

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ДЛЯ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ

Ю.В. Алферов, В.В. Копейкин

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации
alferov@mecom.ru, v.v.kopeykin@mail.com*

Данные о высоте снежного покрова – одно из входных полей модели атмосферы. Эти данные существенно влияют на радиационный баланс в модели. Используемое поле высоты снега часто получают из климатического поля путем подправления его соответствующими данными приземных наблюдений. Сеть таких наблюдений довольно редка, особенно в районах Арктики и Антарктики, к тому же в них иногда содержатся ошибки. Все это приводит к относительной грубости получаемого поля и его малой временной изменчивости, что плохо сказывается на прогнозах погоды, особенно в периоды интенсивной атмосферной перестройки и связанными с этим условиями для перемежающихся процессов таяния и установления снежного покрова – весной и осенью.

В качестве одного из решений задачи, связанной с исправлением указанной ситуации, предлагается дополнительное уточнение поля высоты снежного покрова на основе маски реального его распределения, получаемой с привлечением данных спутникового зондирования.

Маска снежного покрова для модели производится из маски снег-лед, подготавливаемой в Национальной Администрации США по океану и атмосфере (**National Oceanic and Atmospheric Administration** – NOAA), изготовленной, в свою очередь, на основе мультисенсорных спутниковых наблюдений – NOAA

multisensor snow/ice cover product
 (http://satepsanone.nesdis.noaa.gov/northern_hemisphere_multisensor.html). Продукт NOAA представляет собой два поля отдельно для Северного и Южного полушарий с шагом 0,04° по долготе и широте (приблизительно 4 км) – 9000×2250 точек. Первая точка поля для Северного полушария – 179,98° з. д. 89,98° с. ш., а для Южного – 179,98° з. д. 0,02° ю. ш. Поля расположены в отдельных файлах поширотно с запада на восток и с севера на юг. Каждое значение поля – однобайтовое беззнаковое целое число – код. Смысл кодов расшифровывается в таблице. Значение кода в точке сетки относится к ячейке размером 0,04°×0,04°, окружающей данную точку.

Таблица

Коды и их значения в поле мультисенсорной спутниковой продукции NOAA

Код	Значение
0	Вода (море, озеро)
1	Суша
2	Снег
3	Лед
20	Всегда подразумевается вода (между 25° с. ш. и 25° ю. ш.)
21	Всегда подразумевается суша (между 25° с. ш. и 25° ю. ш.)
200	Над сушей, наличие снега/льда не определено
210	Над водой, наличие снега/льда не определено

Выходная продукция процедуры подготовки маски снежного покрова представляет собой поле на сетке модели, каждое значение которого в точке сетки равно доле (в процентах) покрытия снегом ячейки, окружающей данную точку. При вычислениях делаются следующие допущения:

- покрытие льдом приравнивается к покрытию снегом, поскольку, как правило, лед покрыт снегом;
- отсутствие данных во входном поле (коды 200 и 210) приравнивается к отсутствию снега.

Идея алгоритма заключается в том, что для каждой ячейки модельной сетки подсчитывается сумма площадей ее пересечений с ячейками поля NOAA, содержащими снег (рис. 1). Затем полученная сумма делится на площадь ячейки, т. е. результат вычисляется по формуле

$$F_{snow} = \frac{\sum_i S_{snow}^i}{S_{Model_cell}} \times 100 \% \quad (1)$$

Здесь F_{snow} – искомая доля покрытия снегом ячейки модельной сетки; S_{snow}^i – площадь попавшей в рассматриваемую модельную ячейку части i -ой покрытой снегом ячейки поля NOAA; S_{Model_cell} – площадь рассматриваемой модельной ячейки.

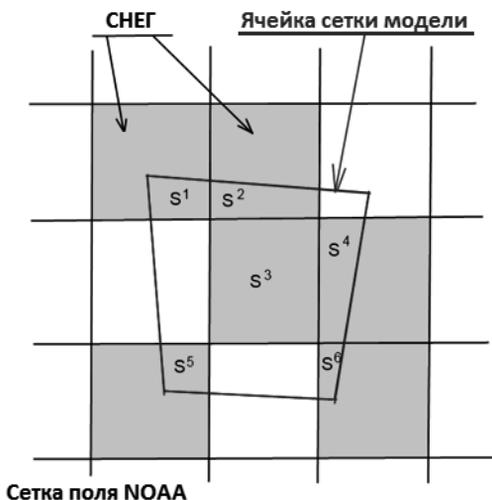


Рис. 1. К идее алгоритма построения маски снежного покрова.

Для простоты все вычисления будем производить в системе декартовых координат, по значениям совпадающих с географическими долготой и широтой. Алгоритм отсечения частей ячеек поля NOAA сторонами модельной ячейки следующий. Пусть ячейка NOAA – прямоугольник с вершинами $(x1,y1)$ и $(x2,y2)$,

расположенными по диагонали. Отсекать будем четырьмя прямыми, проходящими вдоль ее сторон. Например, сначала отсекаем прямой $x = x_1$ (левой стороной ячейки). Ищем точки ее пересечения со сторонами модельной ячейки и добавляем их в состав многоугольника отсечения. Затем удаляем все вершины модельной ячейки, что лежат левее этой прямой. Так мы отсекали ячейку модели (вообще говоря, многоугольник) слева. Теперь аналогично отсекаем справа, потом сверху и снизу.

Площадь многоугольника в общем виде предлагается считать через сумму площадей трапеций, образованных каждой из сторон многоугольника, осью абсцисс (долгот) и ординатами ее концов (широтами). Для компенсации криволинейности поверхности (с некоторым огрублением) ввиду того, что полигон находится не на плоскости, а на сфере, вычисленная площадь умножается на косинус средней широты. Таким образом, формула для вычисления площади многоугольника принимает следующий вид:

$$S = \left| \left(\sum_{i=1}^n (\lambda_{i+1} - \lambda_i) \cdot (\varphi_i + \varphi_{i+1}) \right) \cdot \cos \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n} \right|. \quad (2)$$

Здесь λ_i, φ_i – долготы и широты вершин многоугольника соответственно; n – количество вершин. Предполагается, что $n+1$ заменяется на 1. Кроме того, постоянные множители, включая радиус сферы (Земли), в формуле опущены ввиду того, что мы интересуемся в конечном счете не площадями, а их отношениями. Вершины многоугольника перебираются строго последовательно, это обеспечивает нужные знаки слагаемых.

На рис. 2 представлен пример, подготовленной для спектральной модели T339L31 [2] снежной маски за 10 октября 2013 г. Видно, что достаточно реалистично и достоверно проработана структура снежного покрова, в том числе и в районах высоких гор. Однако в связи с тем, что размер ячейки даже указанной модели T339 остается довольно большим (линейный размер около 40 км), покрытие ячеек снегом в горных районах довольно низкое. Тем не менее можно утверждать, что при повышении в дальнейшем разрешения модели процедура подготовки маски снежного покрова не потеряет своей актуальности.

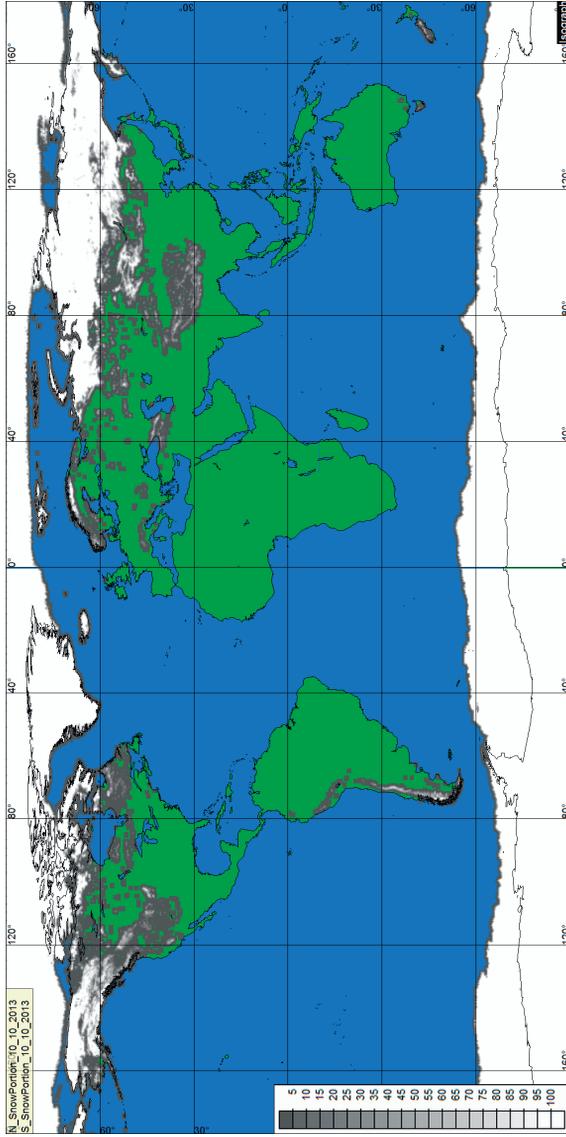


Рис. 2. Пример маски снежного покрова для спектральной модели атмосферы за 10 октября 2013 г.

Удается также «поймать» высокую изменчивость поля снежного покрова в периоды значительной атмосферной перестройки. Так, на рис. 3 показаны три карты за октябрь 2013 г. с разницей между ними в два дня. Видно, как изменяется снежное покрытие Восточной Сибири и севера Северной Америки.

Прямое сопоставление климатического поля снежного покрова, подправленного данными наблюдений, и новой маски снежного покрова выявляет преимущества последней. Поля старой и новой масок показаны на рис. 4. Видно, что в Северном полушарии в целом маски неплохо соответствуют друг другу, хотя расхождение все же имеется, а в Южном — преимущество новой маски очевидно.

С помощью описанной процедуры удается также несколько уточнить распределение снежного покрова и для мезомасштабной модели. В частности, на рис. 5 показаны распределение снежного покрова 23 февраля 2012 г., подаваемого на вход модели COSMO, настроенной для прогноза в районе зимней Олимпиады «Сочи-2014» [1], и заданного на более грубой сетке модели COSMO-Ru (шаг 7 км), и маска снежного покрытия, приготовленная по описываемой технологии непосредственно для сетки модели района Олимпиады (шаг 2,2 км). Видно, что в целом удается «поймать» более тонкую структуру поля снежного покрова. В соответствии с первым допущением при подготовке маски покрытая льдом акватория Азовского моря оказалась «припорошенной» снегом. Последнее обстоятельство, впрочем, легко исправимо, если практика покажет ошибочность указанного допущения.

Таким образом, разработана процедура построения маски снежного покрова для используемых в Гидрометцентре России моделей атмосферы, обеспечивающая необходимую временную изменчивость данных и имеющая потенциал при развитии моделей, повышении их разрешения.

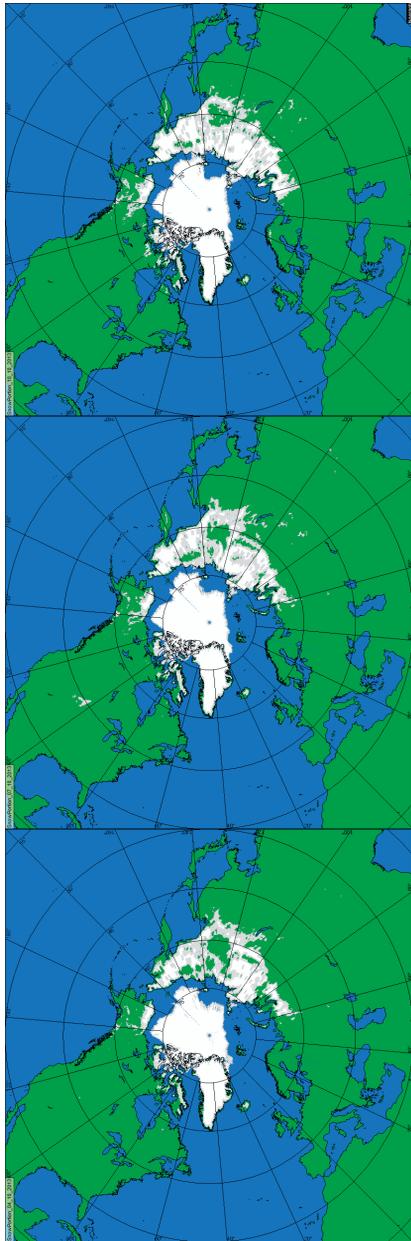


Рис. 3. Пример изменчивости поля маски снежного покрова за 4, 7 и 10 октября 2013 г. Показаны только ячейки с покрытием более 90 %.

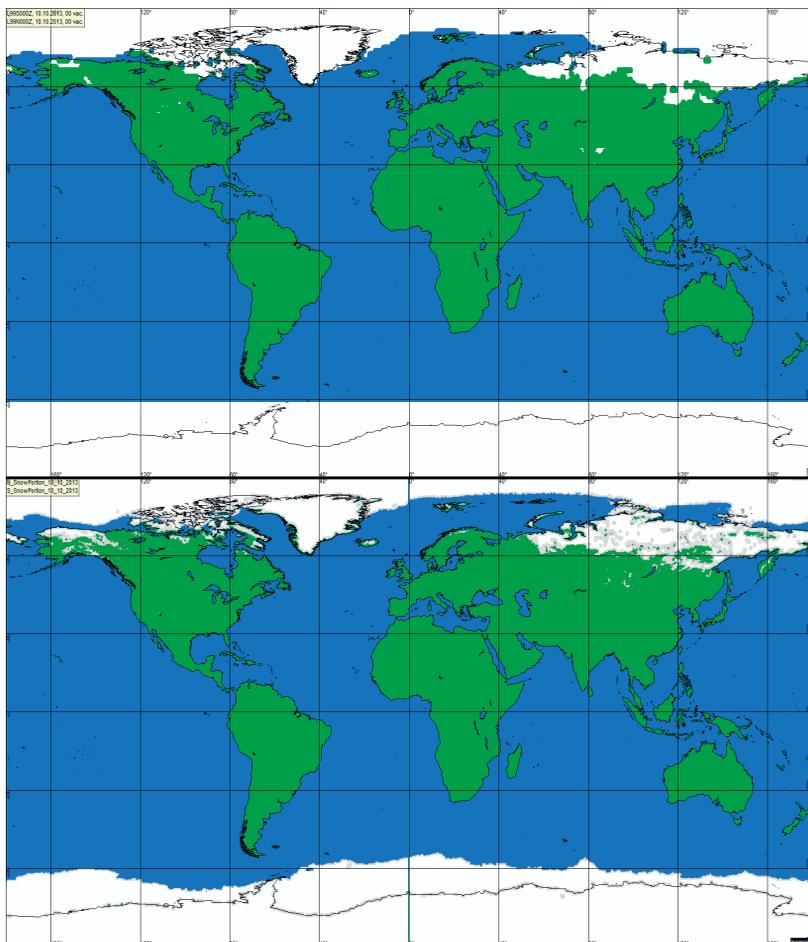


Рис. 4. Сравнение старой и новой маски снежного покрова для спектральной модели. Вверху – поле высоты снежного покрова, подготовленное из климатических данных с учетом данных приземных наблюдений, внизу – новая маска, рассчитанная с использованием спутникового продукта NOAA (покрытие более 90 %). Оба поля за 10 октября 2013 г.

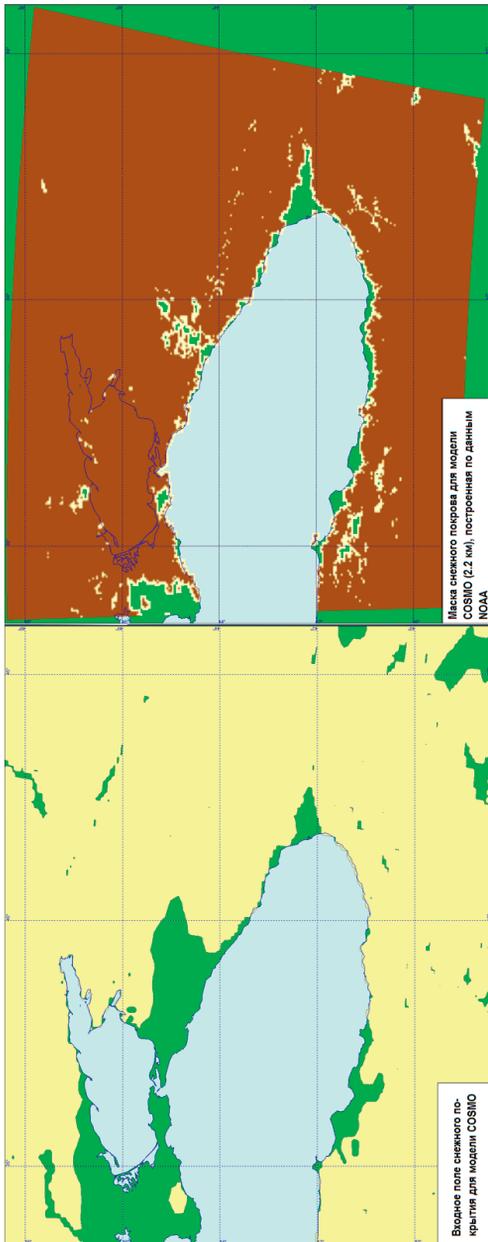


Рис. 5. Маска снежного покрова для модели COSMO 23 февраля 2012 г. Слева – входное поле для модели района Олимпиады «Сочи-2014». Справа – маска снежного покрова, уточненная данными NOAA. Снег указан в желто-коричневой гамме, зеленым цветом показана суша без снега либо область вне сетки модели.

Список использованных источников

1. Киктев Д.Б., Астахова Е.Д., Блинов Д.В., Зарипов Р.Б., Муравьев А.В., Ривин Г.С., Розинкина И.А., Смирнов А.В., Цырульников М.Д. Развитие прогностических технологий для метеорологического обеспечения зимней Олимпиады «Сочи-2014» // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 10. – С. 5–15.

2. Розинкина И.А., Астахова Е.Д., Пономарева Т.Я., Цветков В.И., Алферов Ю.В., Васькова Д.В. Технология оперативного выпуска глобальных прогнозов на 1–10 суток на основе модели T169L31 (шаг сетки 60–70 км) на новой суперкомпьютерной технике ММЦ Москва // Труды Гидрометцентра России. – 2011. – Вып. 346. – С. 121–145.

Поступила в редакцию 15.01.2015 г.