

РАСЧЕТ ВЫСОТЫ СВЕЖЕВЫПАВШЕГО СНЕГА С ПОМОЩЬЮ РЕЗУЛЬТАТОВ АТМОСФЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ COSMO-RU)

Е.В. Казакова, М.М. Чумаков, И.А. Розинкина

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации
kaza4ok-87@mail.ru, Inna.Rozinkina@mail.ru*

Введение

Современные модели атмосферы позволяют получить достаточно точные прогнозы для все большего количества метеорологических характеристик. Осадки различных видов в этом списке занимают важнейшее место. Особые успехи с прогнозированием все более и более реалистичных значений сумм осадков связаны с быстро развивающимися технологиями оперативного численного прогноза на основе негидростатических мезомасштабных моделей с разрешением сетки в несколько км.

Согласно алгоритмам моделирования атмосферного звена гидрологического цикла, модельными осадками считается масса достигшей земной поверхности воды (с учетом ее фазового состояния) за заданный отрезок времени, т. е. накопленный водный эквивалент. В тех же терминах, согласно регламентам ВМО, поступают и сведения о выпавших осадках с синоптической измерительной сети, а также составляются прогнозы погоды общего назначения.

Согласно изложенной структуре «данные – численный прогноз – прогноз общего назначения», в случае выпадения твердых или смешанных осадков пользователям не предусматривается и не возможно предоставление очень востребованной (транспорт, электросети, организация зимних спортивных мероприятий, коммунальные службы и др.) информации о толщине

слоя снега после состоявшегося или прогнозируемого снегопада. При отдельных видах специализированного обслуживания синоптиками традиционно используются простейшие формулы пересчета водного эквивалента.

Для определения высоты свежеснег выпавшего снега в оперативной синоптической практике применяются, как правило, простые эмпирические зависимости, основанные на предположении о постоянных значениях его плотности. При этом не учитываются существенные различия в плотности в зависимости от температуры воздуха (см. обзор в [2]). Применение более обоснованных сложных зависимостей должно быть обеспечено на основе автоматизированных технологий.

На гидрометеорологических станциях (ГМС) сети Росгидромета производятся измерения высоты снежного покрова, и один раз в сутки ее значения передаются по каналам связи в международный обмен. Такая дискретность измерений недостаточна для аккуратного определения высоты снега в результате снегопадов, так как за этот отрезок времени в снежном покрове могут произойти существенные изменения (снег может уплотниться, растаять, снестись ветром). В некоторых районах России установлены автоматические метеорологические станции (АМС), которые измеряют высоту снега с более высокой дискретностью по времени (раз в 10 минут). Однако, как показала практика их использования, данные, получаемые с них, должны подвергаться тщательному контролю качества, поскольку достоверность этих измерений очень чувствительна к правильности установки, условиям эксплуатации и регулярности технического обслуживания АМС. Поэтому информация по снегу, получаемая с АМС, не всегда может непосредственно использоваться в оперативной практике.

Результаты расчетов негидростатических мезомасштабных моделей атмосферы с шагом сетки в несколько км в настоящее время широко используются прогнозистами при составлении прогноза погоды. Для наглядного представления результатов атмосферного моделирования применяется постпроцессинг (постобработка) – совокупность алгоритмов и средств,

позволяющих рассчитывать по диагностическим соотношениям дополнительные гидрометеорологические характеристики, выполнять различные манипуляции результатами моделирования, например, перевод в другие системы единиц, отбор, интерполяцию, подготовку данных для формирования графической модельной продукции или обеспечения записи в базы данных и т. д. Выполнение расчетов плотности выпадающего снега с привлечением параметрических зависимостей может быть включено в системы постпроцессинга оперативных технологий моделирования.

Настоящая работа посвящена описанию создания технологической цепочки в рамках постпроцессинга системы COSMO-Ru [1, 3] и аспектам тестирования полученных на ее основе результатов, выполненных для региона горного кластера зимней Олимпиады Сочи 2014 для периода ее проведения.

Цели работы

Главной целью работы было предложение пользователям продукции системы мезомасштабного прогноза COSMO-Ru нового вида информации – прироста снега за несколько часов. (Отметим, что система мезомасштабного моделирования COSMO-Ru [1, 3] стала использоваться в синоптической практике Росгидромета в качестве основного средства мезомасштабного численного прогноза с 2011 года).

Для достижения поставленной цели потребовалось решить ряд алгоритмических и технологических вопросов.

К алгоритмическим задачам можно отнести формирование предложений и тестирование алгоритма вычисления плотности выпавшего снега (следовательно, мощности его слоя), к технологическим – совмещение вычислений данной характеристики с существующими звеньями постпроцессинга оперативной системы COSMO-Ru. Дополнительной задачей было выполнить анализ успешности вычислений высоты выпавшего снега по COSMO-Ru (с включенным в ее постпроцессинг предложенного соответствующего алгоритма) по данным наблюдений изменения высоты снега на АМС и ГМС Северо-Кавказского региона в период

проведения зимней Олимпиады Сочи-2014. Технологические аспекты заключались в выполнении работ по совмещению расчетов предложенного модуля с оперативно функционирующими системами постпроцессинга COSMO-Ru.

Постпроцессинг COSMO-Ru позволяет выдавать пользователям продукцию в виде таблиц и графиков – метеограмм изменения во времени большого количества метеопараметров у земной поверхности для заданных точек, а также формировать поля различных метеорологических параметров на координатных сетках, позволяющих строить карты этих полей.

При формировании таблиц-метеограмм высота выпавшего снега может быть рассчитана на основе значений элементов, включенных в таблицу. Особенностью технологических изменений в рамках выполненной настоящей работы был тот факт, что в рамках подготовки метеообеспечения Сочи-2014 в Гидрометцентре России был предложен и внедрен алгоритм коррекции модельной приземной температуры воздуха для горной местности на основе введения поправок, связанных с различием модельных и фактических высот рельефа для точек, для которых строится метеограмма. Очевидно, что при больших различиях такие температурные поправки должны быть учтены при расчетах мощности слоя выпадающего снега, особенно при температурах, близких к нулю градусов.

Для обработки продукции в узлах сетки в консорциуме COSMO был разработан программный модуль универсального постпроцессинга FieldExtra [5] с очень широким набором функций и возможностей (интерполяция на различные сетки, диагностические расчеты значительного количества характеристик, сопоставление и коррекция отдельных метеопараметров и др.). Одной из задач проведенной работы было адаптировать и внедрить в FieldExtra разработанный алгоритм расчета высоты выпавшего снега на основе данных о температуре воздуха, что в дальнейшем позволило бы предоставить пользователям расчетную информацию в виде карт.

Результаты внедрения алгоритма расчета высоты выпавшего снега в постпроцессинг системы COSMO-Ru

Непосредственно перед началом зимней Олимпиады в Сочи (с 3 февраля 2014 года) в Гидрометцентре России на основе прогнозов количества осадков, полученных с помощью «вложенных» версий модели COSMO-Ru с шагами сеток 7 км (COSMO-Ru7), 2,2 км (COSMO-Ru2) и 1,1 км (COSMO-Ru1), начали подготавливаться прогностические карты высоты свежевывавшего снега. Построение карт выполнялось по данным оперативных прогнозов по начальным данным в сроки 00, 06, 12 и 18 ч ВСВ.

Значения высоты выпавшего снега записывались также в метеограммы для станций, расположенных в Северо-Кавказском регионе. Прогностические значения рассчитывались с учетом откорректированной по высоте приземной температуры.

Обеспечивающая выпуск данных видов информации технологическая ветвь в рамках постпроцессинга системы COSMO-Ru изображена на рис. 1.

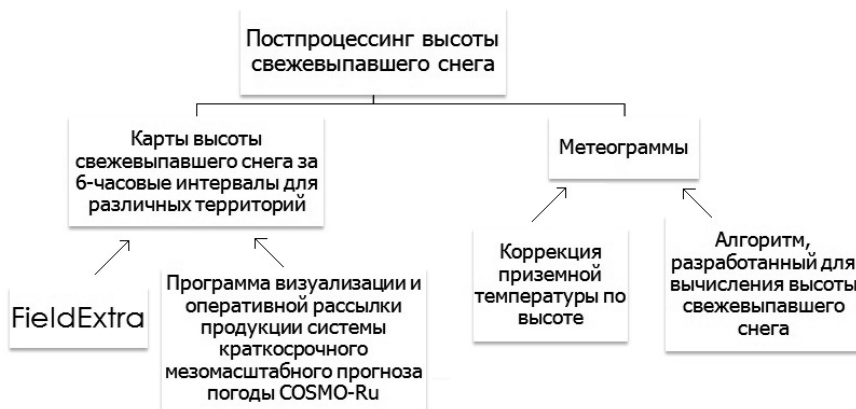


Рис. 1. Схема расчетов высоты свежевывавшего снега в Гидрометцентре России (на основе мезомасштабной модели COSMO-Ru).

Выходная продукция – это карты высоты свежевыпавшего снега за 6-часовые интервалы, подготавливаемые для моделей COSMO-Ru7, COSMO-Ru2 и COSMO-Ru1 четыре раза в сутки с использованием модуля FieldExtra, и метеограммы для станций.

Как видно из рис. 2 с приведенными результатами расчетов по различным конфигурациям модели, различия в картинах оказались существенными.

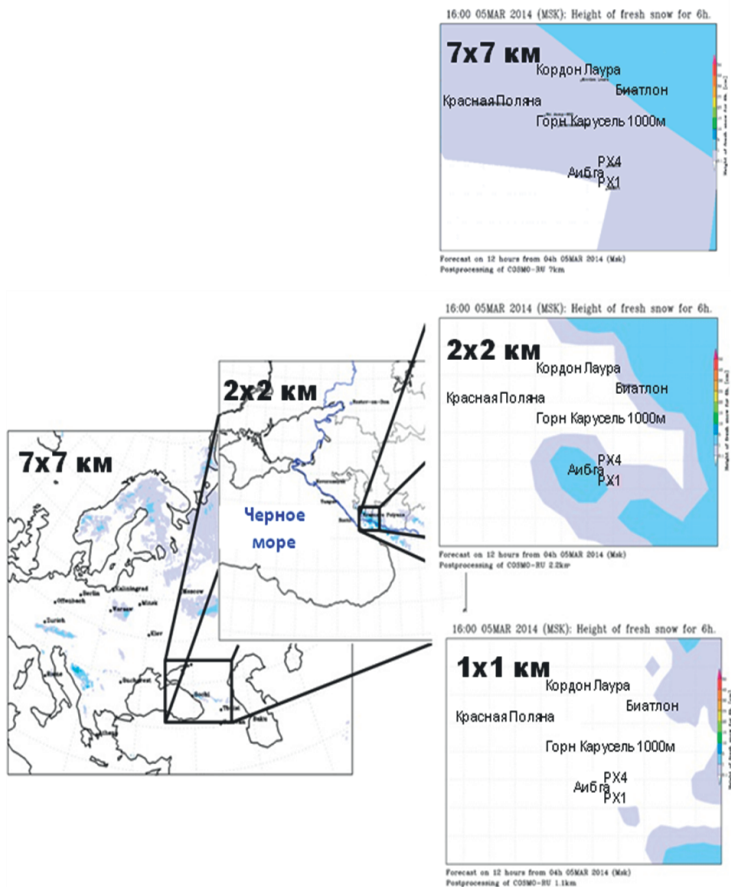


Рис. 2. Прогнозы на 12 часов высоты выпавшего за последние 6 часов снега по моделям COSMO-Ru7, COSMO-Ru2 и COSMO-Ru1. Старт – 00 ч ВCB 5 марта 2014 г.

Дело в том, что детализация рельефа и его модельные высоты для данного региона оказались принципиальными для прогнозирования фазы осадков, поскольку приходилось иметь дело с большими перепадами высот рельефа и температуры, а при сглаживании рельефа в случае более грубого разрешения (COSMO-Ru7) область с отрицательными температурами приземного воздуха оказывалась существенно больше, чем при высокодетальном моделировании (COSMO-Ru2, COSMO-Ru1), когда описание рельефа аккуратней учитывало протяженные долины и сравнительно небольшие участки высокогорий, для которых и было характерным выпадение снега. Помимо этого, выполненное в [4] тестирование указывает на более низкие суммы осадков, формируемые COSMO-Ru1 по сравнению с COSMO-Ru2.

Для первоначальной оценки качества работы предлагаемой системы использовались карты высоты свежевыпавшего снега и метеограммы, а также часовые данные АМС, расположенных на разных высотах на горнолыжном курорте Роза Хутор, и ежедневные данные измерений трех гидрометеорологических станций метеорологической сети Росгидромета (Аибга, Кордон Лаура, Горная Карусель-1500), находящихся в районе проведения зимней Олимпиады Сочи-2014.

Сложность выполнения тестирования определялась рядом факторов: во-первых, снегопады наблюдались в течение зимы 2013/2014 гг. всего несколько раз; во-вторых, сравнить данные моделирования с данными измерений представлялось возможным лишь на нескольких станциях

В период проведения зимней Олимпиады-2014 наблюдалось три случая со значительными снегопадами: 17–19 февраля, 21 февраля и 26–28 февраля. Рассмотрим основные особенности в воспроизведении высоты свежевыпавшего снега моделью COSMO-Ru в районе проведения зимней Олимпиады Сочи-2014.

Выполненное предварительное сравнение показало большую изменчивость прогнозов снегопадов на один и тот же период, стартовавших в различные моменты времени, причем «свежий» прогноз далеко не всегда оказывался лучшим по сравнению с другими, стартовавшими накануне. На основе достаточно

детального анализа временного распределения интенсивностей внутри периода снегопада оказалось невозможным сделать выводы о том, прогноз с какой заблаговременностью является более успешным, как и о том, какой прогноз точнее: полученный по версии модели с разрешением 2,2 или с разрешением 1,1 км.

Однако наибольшее соответствие с данными наблюдений по снегопадам в целом наблюдалось при осреднении всех реализаций.

Сравнение с данными аналогичных расчетов, предлагаемых на сайте www.snow-forecast.com [6], показало на систематическое занижение величин свежеснегавшего снега, представляемых на данном сайте, и более близкое к истине соответствие результатов, вычисляемых в рамках систем COSMO-Ru1 и COSMO-Ru2. Пример анализа одного из случаев снегопада по данным наблюдений Роза Хутор приведен в таблице.

Таблица

Высота свежеснегавшего снега, см, 18 февраля 2014 г. по данным измерений на АМС Роза Хутор-4, прогнозам моделей COSMO-Ru2 и COSMO-Ru1 и данным сайта www.snow-forecast.com

Данные наблюдений	Начальный срок прогноза (день час)						Данные сайта
	среднее	17 00	17 06	17 12	17 18	18 00	
28,2	COSMO-Ru2						12,0
	27,6	30,0	39,5	22,1	25,4	21,3	
28,2	COSMO-Ru1						12,0
	23,8	17,0	24,9	40,8	19,9	16,8	

Предложенная система дает более успешный прогноз свежеснегавшего снега с учетом использования откорректированной по высоте приземной температуры воздуха, нежели в случае применения приземной температуры воздуха, полученной на основе стандартной версии модели COSMO-Ru. Пример показан на рис. 3 для станции Аибга. В первой и частично во второй половине дня 4 марта 2014 г. моделью COSMO-Ru2 прогнозировались осадки в виде дождя.

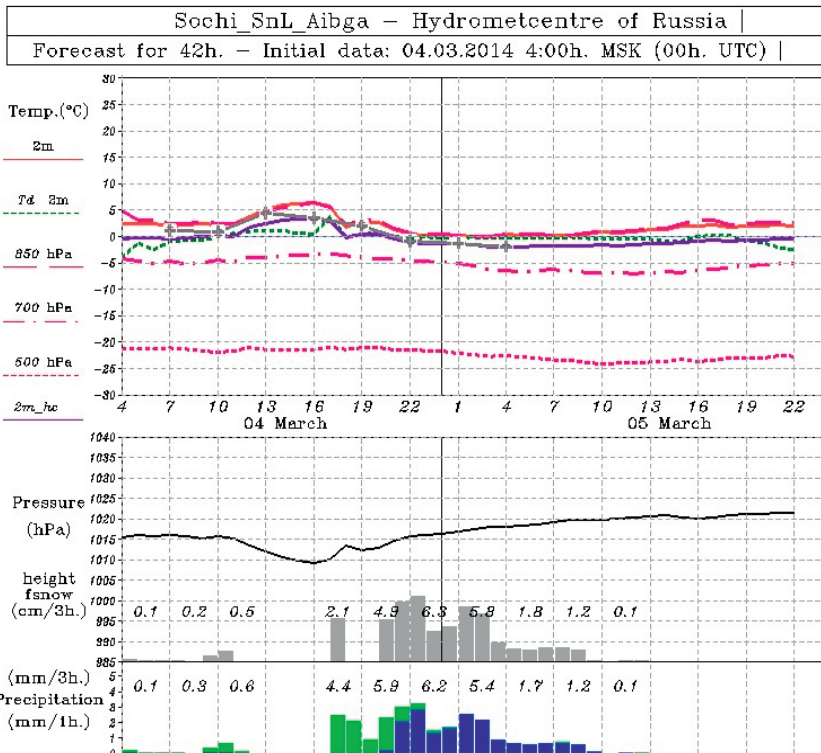


Рис. 3. Пример метеограммы, полученной с помощью версии модели COSMO-Ru2, для станции Аибга. Начало прогноза – 00 ч ВСВ 4 марта 2014 г.

Серыми столбиками показаны часовые суммы свежевыпавшего снега, цифрами наверху– его 3-часовые суммы. Синие столбики обозначают часовые суммы осадков в виде снега, зеленые – в виде дождя. Откорректированная по высоте приземная температура изображена сплошной фиолетовой линией, приземная температура – сплошной розовой линией.

Однако откорректированная по высоте температура оказалась несколько ниже первоначально рассчитанной, поэтому в системе постпроцессинга была воспроизведена высота свежеснеговывпавшего снега. Согласно измерениям, в ночь с 3 на 4 марта 2014 г. наблюдались осадки при слабо отрицательной температуре, и высота снежного покрова за сутки не изменилась. Это доказывает тот факт, что системой постпроцессинга правильно был предсказан вид осадков (снег): в случае выпадения дождя высота снежного покрова должна была уменьшиться (снег просел). Величина 12-часовых сумм осадков в 03 ч ВСВ 5 марта составила 4 мм, что дало прирост в высоте снежного покрова на 2 см за сутки. Вечером 4 марта и утром 5 марта наблюдателями был зафиксирован ливневый снег при температурах от слабо положительных до слабо отрицательных. Таким образом, предложенный алгоритм расчета высоты свежеснеговывпавшего снега на основе откорректированной по высоте температуры достаточно реалистично воспроизвел факт выпадения снега.

Карты свежеснеговывпавшего снега могут быть построены для любой территории, которая совпадает с расчетными сетками версий модели COSMO-Ru (см. рис. 2), например, для области, включающей большую часть Европейской территории России. Метеограммы, содержащие прогнозы высоты свежеснеговывпавшего снега, подготавливались в январе-марте 2014 г. для Северо-Кавказского региона с целью уточнения прогноза этого метеоэлемента в пунктах. Аналогичные метеограммы с данными о высоте свежеснеговывпавшего снега могут быть получены и для станций, расположенных в других регионах.

Тестирование показало, что разработанная система достаточно реалистично воспроизводит высоту свежеснеговывпавшего снега. Отметим также, что факт выпадения осадков в виде снега модель COSMO-Ru воспроизводит достоверно, однако количественные оценки зависят от заблаговременности прогноза.

Заключение

В Гидрометцентре России разработана и реализована система прогнозирования высоты свежеснеговывпавшего снега в рамках

постпроцессинга по COSMO-Ru. Данная система включает в себя подготовку карт свежеснежавшего снега за 6-часовые интервалы четыре раза в сутки по версиям модели с разрешениями 7, 2,2 и 1,1 км, а также дополнение метеограмм прогнозами свежего снега для пунктов. Предварительный анализ снегопадов, произошедших в Северо-Кавказском регионе в феврале 2014 года, показал, что выходная продукция модели COSMO-Ru, относящаяся к характеристикам свежеснежавшего снега, может использоваться при составлении прогноза погоды. Данная продукция использовалась синоптиками в рамках метеообеспечения зимней Олимпиады Сочи-2014, в частности для заполнения ежедневных бюллетеней и при планировании соревнований.

Список использованных источников

1. Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А. Мезомасштабный краткосрочный прогноз погоды в Гидрометцентре России на примере COSMO-RU // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 1. – С. 5–17.

2. Казакова Е.В., Чумаков М.М., Розинкина И.А. Алгоритм расчета высоты свежеснежавшего снега, предназначенного для постпроцессинга систем атмосферного моделирования (на примере COSMO) // Труды Гидрометцентра России. – 2013. – Вып. 350. – С. 164–179.

3. Ривин Г.С., Розинкина И.А., Багров А.Н., Блинов Д.В. Мезомасштабная модель COSMO-RU7 и результаты ее оперативных испытаний // Информационный сборник № 39. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2012. – С. 15–48.

4. Шатунова М.В., Ривин Г.С. Модель с высоким пространственным разрешением COSMO-Ru1: влияние внешних параметров на результаты моделирования // Труды Гидрометцентра России. – 2014. – Вып. 352. – см. настоящий выпуск.

5. <http://www.cosmo-model.org/content/support/software/default.htm>

6. www.snow-forecast.com

Поступила в редакцию 28.08.2014 г.