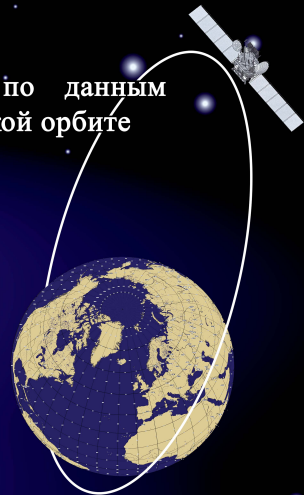




Метод определения векторов ветра в атмосфере Арктического региона по данным перспективного космического аппарата серии «Арктика-М» на высокоэллиптической орбите

Сдобьев В.И., Соловьева И.С., Фролова Е.А., Салагина А.А.



Параметры орбиты КА «Арктика-М»

высота в апогее ~ 40 000 км
 высота в перигее ~ 1000 км
 эксцентриситет - 0.704
 наклонение - 63 градуса
 период обращения КА ~ 12 часов

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике широко используется метод определения параметров векторов ветра (скорость, направление и высота) по данным радиометров метеорологических космических аппаратов (КА), функционирующих на геостационарной орбите. В основе метода лежит выявление и отслеживание движения облаков-трассеров на фоне неподвижной земной поверхности по серии трех последовательных по времени спутниковых изображений с неизменным центром проецирования. Данный эффект обусловлен тем, что «точка стояния» КА на геостационарной орбите фиксирована.

В связи с предстоящим выводением на высокоэллиптическую орбиту перспективного метеорологического КА серии «Арктика-М», специалистами ФГБУ «НИЦ «Планета» был разработан метод определения векторов ветра, учитывающий получение разномасштабных спутниковых изображений со смещающимся центром проецирования за счет движения КА по высокоэллиптической орбите.

Схематическое представление метода в общем виде



Для выявления и отслеживания движения облаков-трассеров ветра будут использоваться три последовательных по времени изображения, полученные в диапазоне спектра 10.2-11.2 мкм (ИК-канал).

В отличие от КА на геостационарной орбите положение на высокоэллиптической орбите меняется относительно земной поверхности, поэтому для определения векторов ветра спутниковые изображения, получаемые с КА на высокоэллиптической орбите, необходимо привести к единому центру проецирования и масштабу. Для этого 1-е и 3-е изображения преобразуются к такому виду, как если бы они были получены при положении космического аппарата, соответствующего 2-ому центральному изображению.

Для преобразования изображений необходимо решить прямую и обратную геодезические задачи для каждого элемента первого и третьего изображения, используя общие теоретические положения координатной привязки спутниковых изображений.

При решении прямой геодезической задачи для каждого элемента изображения вычисляются географические координаты (B, L) соответствующих точек на Земле. Математически это сводится к определению координат пересечения с земной поверхностью луча визирования, соответствующего каждой точке изображения.

При решении обратной геодезической задачи для каждой точки земной поверхности с известными географическими координатами (B, L) определяется ее положение (номер строки и номер элемента) на изображении.

После приведения первого и третьего изображений к центру проецирования второго изображения выполняется задача поиска облаков-трассеров ветра.

Центральное изображение делится на фрагменты 12*12 элементов. Затем для выявления облаков-трассеров на 1-ом и 3-ом изображениях выделяются фрагменты размером 64*64 элемента с тем же центром, что и на центральном изображении. Последовательным перемещением исходного фрагмента 12*12 элементов со второго изображения по фрагменту 64*64 элемента на 1-ом и 3-ом изображениях отыскивается положение с наименьшим рассогласованием яркостей изображения (метод наименьшего рассогласования).

Выявленное смещение исходного фрагмента относительно центров фрагментов 64*64 элемента на 1-ом и 3-ем изображениях по признаку наименьшего рассогласования яркостей элементов, указывает на смещение облачности под действием ветра.

После того, как выявлены все возможные облака - трассеры ветра и определены их координаты на первом, втором и третьем изображениях, вычисляются направление, скорость их перемещения и высота (определяется с использованием вертикального профиля атмосферы по температуре облачности), идентифицируемые с направлением, скоростью и высотой векторов ветра.

Зная координаты облака-трассера на первом, втором и третьем изображениях, вычисляются широта, долгота в три момента времени. По координатам первого-второго и второго-третьего трассеров вычисляется расстояние, пройденное облаком-трассером, а затем делением на время определяется скорость перемещения, идентифицируемая со скоростью ветра. Направление ветра определяется как азимут линии, соединяющей точки конца и начала вектора ветра. Высота вектора ветра идентифицируется с высотой облака-трассера. Параметры, характеризующие скорость, направление и высоту векторов ветра, найденные по первому-второму и второму-третьему изображениям, должны согласовываться между собой с заданной погрешностью. В случае несогласования данные исключаются. Оценка точности будет выполняться путем сравнения полученных результатов с данными радиозондирования.

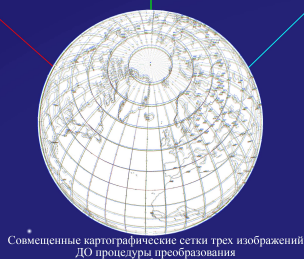
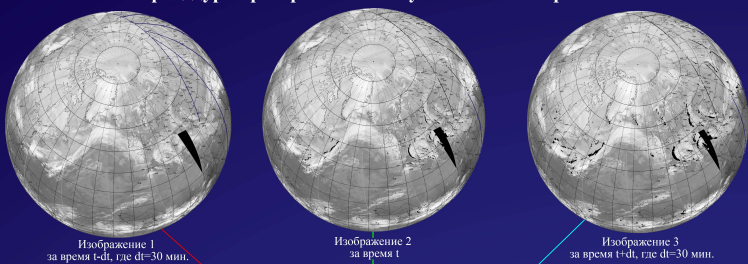
Заключение:

На основе изложенного метода разработано программное обеспечение обработки данных с перспективного КА «Арктика-М» на языке программирования Fortran. Программное обеспечение было отлажено на изображениях, смоделированных по данным MSU-MP КА «Метеор-М» №2.

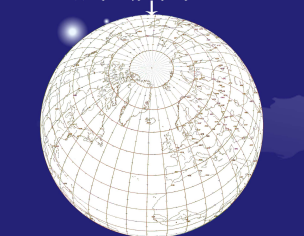
Практическая значимость выполненной работы:

1. Данные о характеристиках ветра могут быть использованы в численной модели прогноза погоды, для повышения ее точности.
2. Данные о характеристиках ветра в районе высоких северных широт будут востребованы в связи с расширяющимся использованием арктических и приарктических районов.
3. Разработанное программное обеспечение войдет в создаваемый «Комплекс программно-технических средств регистрации, обработки, архивирования и распространения информации с КА «Арктика-М».

Процедура преобразования спутниковых изображений

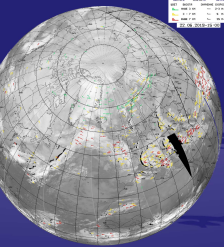


Совмещенные картографические сетки трех изображений ДО процедуры преобразования

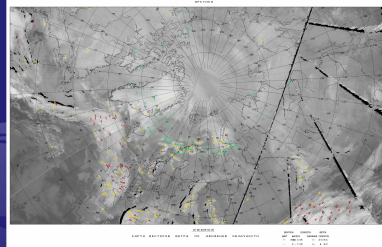


Совмещенные картографические сетки трех изображений ПОСЛЕ процедуры преобразования

Выходные данные СПО, разработанного на основе изложенного метода



Визуализированное представление векторов ветра в проекции изображения



Карта в стереографической проекции с нанесенными векторами ветра

Time	Lat	Lon	Speed	Dir	Height
1000	70	10	5	135	1000
1000	70	20	3	135	1000
1000	70	30	2	135	1000
1000	70	40	1	135	1000
1000	70	50	1	135	1000
1000	70	60	1	135	1000
1000	70	70	1	135	1000
1000	70	80	1	135	1000
1000	70	90	1	135	1000
1000	70	100	1	135	1000
1000	70	110	1	135	1000
1000	70	120	1	135	1000
1000	70	130	1	135	1000
1000	70	140	1	135	1000
1000	70	150	1	135	1000
1000	70	160	1	135	1000
1000	70	170	1	135	1000
1000	70	180	1	135	1000
1000	70	190	1	135	1000
1000	70	200	1	135	1000
1000	70	210	1	135	1000
1000	70	220	1	135	1000
1000	70	230	1	135	1000
1000	70	240	1	135	1000
1000	70	250	1	135	1000
1000	70	260	1	135	1000
1000	70	270	1	135	1000
1000	70	280	1	135	1000
1000	70	290	1	135	1000
1000	70	300	1	135	1000
1000	70	310	1	135	1000
1000	70	320	1	135	1000
1000	70	330	1	135	1000
1000	70	340	1	135	1000
1000	70	350	1	135	1000
1000	70	360	1	135	1000
1000	70	370	1	135	1000
1000	70	380	1	135	1000
1000	70	390	1	135	1000
1000	70	400	1	135	1000
1000	70	410	1	135	1000
1000	70	420	1	135	1000
1000	70	430	1	135	1000
1000	70	440	1	135	1000
1000	70	450	1	135	1000
1000	70	460	1	135	1000
1000	70	470	1	135	1000
1000	70	480	1	135	1000
1000	70	490	1	135	1000
1000	70	500	1	135	1000
1000	70	510	1	135	1000
1000	70	520	1	135	1000
1000	70	530	1	135	1000
1000	70	540	1	135	1000
1000	70	550	1	135	1000
1000	70	560	1	135	1000
1000	70	570	1	135	1000
1000	70	580	1	135	1000
1000	70	590	1	135	1000
1000	70	600	1	135	1000
1000	70	610	1	135	1000
1000	70	620	1	135	1000
1000	70	630	1	135	1000
1000	70	640	1	135	1000
1000	70	650	1	135	1000
1000	70	660	1	135	1000
1000	70	670	1	135	1000
1000	70	680	1	135	1000
1000	70	690	1	135	1000
1000	70	700	1	135	1000
1000	70	710	1	135	1000
1000	70	720	1	135	1000
1000	70	730	1	135	1000
1000	70	740	1	135	1000
1000	70	750	1	135	1000
1000	70	760	1	135	1000
1000	70	770	1	135	1000
1000	70	780	1	135	1000
1000	70	790	1	135	1000
1000	70	800	1	135	1000
1000	70	810	1	135	1000
1000	70	820	1	135	1000
1000	70	830	1	135	1000
1000	70	840	1	135	1000
1000	70	850	1	135	1000
1000	70	860	1	135	1000
1000	70	870	1	135	1000
1000	70	880	1	135	1000
1000	70	890	1	135	1000
1000	70	900	1	135	1000
1000	70	910	1	135	1000
1000	70	920	1	135	1000
1000	70	930	1	135	1000
1000	70	940	1	135	1000
1000	70	950	1	135	1000
1000	70	960	1	135	1000
1000	70	970	1	135	1000
1000	70	980	1	135	1000
1000	70	990	1	135	1000
1000	70	1000	1	135	1000

Цифровой файл с данными о векторах ветра