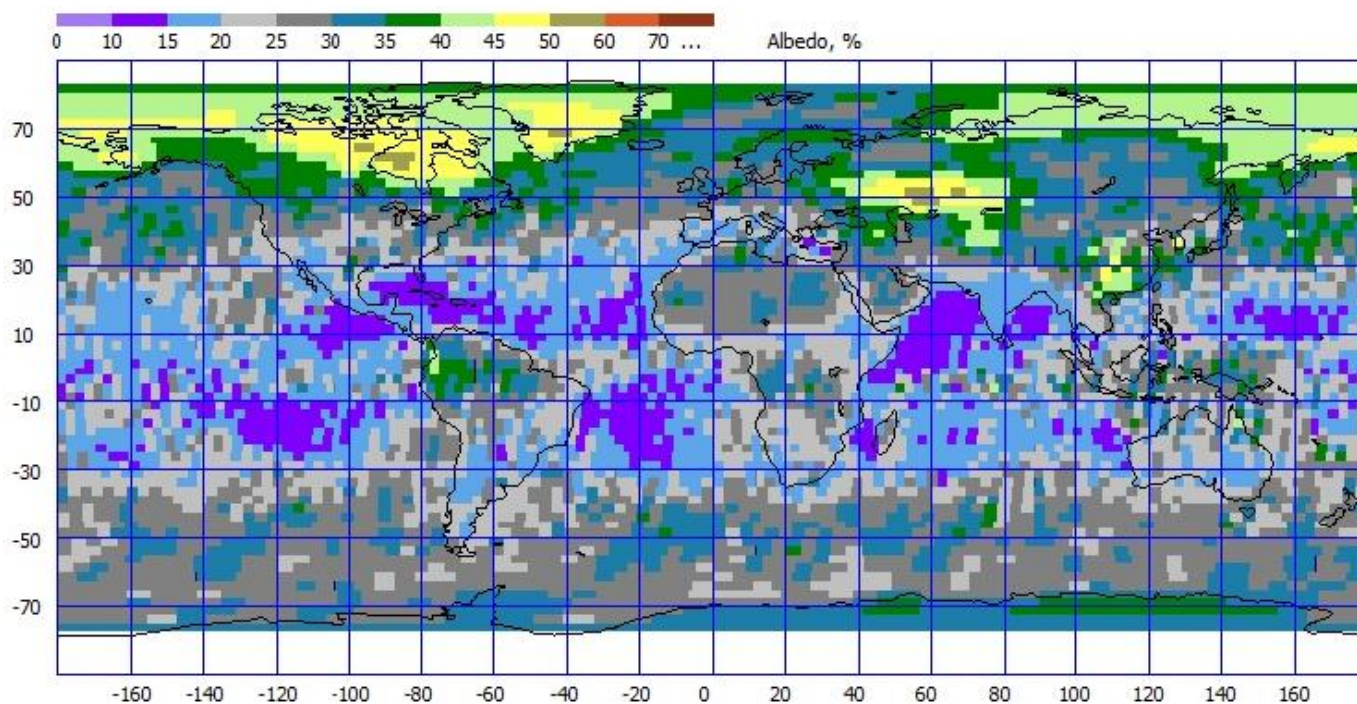
Январь 2012 года



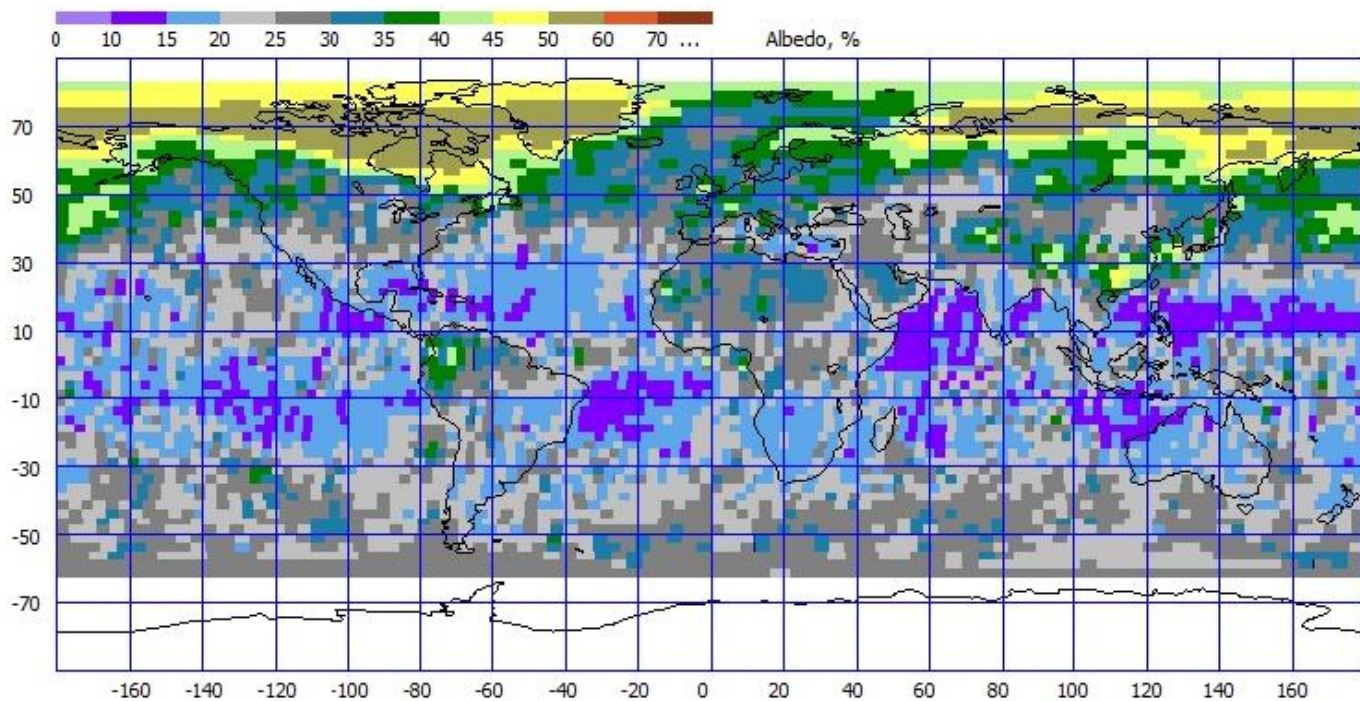
Февраль 2012 года



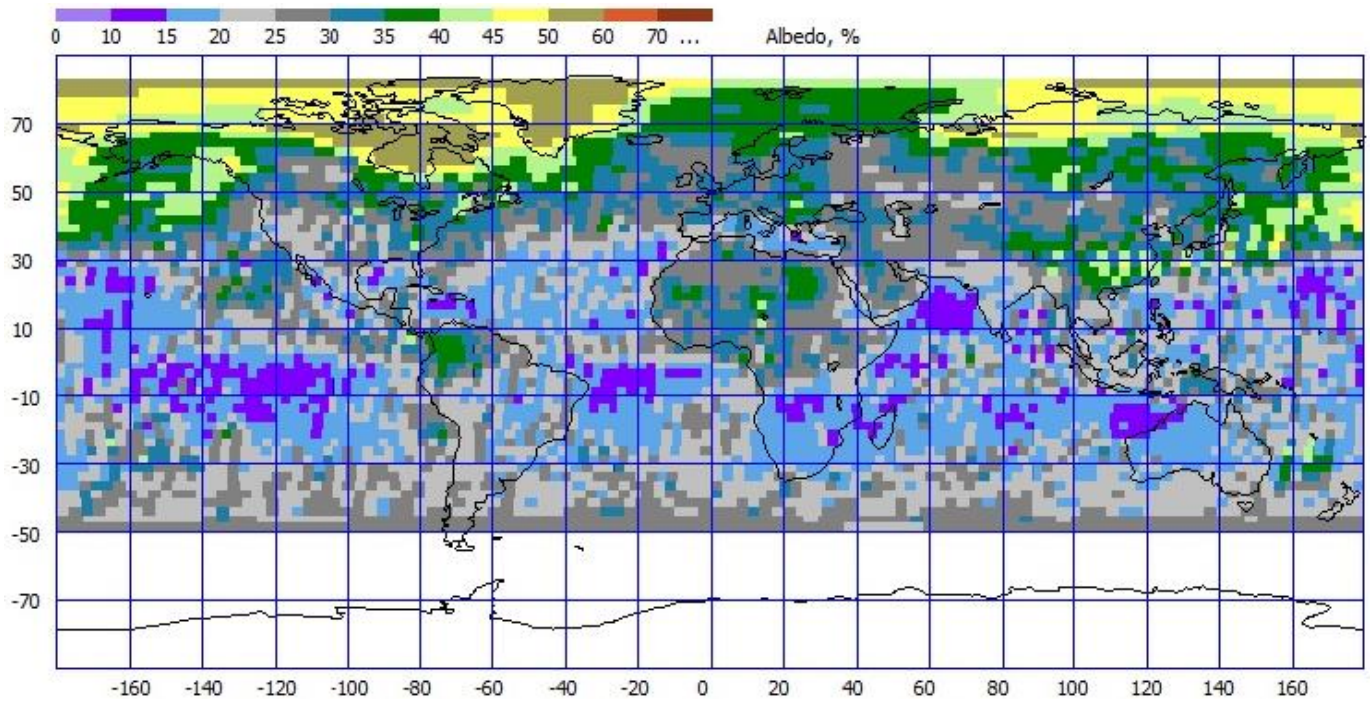
Март 2012 года



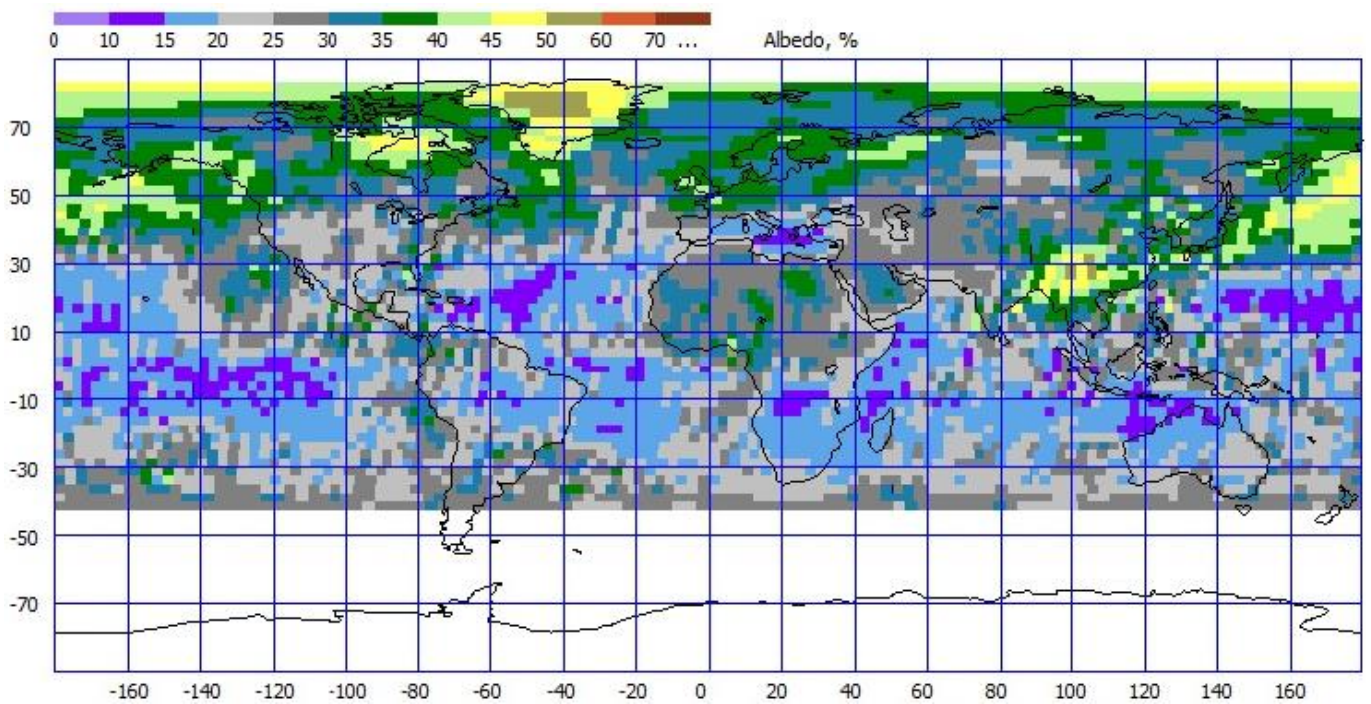
Апрель 2012 года



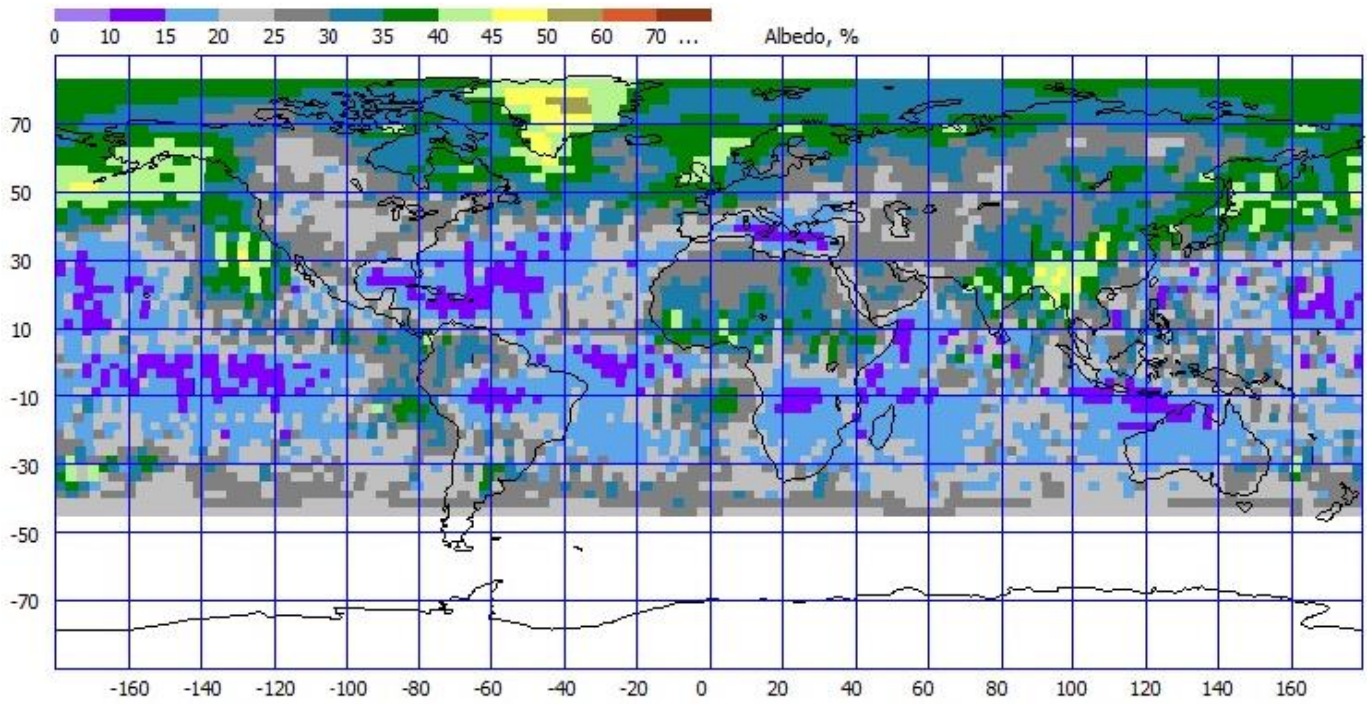
Май 2012 года



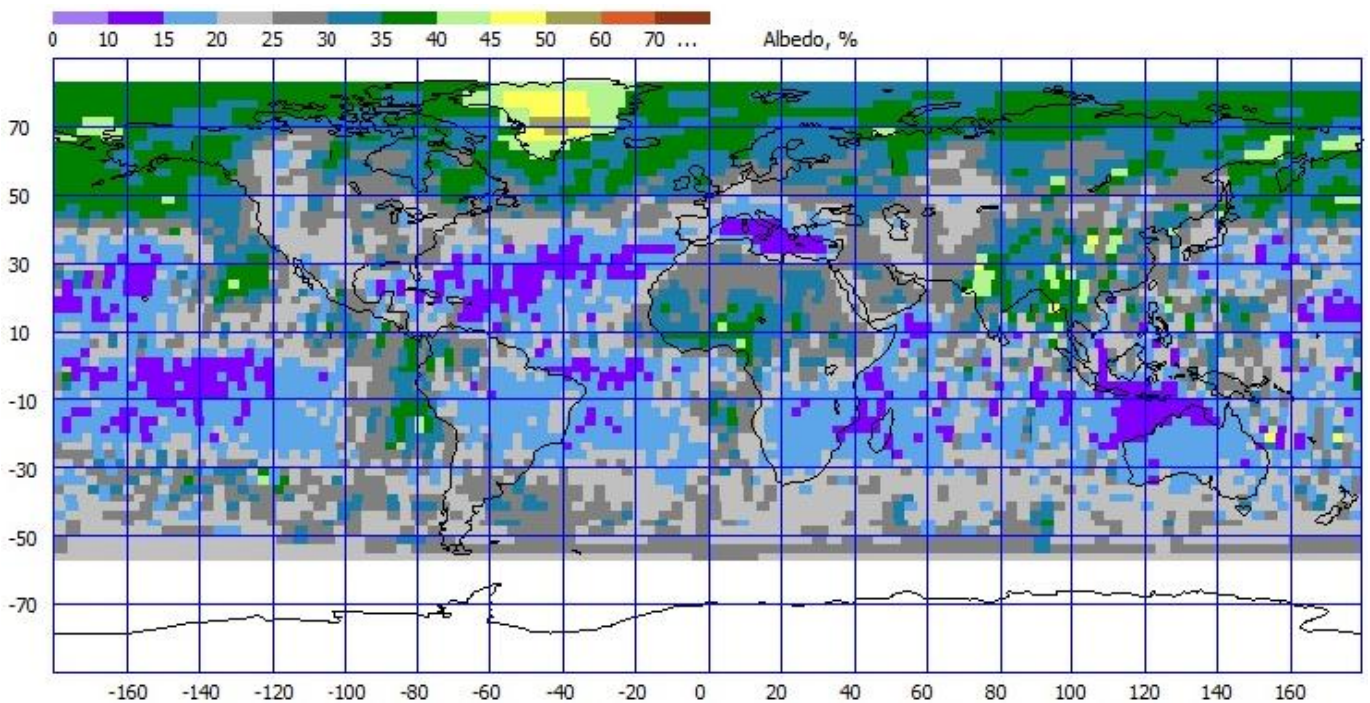
Июнь 2012 года



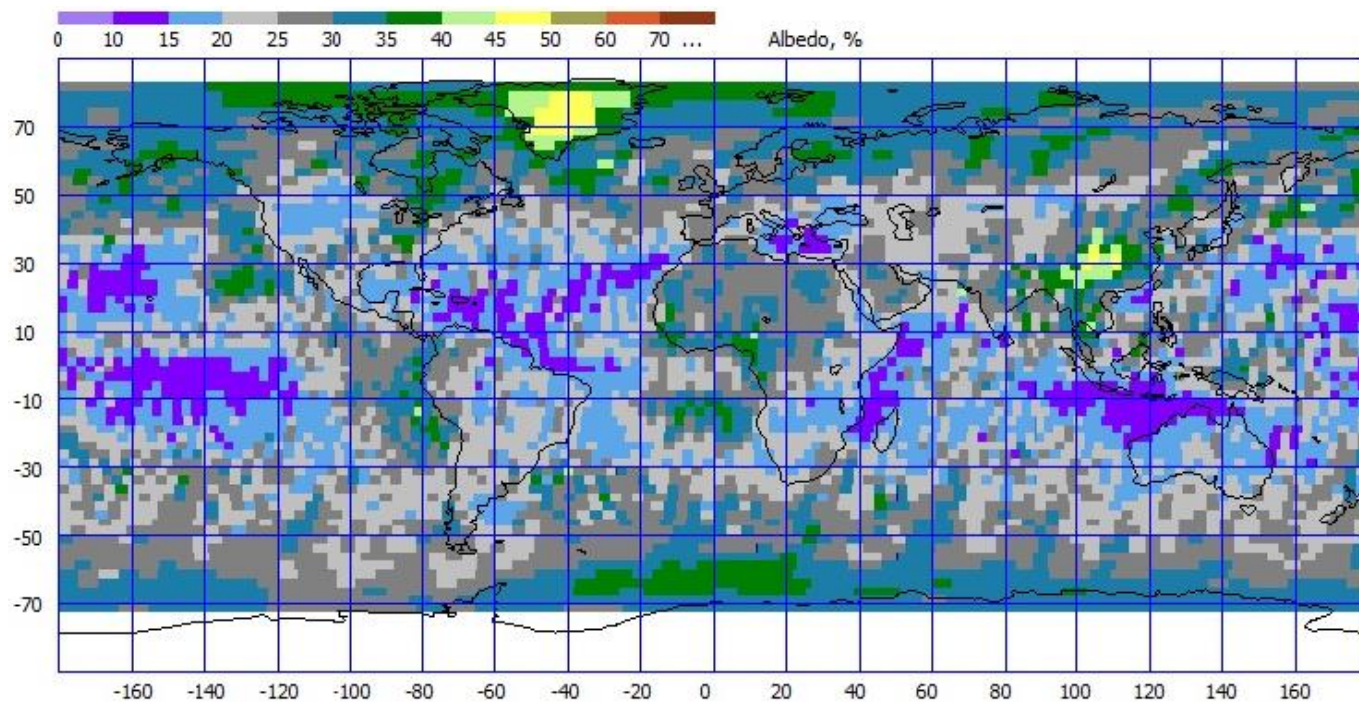
Июль 2012 года



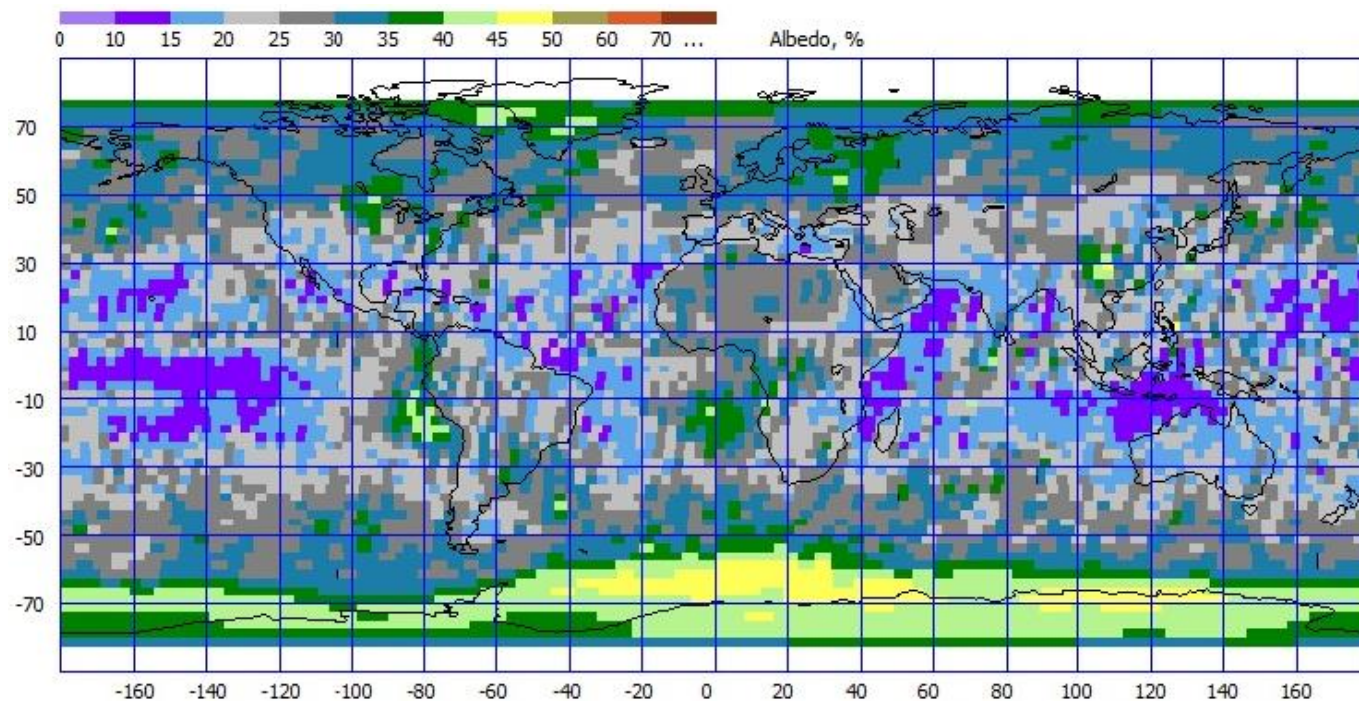
Август 2012 года



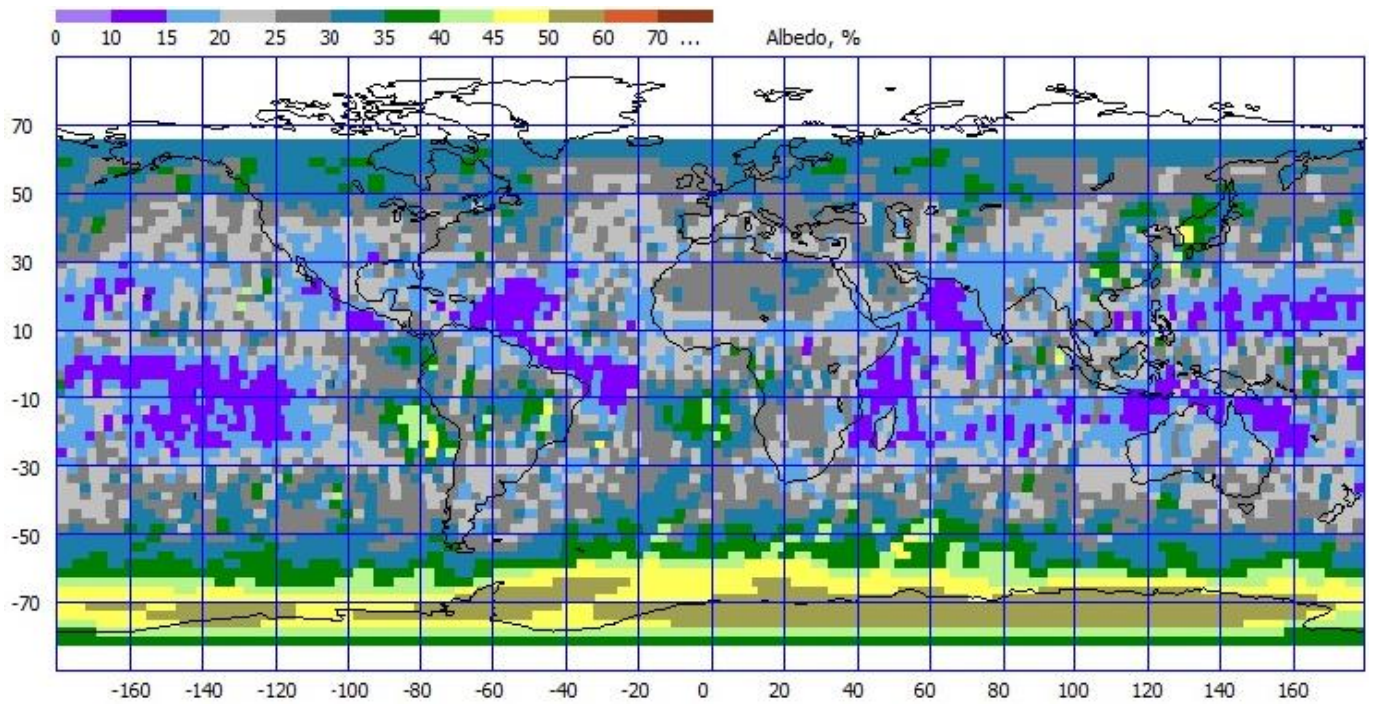
Сентябрь 2012 года



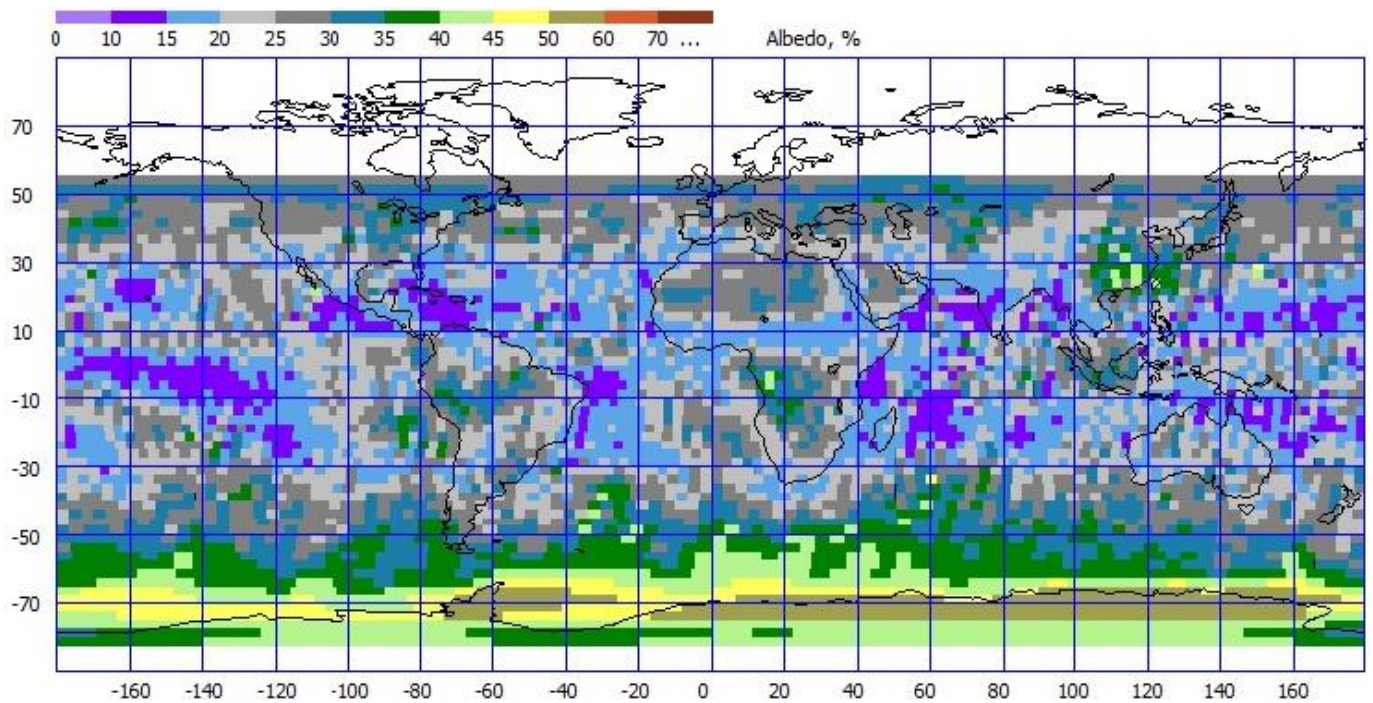
Октябрь 2012 года



Ноябрь 2012 года

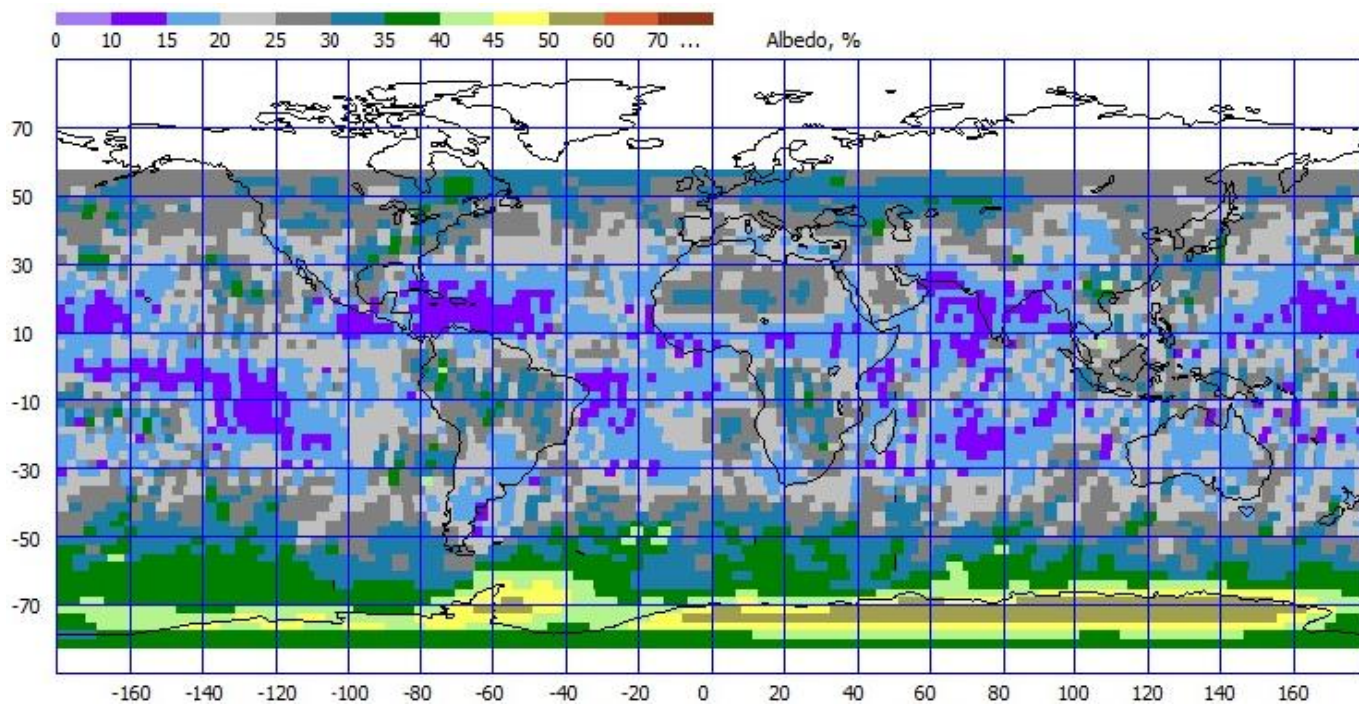


Декабрь 2012 года

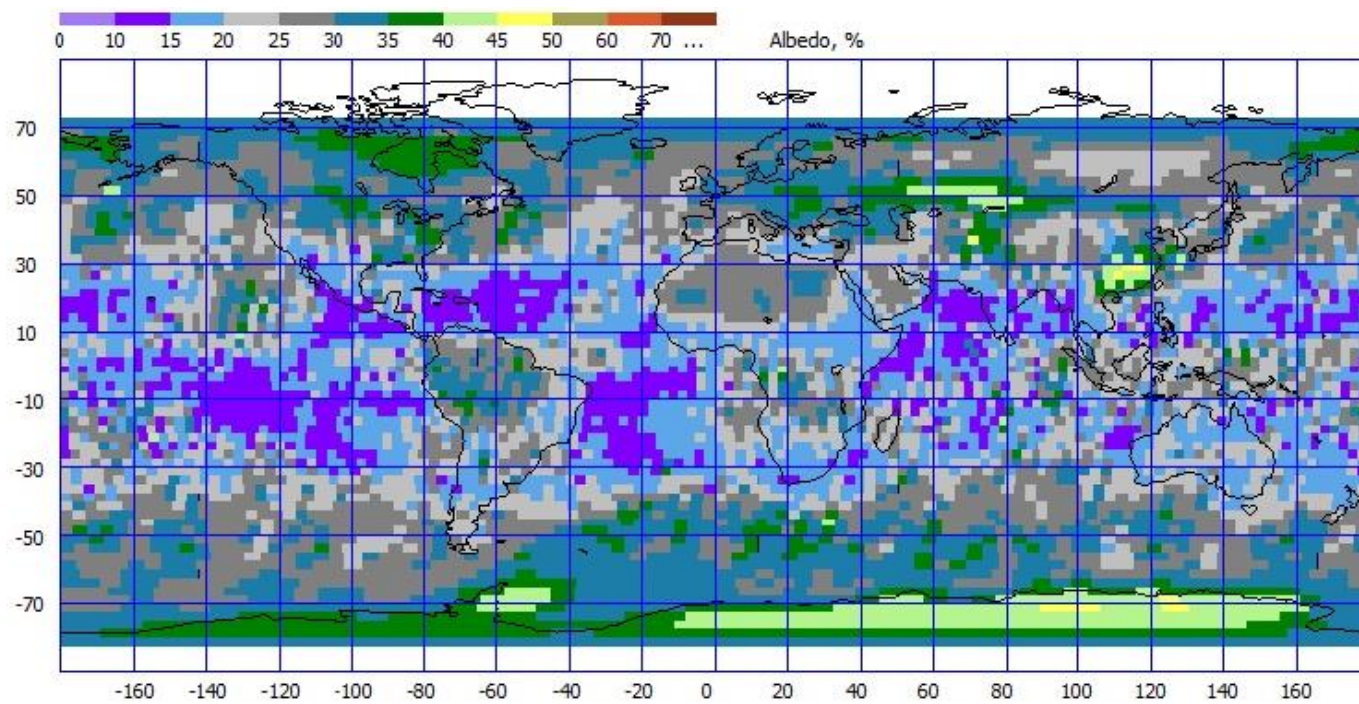




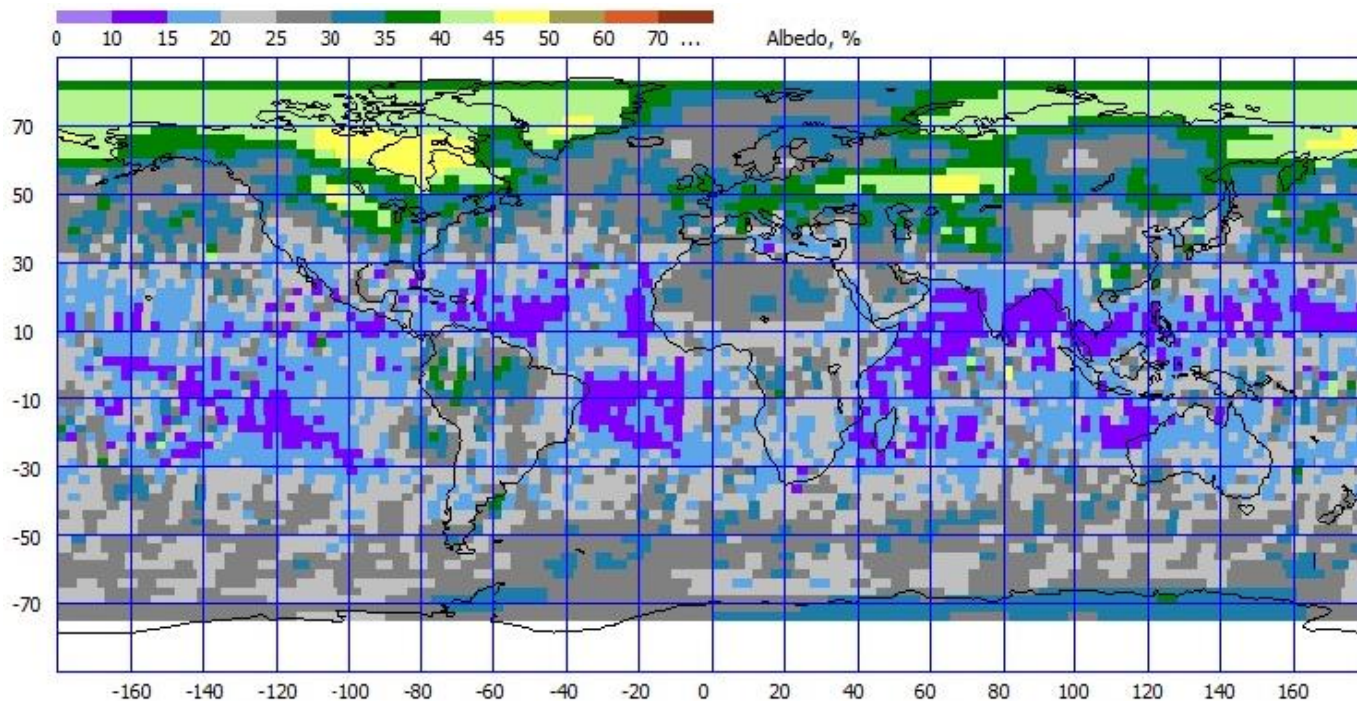
Январь 2013 года



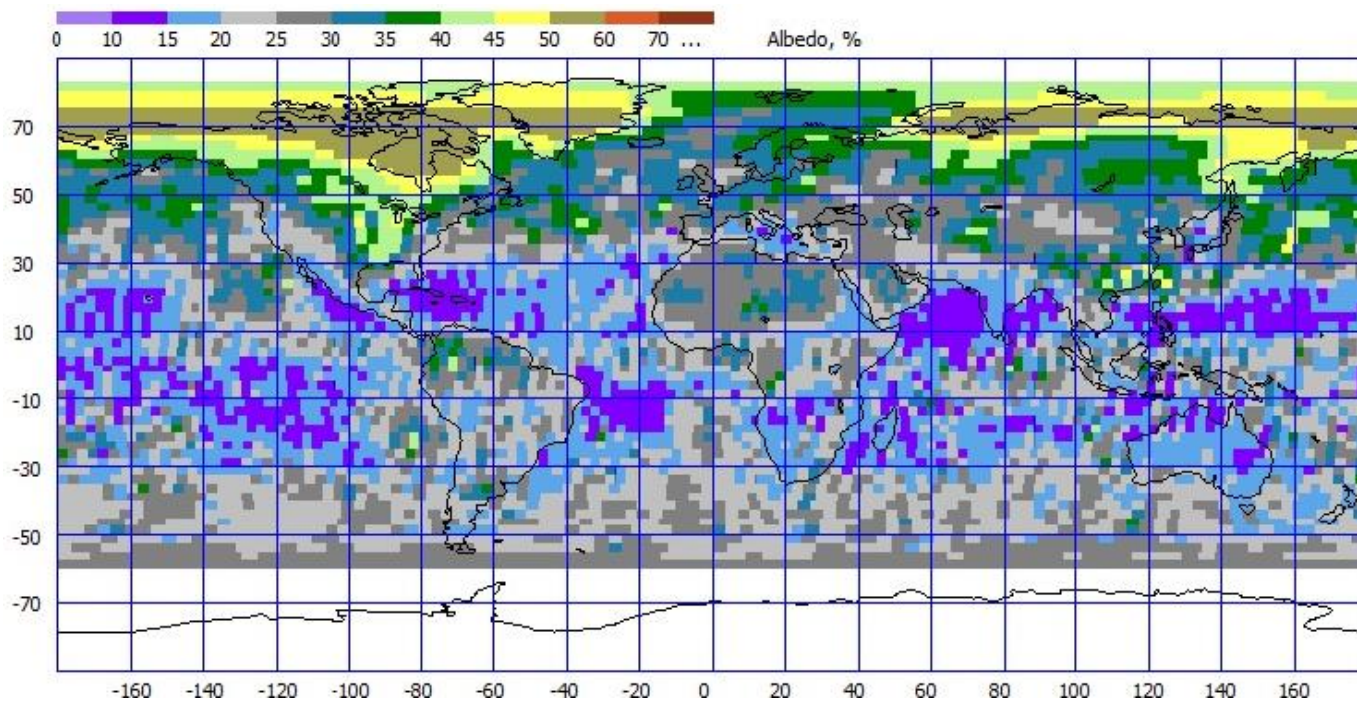
Февраль 2013 года



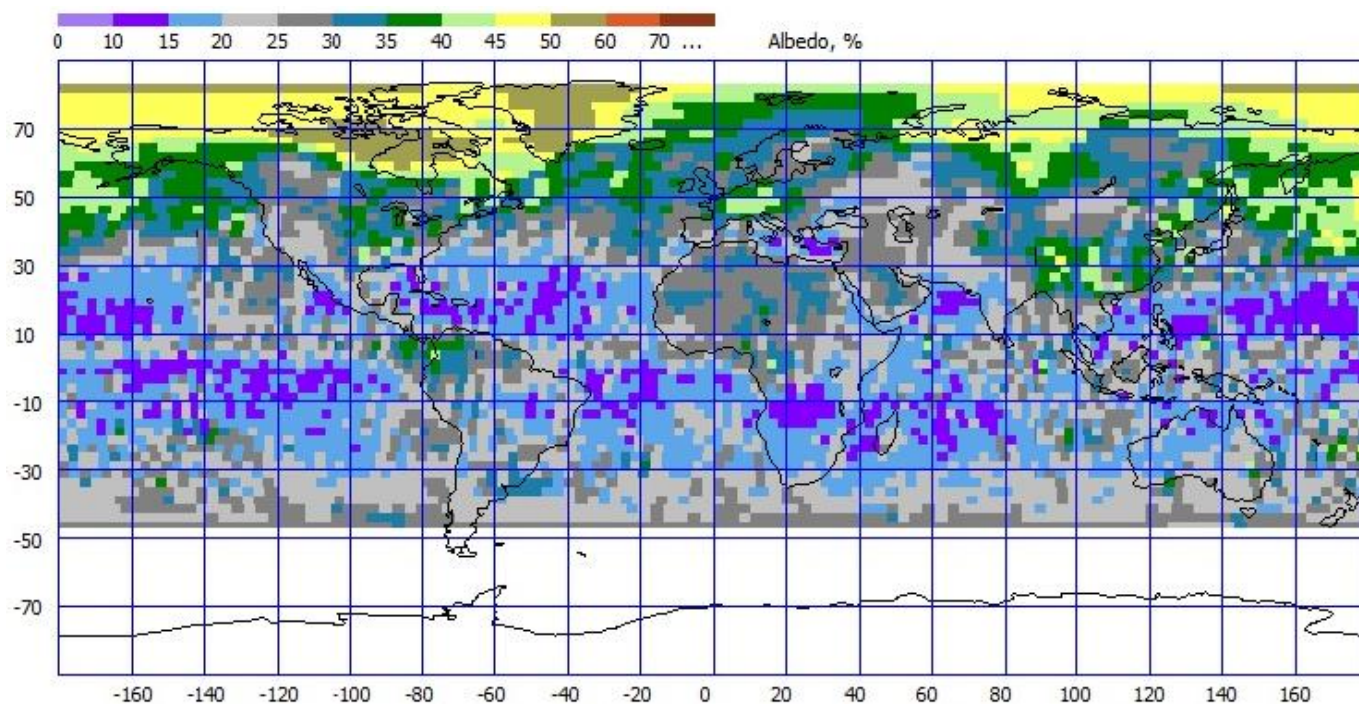
Март 2013 года



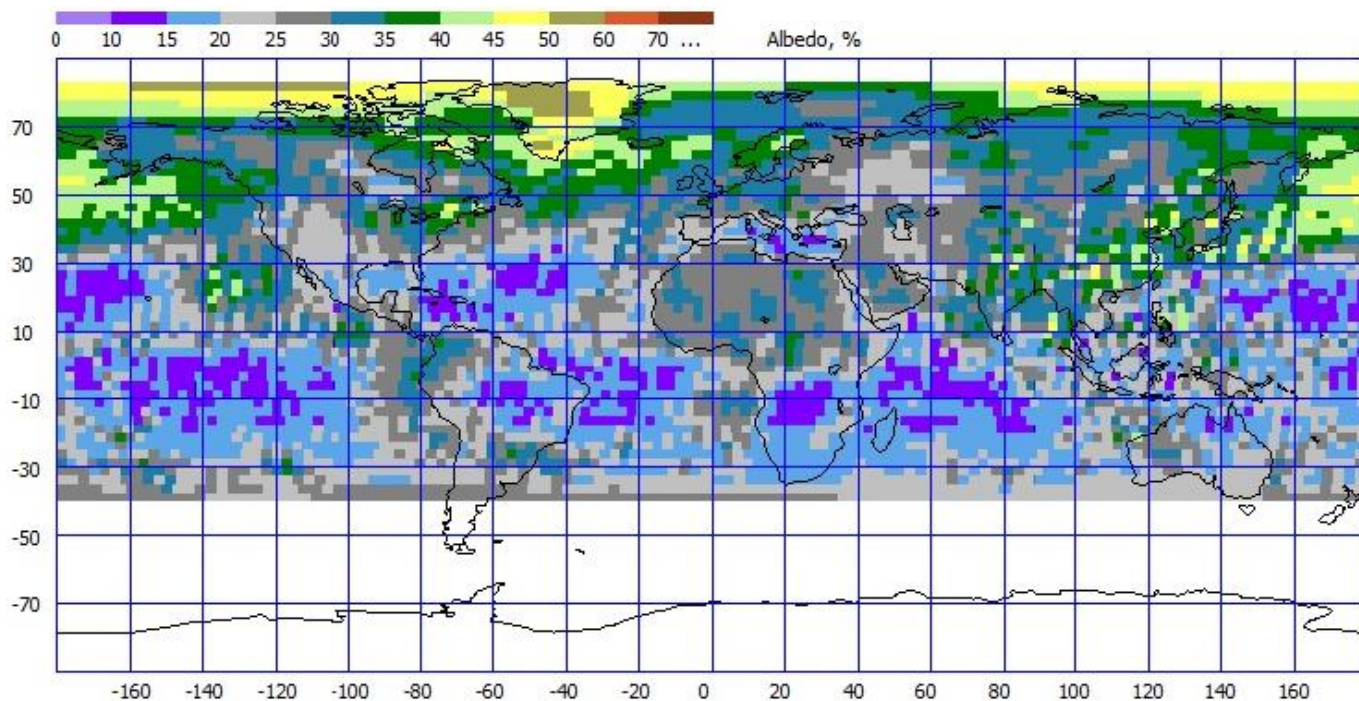
Апрель 2013 года



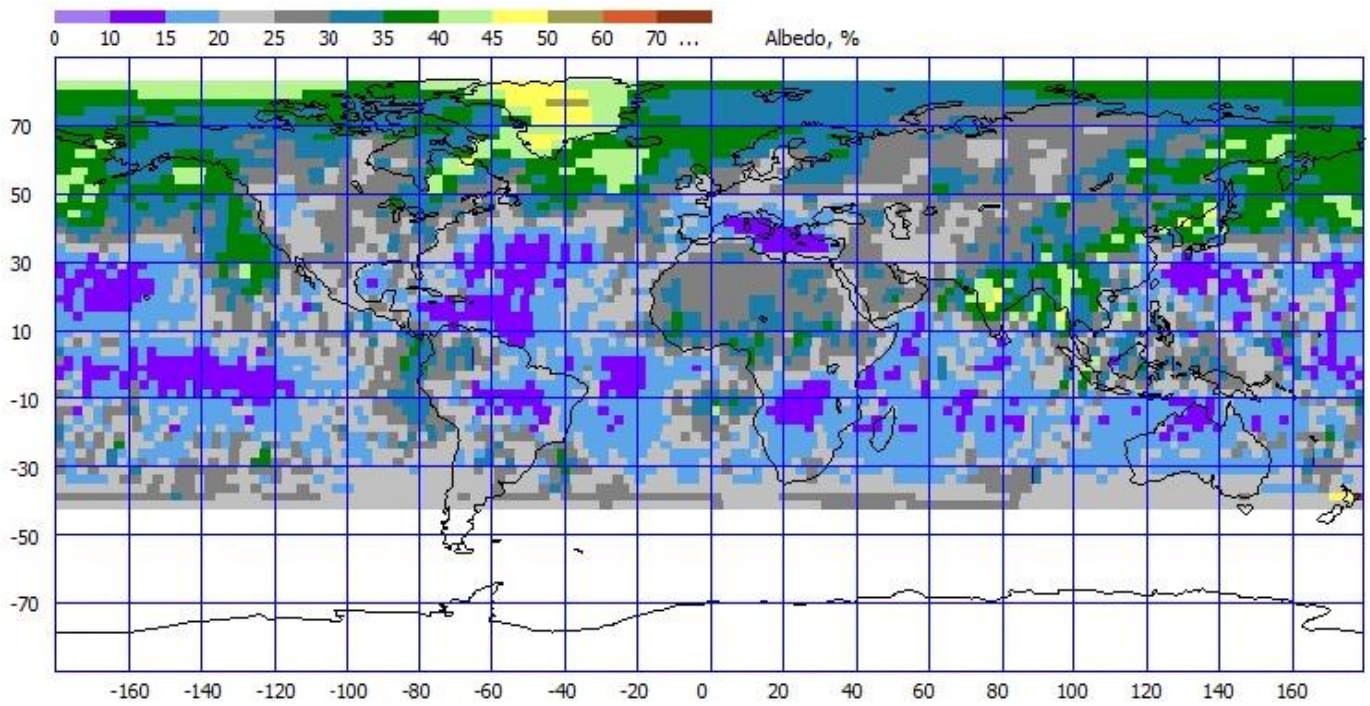
Май 2013 года



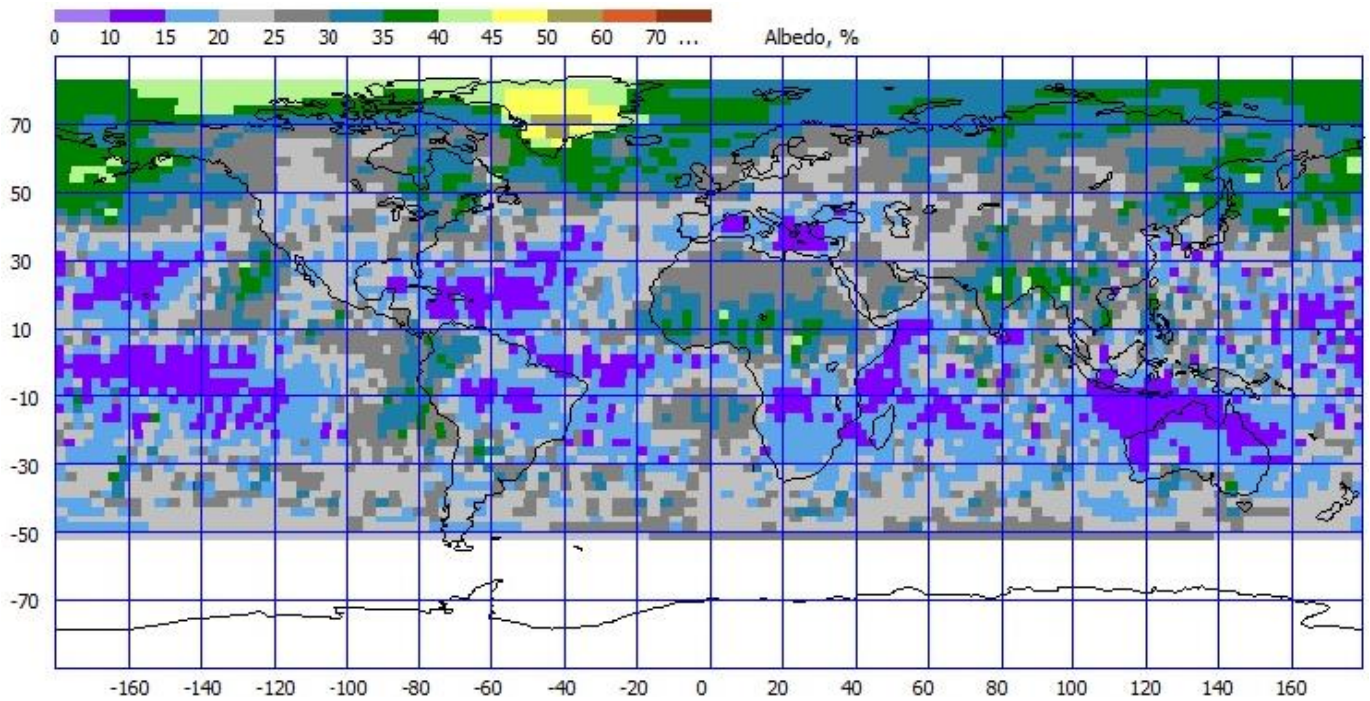
Июнь 2013 года



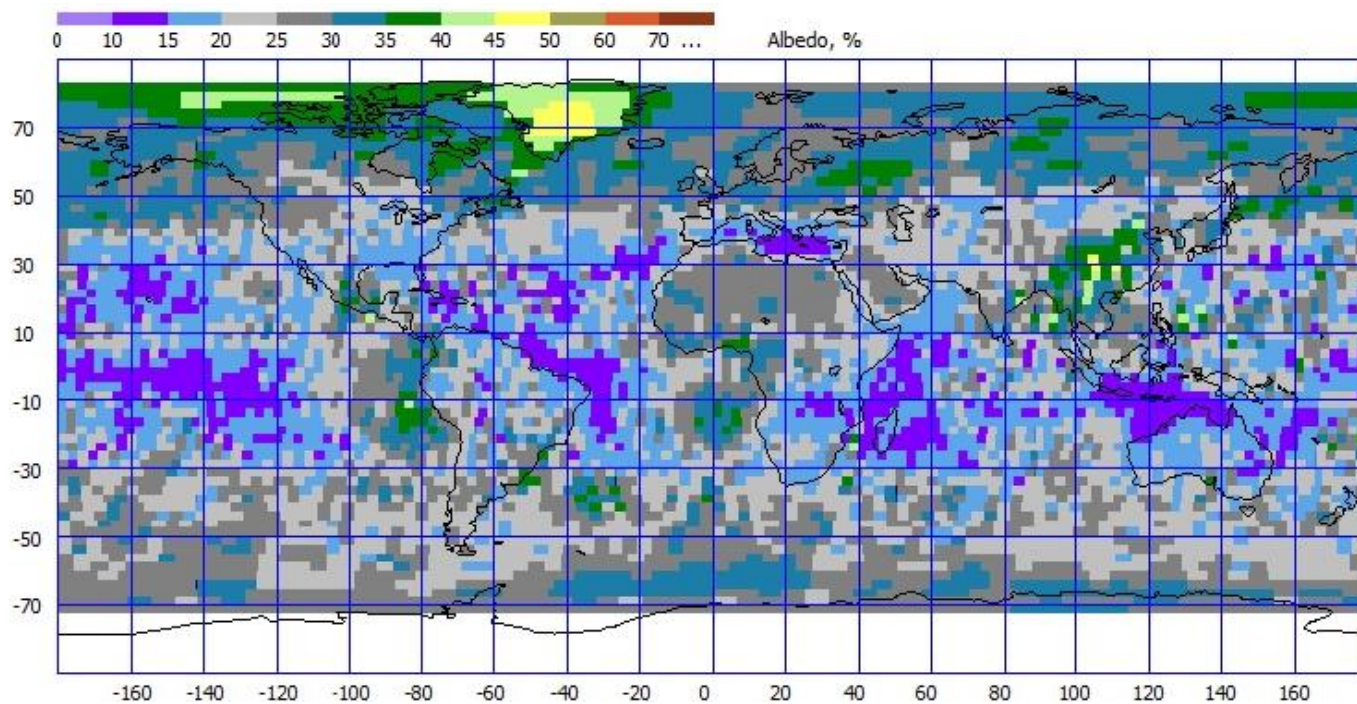
Июль 2013 года



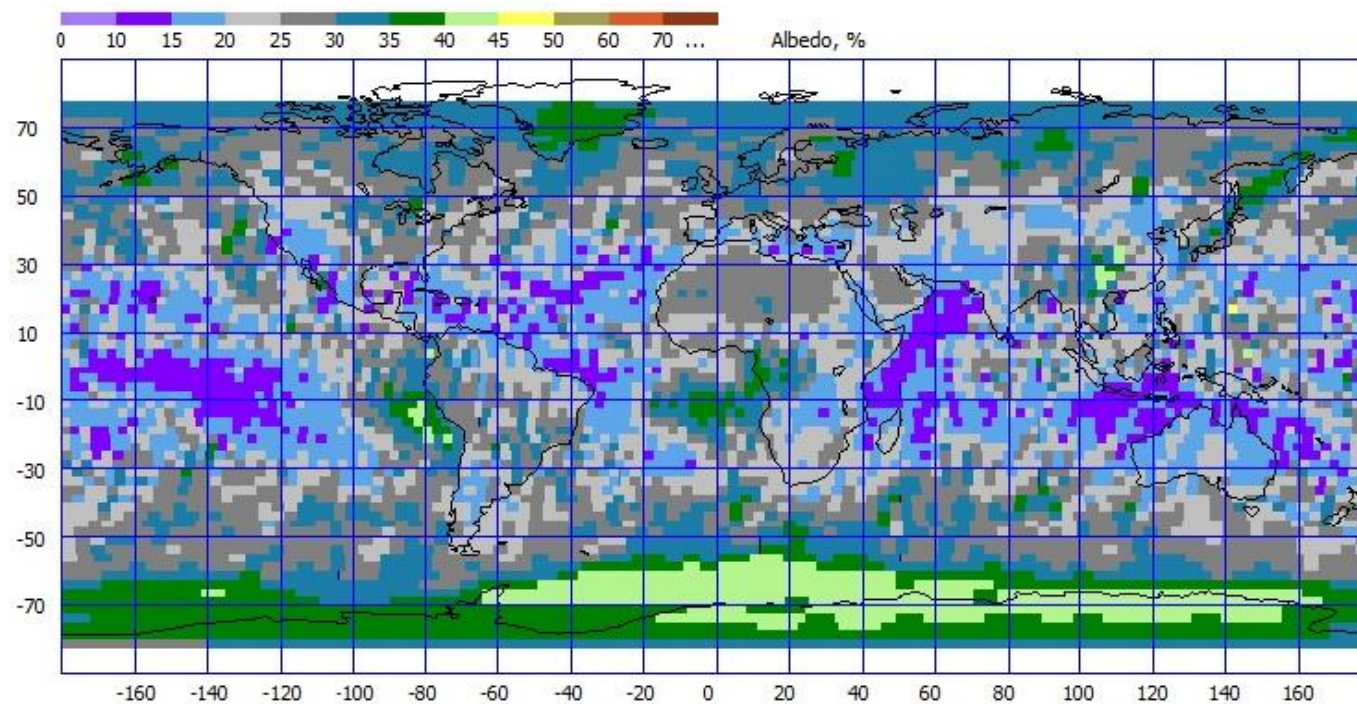
Август 2013 года



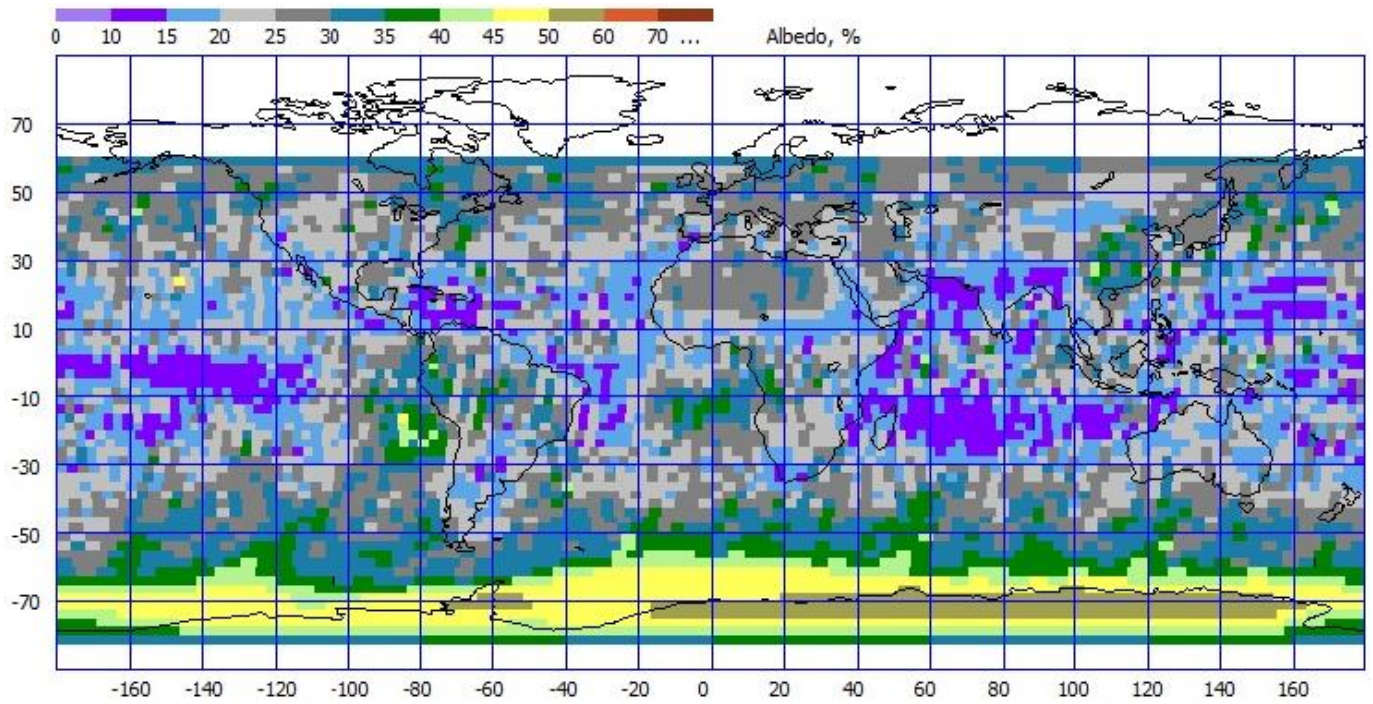
Сентябрь 2013 года



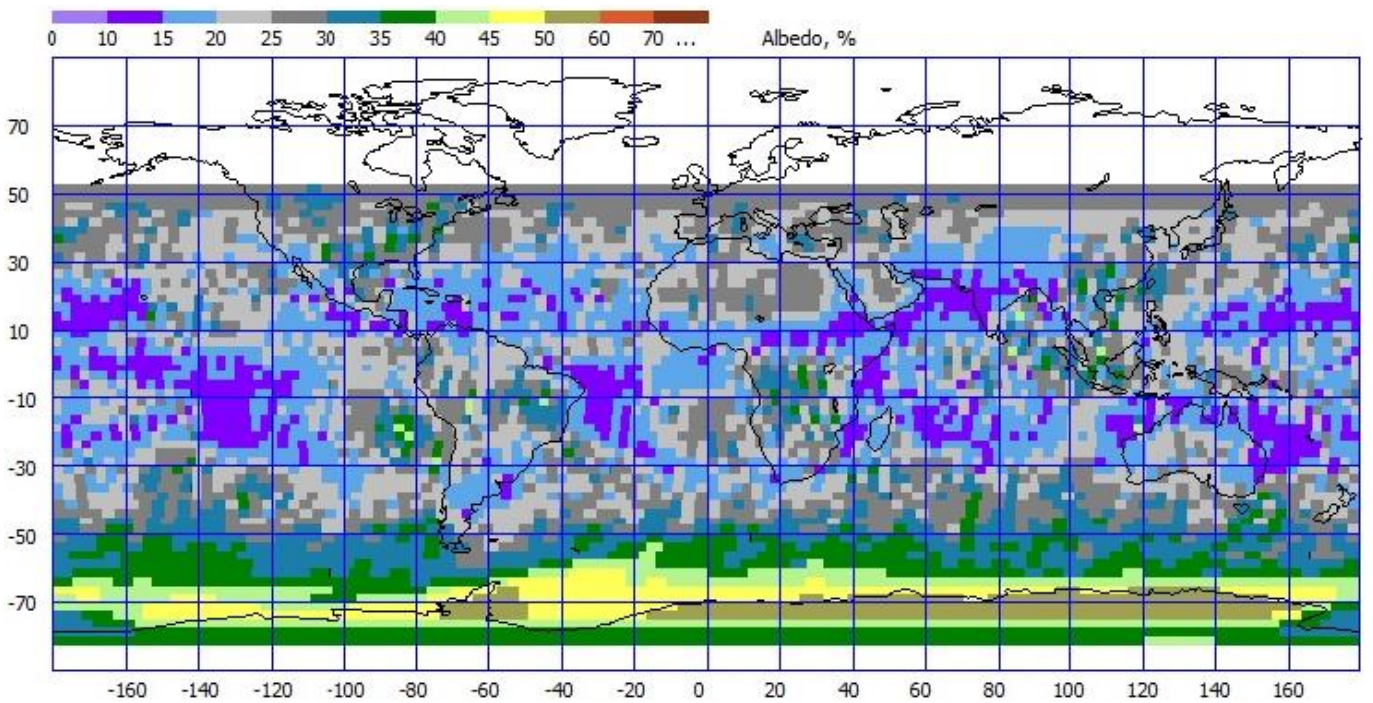
Октябрь 2013 года



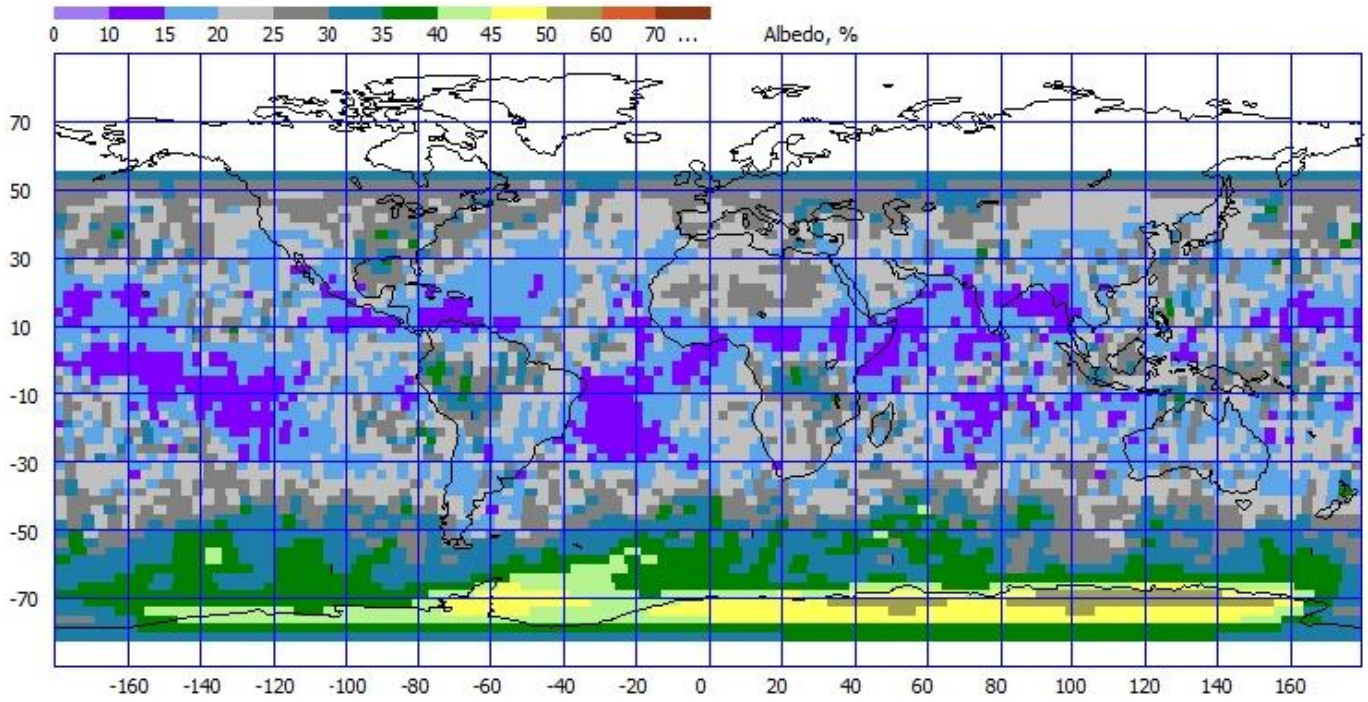
Ноябрь 2013 года



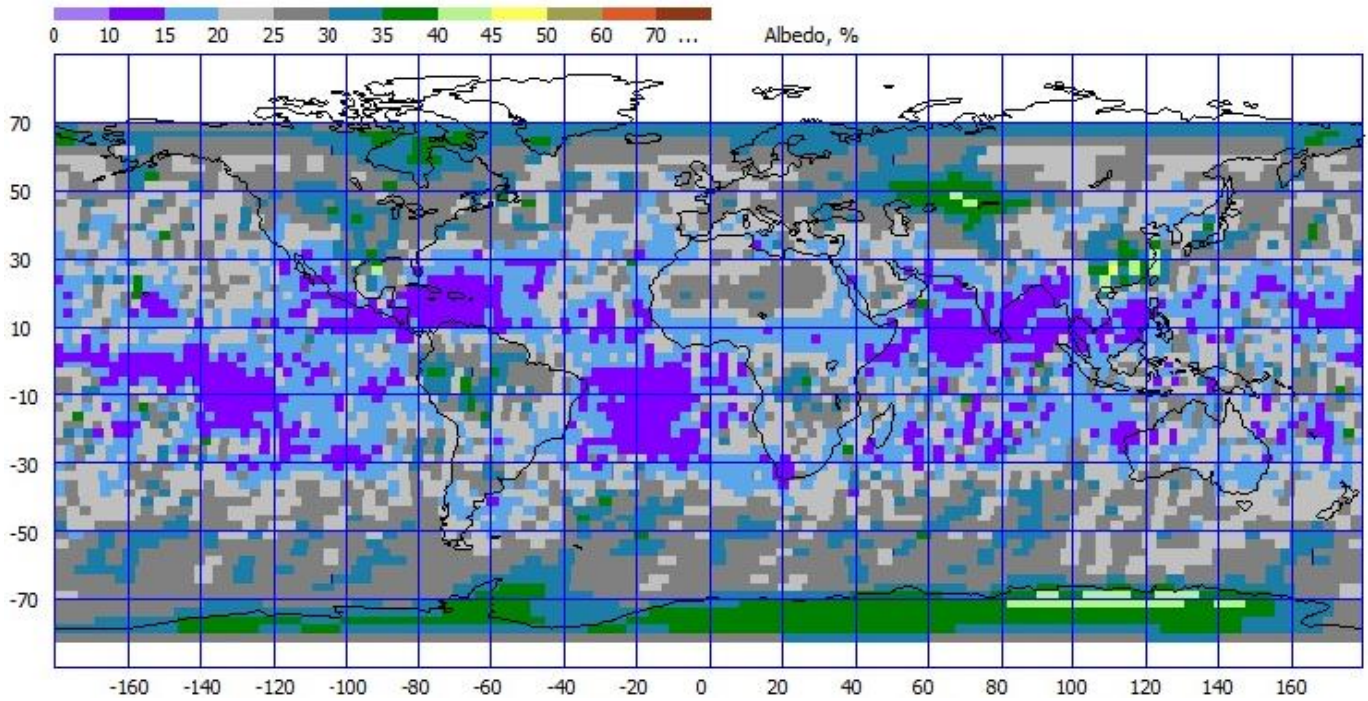
Декабрь 2013 года



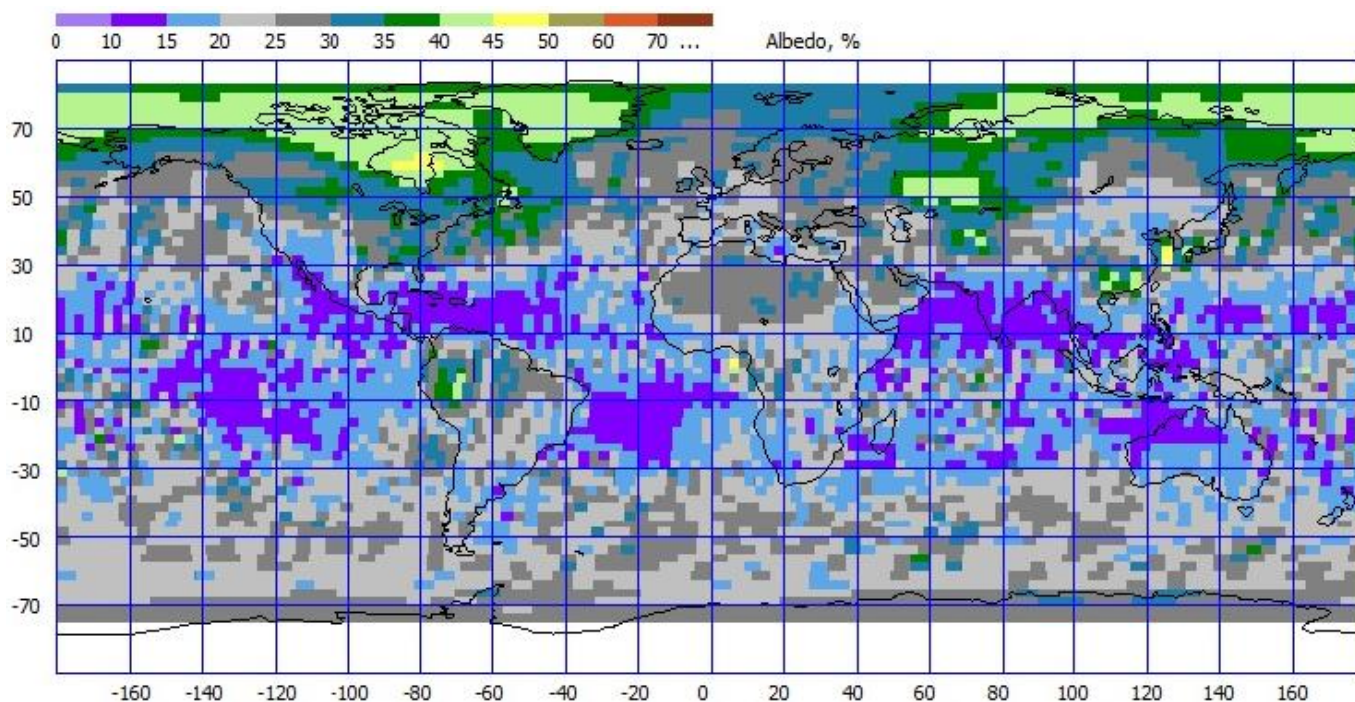
Январь 2014 года



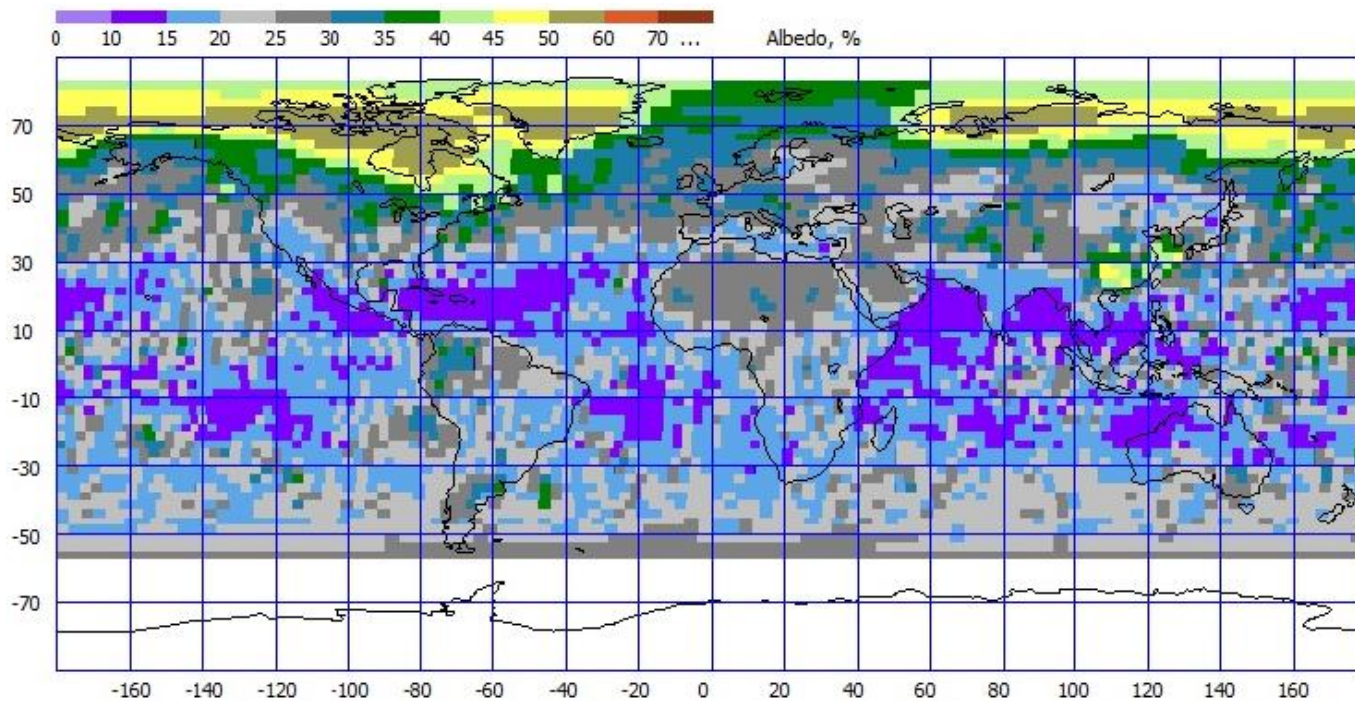
Февраль 2014 года



Март 2014 года

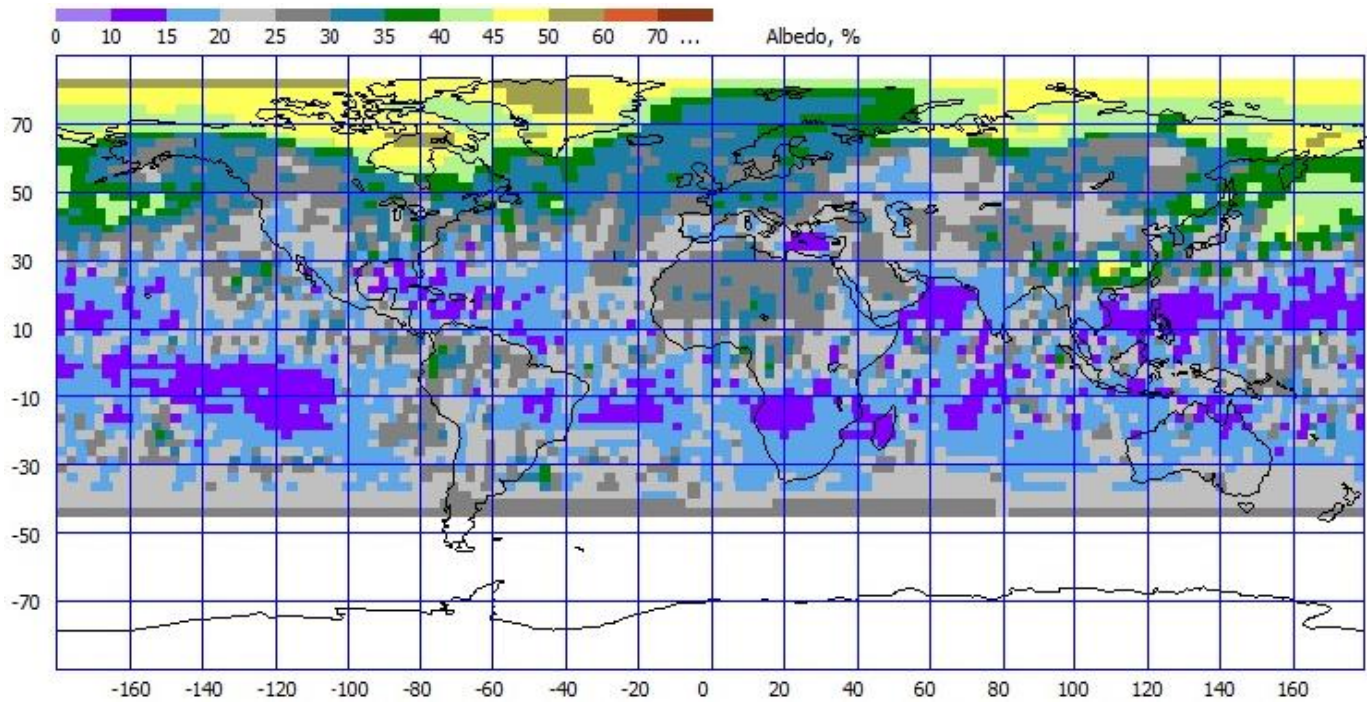


Апрель 2014 года

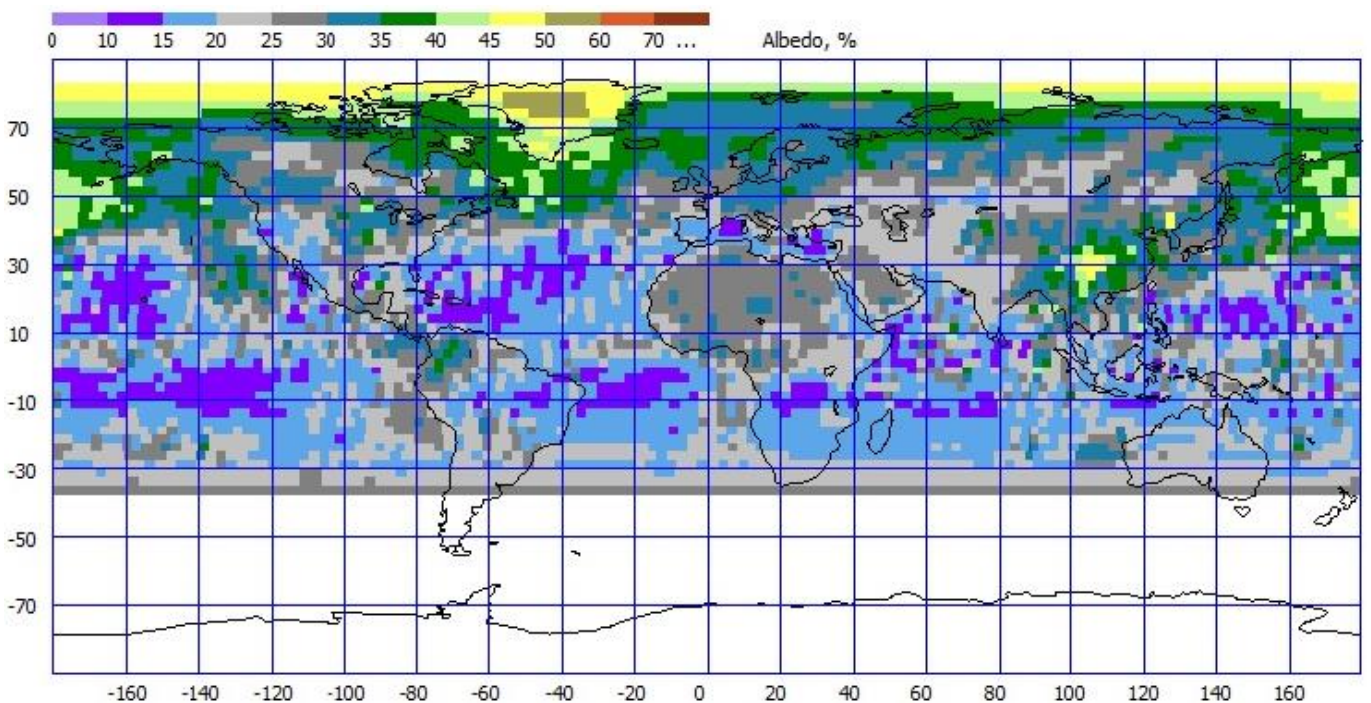




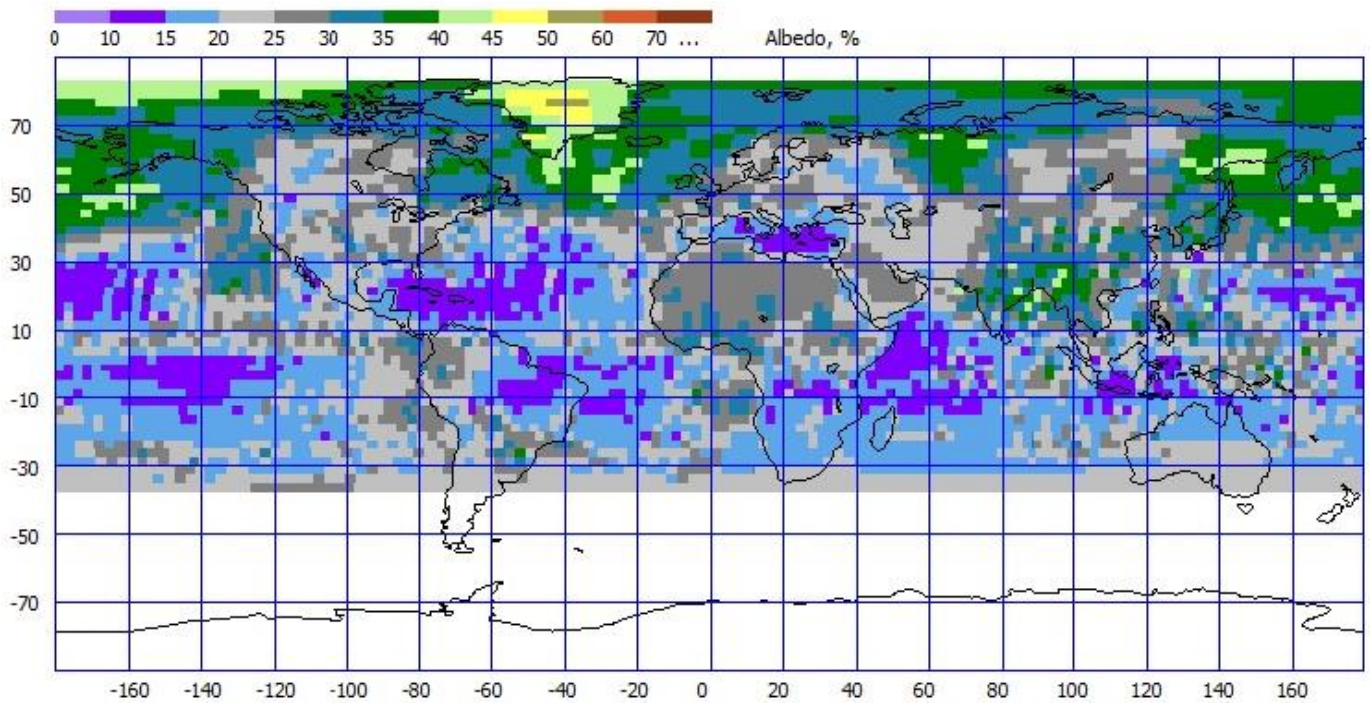
Май 2014 года



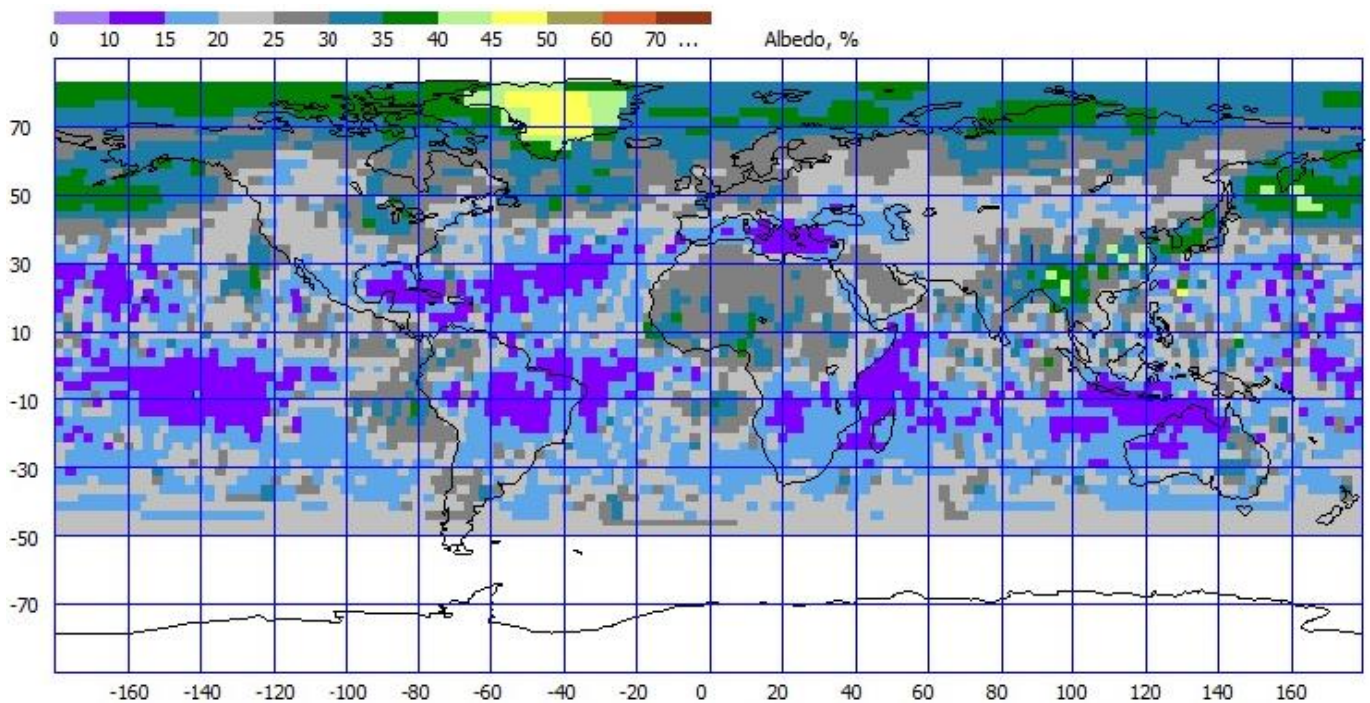
Июнь 2014 года



Июль 2014 года



Август 2014 года



## Анализ карт распределения среднемесячных величин альbedo

Величины альbedo являются важнейшими характеристиками земной климатической системы, которые дают информацию о снежном и ледовом покрове, облачности и подстилающей поверхности.

К настоящему времени накоплен и продолжает регулярно пополняться архив данных альbedo. Большой интерес представляет анализ данных с ИСЗ «Метеор-М» № 1 в виде карт среднемесячных распределений величин альbedo на верхней границе атмосферы (ВГА).

Карты наглядно демонстрируют, насколько неравномерно распределены величины альbedo по всему земному шару, насколько сильны контрасты, обусловленные различными условиями подстилающей поверхности. Последовательное изображение среднемесячных карт альbedo позволяют выявлять динамику развития процессов, происходящих в атмосфере, океане и на подстилающей поверхности. Сопоставление карт различных лет даёт возможность оценки изменчивости Земной климатической системы, обусловленной изменением величин альbedo.

Анализируя карты среднемесячных распределений альbedo можно выявить территории с максимальными и минимальными значениями величин альbedo. Самые большие значения характерны для приполярных районов. Так для Антарктиды, которая покрыта ледяным щитом и белым снегом, альbedo большей её территории достигает величин 50-60 % в зимние месяцы (декабрь, январь, февраль), когда там наблюдается полярный день. На этом материке иногда появляются локальные максимумы альbedo (больше 60 %), как это было, например, в декабре 2010 года, когда среднемесячные величины альbedo в районе 70° с.ш., 90° - 110° в.д. достигали значений в 65 %. Следует также отметить, что и в осенние месяцы (октябрь, ноябрь) альbedo над Антарктидой велико (до 60 %). Для весенних месяцев данных для Антарктиды нет, хотя

можно предположить, что и для этих месяцев свойственны большие значения величин альбедо.

Стоит обратить внимание и на высокие величины альбедо вокруг самой Антарктиды. Так в широтной зоне  $55 - 70^\circ$  ю.ш. вдоль береговой линии материка альбедо достигает 40-45 %, например, в январе, иногда даже до 50 %, как это было в октябре и ноябре. Высокие значения альбедо над этим регионом обусловлены облачным покровом.

В северном полушарии большие величины альбедо наблюдаются также в северных районах. Так для острова Гренландия, который имеет мощный ледовый и снежный покров, величины альбедо стабильно высоки с марта по сентябрь. В апреле – июне практически на всей территории Гренландии альбедо достигает величин 60 % и более. Для июля, августа и сентября свойственна картина, когда максимальные значения величин альбедо (50 – 60 %) располагаются в центре острова, в то же время на прибрежных территориях отмечаются значения 40 – 50 %.

Следует также отметить, что высокие значения величин альбедо (до 50 – 60 %) наблюдаются в широтной полосе  $60 - 80^\circ$  с.ш. над Северной Америкой и Евразией с марта по июнь. С июля по сентябрь значения уменьшаются до 35 – 40 %.

Самые малые значения величин альбедо наблюдаются в океанах. Альбедо тропической зоны Мирового океана в среднем колеблется в пределах 20-25 %, но в некоторых районах максимум достигает величин 45 %, как например, в августе – ноябре в Тихом океане у побережья Перу или 50 % в июле около Калифорнийского побережья США. Такие высокие значения альбедо над этими территориями обусловлены развитием мощной конвективной облачности.

В зонах конвективной облачности над акваториями океанов, например, во внутритропической зоне конвергенции (ВЗК), которая располагается

примерно на широте 5-10° с.ш., величины альbedo также велики. Так, в тропической части Тихого океана севернее экватора альbedo составляет 25-35 %.

Минимальные величины альbedo во всех океанах имеют значения 10 – 15 % и располагаются вблизи экватора. В Тихом океане зоны с минимальными величинами альbedo располагаются по обе стороны от ВЗК. Зоны с минимальными значениями альbedo в Индийском и Атлантических океанах располагаются примерно на тех же широтах.

Характер распределения альbedo обнаруживает резкий контраст между значениями альbedo в высоких и средних широтах северного (СП) и южного (ЮП) полушарий. К примеру, в июле 2010 года в тропиках наиболее высокие значения альbedo наблюдаются над пустынями, такими как Сахара и Аравийская (достигая значений 30-40 %).

Особый режим распределения альbedo наблюдается в районах Юго-Восточной Азии. Этот регион в летние месяцы подвержен влиянию муссонной циркуляции, обуславливающий развитие там мощной конвективной облачности. Что сказывается на больших величинах альbedo над Юго-Восточной Азией (июнь-сентябрь). Подробный анализ пространственно-временного распределения альbedo над этим регионом приведён выше.

Наибольшие значения альbedo в тропической зоне в июле наблюдаются над регионом Юго-Восточной Азии, где они достигают 50 %. Эта область характеризуется постоянством аномально высоких значений альbedo в течение летних месяцев. Данный феномен можно объяснить регулярным действием Азиатского летнего муссона, во время которого развивается мощная кучево-дождевая облачность.

Мониторинг пространственных и временных изменений, величин альbedo представляет большой интерес для изучения изменчивости регионального климата, выявления облачно-радиационных обратных связей и

особенностей климатических изменений. Эти данные могут использоваться в моделях общей циркуляции атмосферы и океана.

## Библиографический список

1. Богданов М.Б., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю. Связь шкал измерителей коротковолновой отраженной радиации ИКОР-М ИСЗ "Метеор-М" № 1 и № 2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т 13. № 4. С. 252-260.

2. Воробьев В.А., Скляр Ю.А. Программа декодирования данных радиометра ИКОР «SSU Decoder». Свидетельство № 2011610921 от 30 ноября 2010 года.

3. Котума А.И. Уходящая коротковолновая радиация и альbedo системы Земля-атмосфера с ИСЗ «Метеор-3» № 7. Диссертация канд. географ. наук. Саратов. 1998.

4. Котума А.И., Скляр Ю.А., Фомина Н.В. Программа расчета среднесуточного альbedo АЛЬБЕДОМЕТР. Свидетельство № 2009612384 от 12 мая 2009 г.

5. Котума А.И., Скляр Ю.А., Червяков М.Ю. Программа редактирования и анализа полей для ИКОР «IKOR Fields Editor». Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ № 2013618768 от 17 сентября 2013 года.

6. Семенова Н.В. Уходящая коротковолновая радиация и альbedo на верхней границе атмосферы по наблюдениям с гелиосинхронного ИСЗ «Ресурс-01» № 4. Диссертация канд. географ. наук. Саратов. 2003.

7. Скляр Ю.А., Бричков Ю.И., Воробьев В.А., Котума А.И. Измерения уходящего коротковолнового излучения и альbedo радиометром ИКОР с ИСЗ «Метеор-3» № 7 // Исследование Земли из космоса. 1999. № 2. С. 15-26.

8. Скляр Ю.А., Бричков Ю.И., Воробьев В.А., Котума А.И. Об обработке данных спутниковых измерений уходящих радиационных потоков широкоугольными радиометрами // Исследование Земли из космоса. 1996. № 3. С. 48-56.

9. Скляр Ю.А., Бричков Ю.И., Семенова Н.В. Радиационный баланс Земли. Введение в проблему. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. 2009. - 188 с.: ил.

10. Скляр Ю.А., Бричков Ю.И., Фомина Н.В., Котума А.И., Семенова Н.В. Определение среднесуточных величин альбедо с использованием спутниковых направленных моделей // Исследование Земли из космоса. 2005. № 3. С. 13-21.

11. Скляр Ю.А., Бричков Ю.И., Фомина Н.В. Оценка наблюдаемости земной поверхности для надирных радиометров с различных ИСЗ // Исследование Земли из космоса. 2006. № 2. С. 3-10.

12. Скляр Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю., Фейгин В.М. Алгоритм обработки данных наблюдений уходящей коротковолновой радиации с ИСЗ "Метеор-М" № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 3. С. 83-90.

13. Скляр Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю., Фейгин В.М. Измерения компонентов радиационного баланса Земли с ИСЗ "Метеор-М" №1. Аппаратура ИКОР-М // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 2. С. 173-180.

14. Скляр Ю.А., Фомина Н.В., Котума А.И., Семенова Н.В. Альbedo, поглощенная солнечная радиация и уходящая длинноволновая радиация по материалам атласов NASA США // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2009. Т. 9. Вып. 1. С. 44-55.

15. Скляр Ю.А., Фомина Н.В., Котума А.И., Семенова Н.В. Об особенностях определения среднесуточных величин альбедо в высоких



широтах // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2009. Т. 9. Вып. 1. С.56-60.

16. Скляр Ю.А., Червяков М.Ю., Воробьёв В.А., Котума А.И., Фейгин В.М. Некоторые результаты обработки данных поглощённой солнечной радиации и альбедо, полученных с помощью аппаратуры ИКОР-М // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2013. Вып. 2. Т. 13. С. 30-33

17. Скляр Ю.А., Червяков М.Ю., Воробьёв В.А., Котума А.И., Фейгин В.М. Особенности распределения альбедо в 2010-2012 гг по данным с ИСЗ "Метеор-М" № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10. № 4 С. 107-117.

18. Скляр Ю.А., Червяков М.Ю., Воробьёв В.А., Котума А.И., Фейгин В.М. Особенности распределения поглощённой солнечной радиации в 2010-2012 гг по данным с ИСЗ "Метеор-М" № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10. № 2 С. 272-283.

19. Скляр Ю.А., Червяков М.Ю., Котума А.И. Лаборатория исследования составляющих радиационного баланса Земли Саратовского государственного университета / География в Саратовском университете. Современные исследования: сб. науч. тр. / под ред. А.Н. Чумаченко. - Саратов: Изд-во Сарат. ун-та. 2014. С. 166 - 172.

20. Фомина Н.В. Глобальное распределение составляющих радиационного баланса Земли по данным ИСЗ России и США. Диссертация канд. географ. наук. Саратов. 2009.

21. Червяков М.Ю. Межгодовая изменчивость поглощенной солнечной радиации и альбедо в арктическом регионе // Молодёжь. Наука. Инновации: Сборник докладов 64-й международной молодежной научно-технической конференции, г. Владивосток, 21-25 ноября 2016 г. В 2 т. – Владивосток: Мор. гос. ун-т. 2016. Т. 1. С. 524-528.

22. Червяков М.Ю., Скляр Ю.А., Котума А.И. Наблюдения уходящей коротковолновой радиации с искусственного спутника Земли «Метеор-М» № 1 // Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты: труды XVI Международной школы-конференции молодых ученых / РАН, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова [и др.] – Москва: Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. 2012. С. 212-215.