

УДК 551.501(470+570)

Геоинформационная система "Метео" и состояние ее использования в метеослужбах России и стран ближнего зарубежья

А. А. Акулиничева*, Л. В. Беркович**, А. Ю. Соломахов*,
Ю. Л. Шмелькин*, Ю. И. Юсупов*

Описывается геоинформационная система "Метео" — программный комплекс, выполняющий прием, обработку, накопление и отображение данных в среде Microsoft Windows. Раскрыто содержание компонентов системы "Метео" и их функциональное назначение. Иллюстрируется использование системы в новой технологии подготовки карт и фронтального анализа. Показана эффективность системы и ее оптимальное применение при минимальном составе метеоперсонала, что может служить основой технологической перестройки метеослужб. Указаны перспективы дальнейшего развития системы.

Введение

Когда в середине 1960-х годов было завершено внедрение централизованных передач карт по факсимильным каналам связи и практически отменено ручное составление карт в каждом прогностическом центре, это казалось крупным технологическим достижением. Однако, как отмечено в [5], обилие диагностических и прогностических карт, передаваемых из ведущих центров, с одной стороны, приводит к перегрузке каналов связи, а с другой — прогнозисты не в состоянии использовать весь поступающий материал и вынуждены отбирать лишь то, что нужно в данный момент. Современный обмен информацией стал иным в начале 1990-х годов с разработкой и внедрением в службе прогнозов локальных автоматизированных систем обработки информации (ЛАСО) и технологических звеньев — автоматизированных рабочих мест (АРМ) прогнозиста. Наиболее широкое распространение получила геоинформационная система (ГИС) "Метео" — программный комплекс, выполняющий прием, обработку, накопление и отображение данных в среде Microsoft Windows (3.X, 9.X, NT). В зависимости от специфики оперативной работы технологические блоки ГИС "Метео" могут быть распределены между несколькими компьютерами, включенными в локальную сеть.

С 1991 по 2000 г. установлены 147 АРМ на основе комплекса программных средств ГИС "Метео" в 55 организациях Росгидромета (в том числе, в 28 АМСГ и АМСЦ), в 7 метеоподразделениях Министерства обороны, в

* Научно-производственный центр "Мэп Мейкер".

** Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации.

5 аэропортах стран ближнего зарубежья (Ташкент, Алма-Ата, Актюбинск, Кустанай, Таллинн). АРМ полностью обеспечивает дежурного прогнозиста (синоптика, гидролога, морского гидрометеоролога, агрометеоролога) всеми необходимыми картами в электронном виде и позволяет отменить прием аналогичной продукции по факсимильным каналам.

В порядке спонсорской поддержки высших учебных заведений АРМ на основе комплекса программных средств ГИС "Метео" переданы для использования в учебном процессе на кафедры метеорологии российских университетов (Московского, Казанского, Саратовского, Пермского) и в университет Киргизии, а также в вузы гидрометеорологического профиля в Санкт-Петербурге, Владивостоке, Одессе и др.

Содержание ГИС "Метео"

В составе ГИС "Метео" имеется географическая основа для всего земного шара с высоким и средним разрешением (линейные размеры географических объектов соответственно от 1 и 10 км). Это позволяет создавать бланки карт в стереографической полярной проекции или проекции Меркатора любого масштаба (от 10 до 100 км в 1 см). Использование единой технологии ГИС оказывается весьма эффективно для организации работ АРМ, включенных в локальную сеть, что будет показано далее на примере работы Гидрометцентра России.

Для создания оперативных карт используется гидрометеорологическая информация из оперативных баз данных (в дальнейшем — база). Базы могут формироваться непосредственно в прогностической организации на персональном компьютере, выполняющем функции приема телеграмм с данными наблюдений и прогнозов в кодах GRID и GRIB, либо копироваться из ближайшего центра (УГМС, ЦГМС и т. д.), оснащенного теми же программными средствами. Наиболее полной по составу информации (в рамках глобального обмена данными) является база ГВЦ Росгидромета, пользователями которой в локальной сети являются все оперативные отделы Гидрометцентра России, Гидрометеорологическое бюро Москвы и Московской области, а также удаленные пользователи, как, например, Ярославский и Рязанский ЦГМС, ГАМЦ Внуково и др.

В последние годы стало возможным привлечение данных базы из сети Интернет. Эта база уступает базе ГВЦ Росгидромета по полноте синоптической и аэрологической информации, но в ней содержится значительно большее число полей анализов и прогнозов метеовеличин и явлений погоды, передаваемых метеорологическими центрами в Вашингтоне и Брекнелле в коде GRIB с шагом сетки по широте и долготе 1,25°.

Для некоторых приложений ГИС "Метео" на АРМ специально создаются долговременные базы данных, позволяющие получать электронные карты метеорологических величин за заданный интервал времени (например, суммы осадков по станциям от двух суток до месяца, экстремальные температуры и другие дополнительно вычисляемые характеристики).

Карты на АРМ готовятся как в интерактивном, так и в автоматическом режиме по созданным уникальным "образцам" слайд-карт. Метеорологические карты, создаваемые в технологии ГИС "Метео", представляют собой многослойные объекты. Каждый слой обеспечивает отображение на

карте метеорологических величин в виде цифровых значений и символов, изолиний или контуров, разноцветных штриховок и заливок. На один бланк карты можно поместить любое количество слоев, а затем в процессе работы часть из них "спрятать" или "показать". Слои создаются при помощи компонентов ГИС "Метео", которые по их функциональному назначению можно разделить на три группы:

1. Компоненты для отображения на выбранном бланке карты информационных слоев с данными оперативных наблюдений (кодовых форм SYNOP и SYNOP SHIP, TEMP и TEMP SHIP и др.), а также полей анализов и прогнозов метеорологических величин, поступающих в кодах GRID и GRIB и снимков ИСЗ. При наличии ошибок в исходных данных пользователь может либо включить встроенный алгоритм контроля грубых ошибок (по заданной критической величине горизонтального градиента конкретной метеовеличины), либо откорректировать данные в интерактивном режиме.

2. Компоненты для выполнения обработки карты в интерактивном режиме и записи результатов такой обработки в базу (рисование линий фронтов, текстовых надписей, нанесение специальной символики и т. д.). Фронтальный анализ, выполненный синоптиками на электронной карте за текущий срок, с помощью инструмента, фиксирующего географические координаты и типы фронтов, специальной процедурой записывается в базу в векторной форме. Поэтому он может быть считан из базы и нарисован на электронной карте любого масштаба на любом АРМ, подключенном к базе.

3. Компоненты вычисленного уровня, позволяющие получать слои результатов прогноза метеорологических величин, фронтальных и облачных систем, траекторий частиц или объектов и т. д. Эти компоненты имеют встроенные алгоритмы расчета различных метеорологических величин. Так, например:

— траекторная модель позволяет строить "прямые" (куда) и "обратные" (откуда) траектории воздушных частиц, линий (фронтов) или областей (зон облачности). Исходными данными для расчета траекторий служат скорость и направление ветра по аэрологическим наблюдениям или их прогностические поля в кодах GRID или GRIB. Возможны расчеты как двухмерных траекторий на выбранной изобарической поверхности, так и трехмерных траекторий, когда на каждом шаге определяются горизонтальные и вертикальные составляющие скорости перемещения частицы [2];

— вертикальные движения рассчитываются на основе уравнений гидродинамики для свободной атмосферы и пограничного слоя атмосферы. Учет пограничного слоя осуществляется с применением модели пограничного слоя [1, 3, 4], которая позволяет также рассчитывать профили температуры, ветра и характеристики турбулентности (профили коэффициента турбулентности, диссипации кинетической энергии, высоту пограничного слоя и другие) в слое от поверхности земли до 2 км;

— модель пограничного слоя является одной из составляющих алгоритма прогноза температуры и влажности воздуха, ветра, облачности и осадков, рассчитываемых для задаваемых пунктов Евразии с заблаговременностью до 2 сут. В этих расчетах используются также фоновый прогноз

метеорологических полей, поступающих в кодах GRID и GRIB, и методики параметризации основных физических процессов, адаптированных к локальным условиям пунктов. Результатом этих прогнозов является описание суточного хода всех прогнозируемых метеорологических величин с дискретностью по времени 3 ч;

— прогноз особых явлений погоды рассчитывается по алгоритмам, составленным авторами программных средств ГИС “Метео”, на основе апробированных в оперативной работе методик [6, 8]. Определяются зоны болтанки и обледенения воздушных судов с указанием нижней и верхней границ этих явлений, области возможной грозовой деятельности и индекс ее вероятности, а также даются прогнозы видимости, облачности, осадков и фронтальных зон [10].

Результаты этих расчетов являются предварительной информацией для подготовки прогнозов синоптиком. В реализованных алгоритмах не всегда учтены последние научные разработки, например [9]. При дальнейшем развитии технологии ГИС “Метео” предполагается усовершенствование и обновление алгоритмов на основе новых методов прогнозов характеристик и явлений погоды.

Практическое использование ГИС “Метео”

Широкий спектр информационных и вычислительных возможностей ГИС “Метео”, удобный графический интерфейс для анализа и обработки карт непосредственно на экране монитора и возможность записи этих результатов в базу позволили организовать замкнутый цикл работы по “безбумажной технологии” в Гидрометцентре России и ГВЦ Росгидромета.

С 1996 г. в ГВЦ Росгидромета программными средствами ГИС “Метео” на 4 АРМ осуществляется круглосуточная работа по созданию около 200 электронных карт для факсимильных передач, что позволило снять две физически и морально устаревшие ЭВМ ЕС-1055 и графический комплекс Nova-Xynetics с 10 плоттерами формата А0. Огромная экономия достигнута в результате прекращения ежегодной типографской печати бланков карт различных форматов.

В рамках этой технологии в отделах Гидрометцентра России ежедневно выполняется фронтальный анализ на всех картах для передачи их по факсимильной связи: на кольцевых картах, на картах “Анализ приземный” (по территории от Атлантического до Тихого океана) за все синоптические сроки наблюдений (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ч МСВ), на картах Северного полушария, на картах тропической зоны за сроки 0 и 12 ч МСВ. Подготавливаются прогностические карты давления на уровне моря, фронтальных систем и связанных с ними опасных явлений погоды с заблаговременностью 24 и 36 ч. Весь перечисленный объем работ по зоне ответственности выполняется одним дежурным прогнозистом на одном АРМ.

Аналогичным образом по “безбумажной технологии” производится подготовка карт “Прогноз опасных явлений погоды для авиации в слое 400—150 гПа на 24 и 30 ч” с использованием расчетов прогноза обледенения воздушных судов, гроз, болтанки, а также положения и высоты оси струйного течения, тропопаузы. Карта строится путем совмещения нескольких слоев, что характерно для технологии ГИС “Метео” (рис. 1). Синоп-

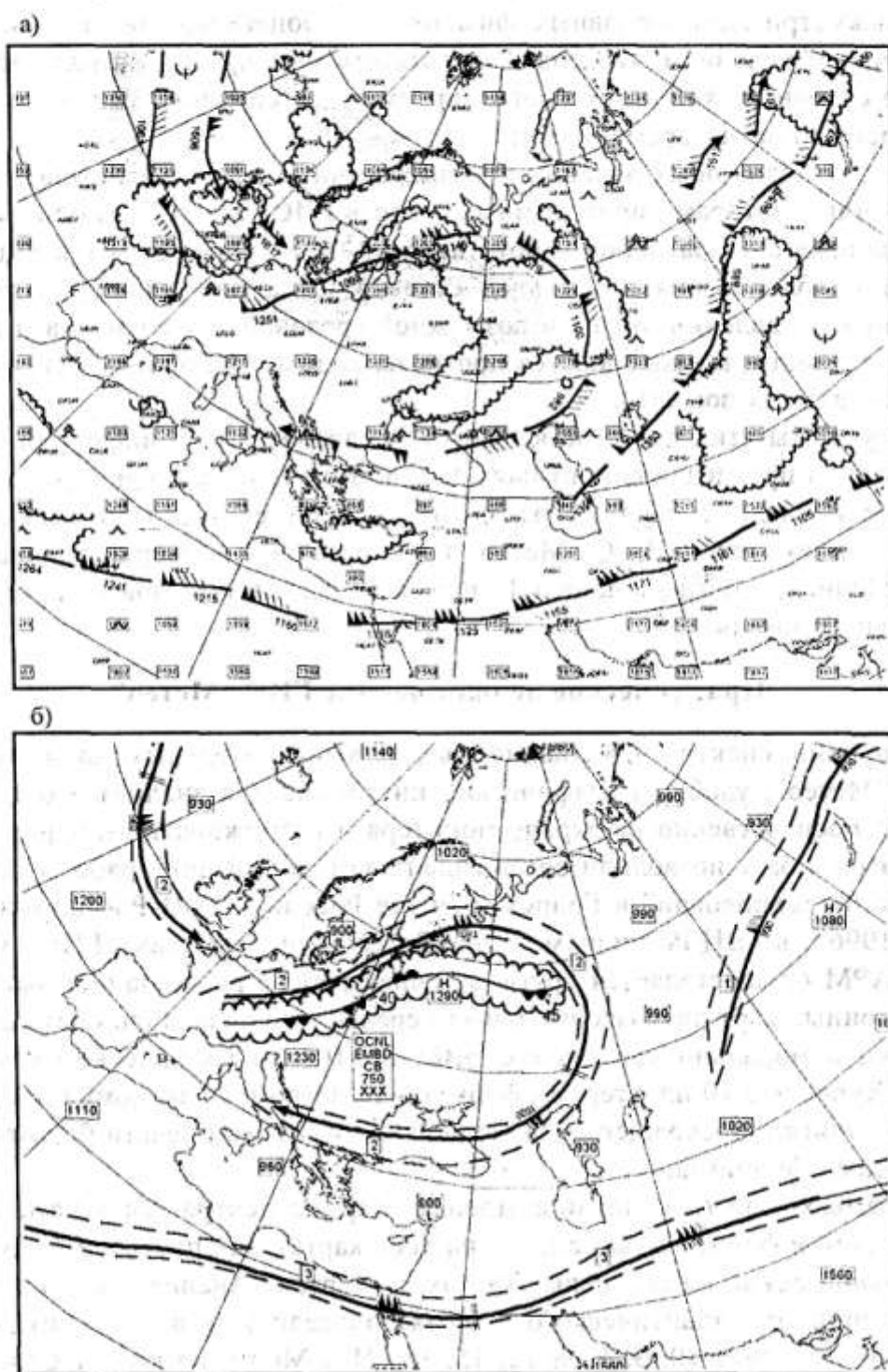


Рис. 1. Прогностическая карта опасных явлений на 0 ч МСВ 29 февраля 2000 г., рассчитанная автоматически программными средствами ГИС "Метео" (а) и построенная синоптиком в интерактивном режиме (б).

тик выполняет анализ вспомогательных слоев и строит в интерактивном режиме четыре новых слоя прогноза: положение оси струйных течений, характерные точки тропопаузы, активные участки фронтов, на которых возможны опасные явления, а также слой с символами явлений. Результаты интерактивной работы синоптика записываются в базу, а подготовленные электронные карты отправляются в сеть Росгидромета (MECOM).

Для выполнения статистической оценки автоматически архивируются слайд-карты с результатами прогнозов и фактическими данными на срок прогноза.

Использование в оперативной работе технологии ГИС "Метео" коренным образом изменило характер ежедневной работы синоптиков не только в Гидрометцентре России, где функционирует более 20 АРМ, но и во многих ЦГМС и АМСГ. После соответствующего обучения синоптиков по индивидуальным программам с учетом местной специфики работы эта технология нашла широкое применение. Впервые у синоптика появилась возможность оценить результаты своей работы непосредственно на своем АРМ. Так, например, прогноз фронтальных систем может быть сопоставлен с их анализом на срок прогноза путем считывания из базы и совмещения на одной карте. Очевидно, в ближайшем будущем появится возможность организовать цифровой обмен электронными картами с результатами интерактивного фронтального анализа по сети МЕСОМ между центральными и периферийными прогностическими организациями. Фронтальный анализ в цифровом виде будет доступен гораздо раньше, чем в аналоговом виде на соответствующих факсимильных картах. Так, например, фронтальный анализ на территории, охватываемой бланком кольцевой карты, выполненный синоптиком в Гидрометцентре России, записывается в базу через 50—60 мин после каждого срока наблюдений и практически сразу может быть готов к распространению. Поскольку объем файла с результатами фронтального анализа составляет не более 10 Кб, то он практически мгновенно поступит в сетевые организации Росгидромета.

ГИС "Метео" изменила систему архивации гидрометеорологической информации, численных анализов и прогнозов из различных центров, а также основных карт. Многолетние архивы карт на бумажной основе, накопленные в различных прогностических органах, требуют специальных условий хранения. Через несколько лет они становятся практически не пригодны для работы. В 1989 г. прекращена подготовка в Гидрометцентре и издание во ВНИИГМИ-МЦД карт "Синоптический бюллетень. Северное полушарие", широко использовавшихся в службе прогнозов и в учебном процессе вузов гидрометеорологического профиля.

ГИС "Метео" позволила решить эту задачу на современном уровне. С 1 января 1998 г. в Гидрометцентре России автоматически на АРМ ежедневно изготавливается набор электронных карт погоды, геопотенциала изобарических поверхностей 700, 500, 300, 200, 100 гПа и относительной топографии 500/1000 за 0 ч МСВ. Фронтальный анализ на картах и обозначения центров барических образований — продукт оперативной работы коллектива синоптиков по вышеописанной "бесбумажной технологии". Карты "Синоптического бюллетеня Северное полушарие (часть 1)", прошедшие редактирование и согласование с помощью компонентов интерактивной обработки, архивируются во внутреннем формате ГИС "Метео" непосредственно на АРМ, а также записываются в форматах GIF 640×640 и 1024×1024 на компакт-диск. Это позволяет работать с картами не только в среде ГИС "Метео", но и другими общедоступными программными средствами на персональном компьютере в любой организации.

С 1 апреля 1997 г. на компакт-дисках сохраняется вся информация оперативной базы в формате ЛАССО, а также базы с результатами фронталь-

ного анализа, выполненного синоптиками Гидрометцентра России. При необходимости из архивной базы могут быть получены карты практически по любой территории земного шара.

Направления развития ГИС "Метео"

Одним из новых направлений развития ГИС "Метео" является создание удобного графического интерфейса, позволяющего отображать на бланке карты поля как ежедневных, так и накопленных за определенный период ошибок [7] прогностических полей, поступающих в кодах GRID и GRIB, от любых доступных гидродинамических моделей (рис. 2). Это позволит синоптикам любого прогностического подразделения, во-первых, выявить систематические ошибки прогностических моделей и набрать статистику по процессам различной степени сложности прогнозирования [5], во-вторых, получить статистически надежные характеристики успешности прогностических полей и выбрать лучшую модель для своей территории, а не заказывать прием информации по всем моделям.

Анализ опыта работы синоптиков по новой технологии поставил ряд задач, решение которых при старой технологии работы вряд ли было бы возможным.

Это, прежде всего, оперативный автоматический контроль и исправление грубых ошибочных данных непосредственно в процессе подготовки карты на АРМ компонентами ГИС "Метео". Метод контроля по критическому значению горизонтального градиента метеовеличины с последующей возможностью интерактивного просмотра синоптиком отбракованных данных позволяет улучшить качество подготавливаемой карты.

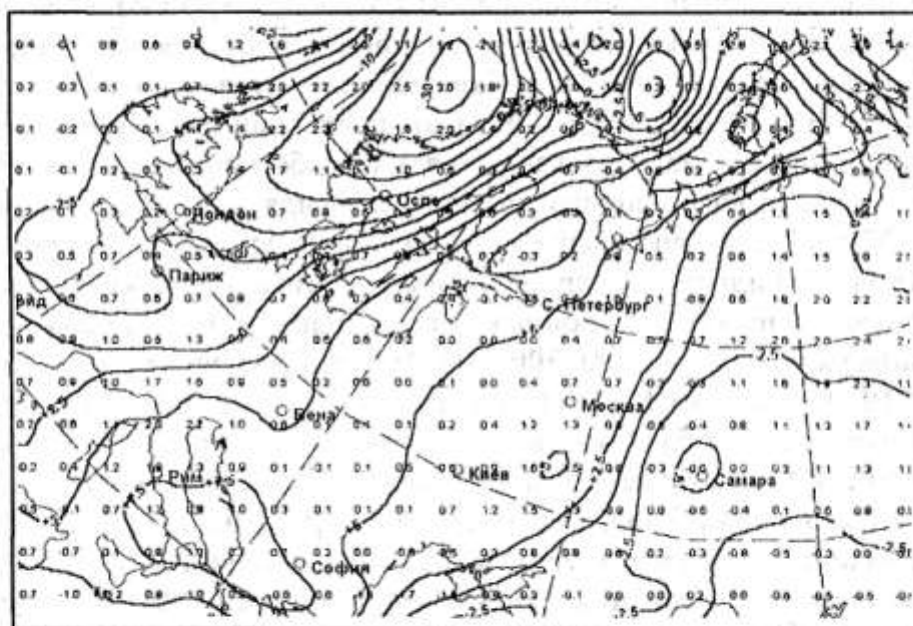


Рис. 2. Поле изолиний фактического изменения давления на уровне моря от 12 ч МСВ 5 марта 2000 г. к 0 ч МСВ 6 марта 2000 г. Ошибки прогноза на 12 ч по модели Центра зональных прогнозов в Брекенелле, поступившего в коде GRIB, показаны цифрами.

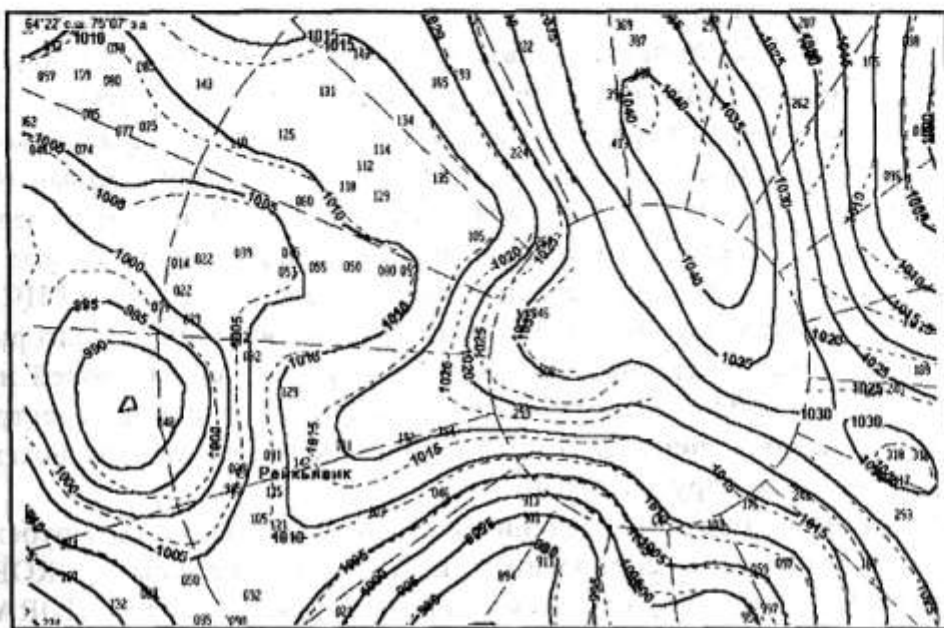


Рис. 3. Поле давления на уровне моря по данным наблюдательной сети за 12 ч МСВ 7 марта 2000 г. (пунктир) и с контролем и восполнением данных прогнозом на срок анализа над океанами (сплошные линии).

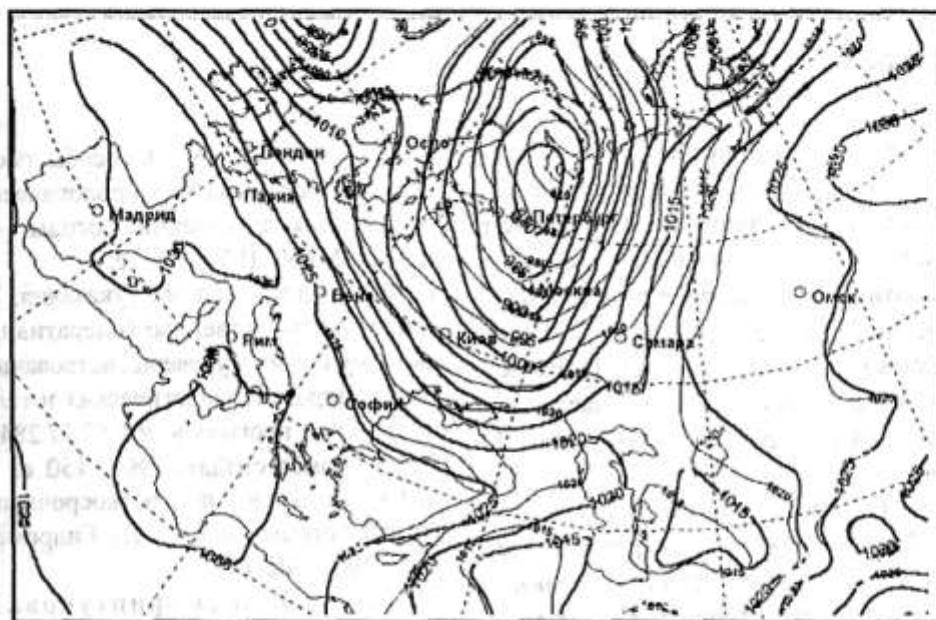


Рис. 4. Поле прогноза давления на уровне моря на 24 ч, поступившего в коде GRIB по модели Центра зональных прогнозов из Брекиелла на 0 ч МСВ 8 марта 2000 г., до (тонкие линии) и после (жирные линии) коррекции синоптиком в интерактивном режиме.

В компонентах ГИС "Метео" для районов, недостаточно освещенных данными синоптических и аэрологических наблюдений, предусмотрено их восполнение результатами прогноза на срок анализа, поступающими в кодах GRID и GRIB (рис. 3). Опытная эксплуатация подобного пополнения

данных в Гидрометцентре России показала определенные недостатки. Например, в прогностических полях ошибочно занижается давление в циклонах над океанами. Даже при использовании прогностических данных с высоким горизонтальным разрешением ($1,25 \times 1,25^\circ$) синоптику бывает необходимо выполнить корректировку автоматически расчерченного поля изолиний над океанами и в ряде специфических регионов. Новый графический интерфейс ГИС "Метео" позволит справиться и с этой задачей. Пример такой корректировки барического поля представлен на рис. 4.

Таким образом, последующее развитие программных средств ГИС "Метео" с учетом новых научных разработок, а также встроенных алгоритмов корректировки (как отдельных данных, так и расчерченных полей изолиний в целом) позволяет сделать следующий шаг в процессе перестройки оперативной работы специалистов-гидрометеорологов системы Росгидромета, а также служб других стран.

В заключение приведем сведения о наиболее известных зарубежных разработках на рынке метеорологических АРМ. Это системы "COROBOR" и "SYNERGIE" французских коммерческих фирм, а также "HORACE", разработанная при участии UKMO в Великобритании. Все эти системы ориентированы на удобства графического интерфейса на экране цветного монитора и являются системами визуализации данных и анализа карт основных метеорологических полей. В них отсутствуют собственно прогностические расчетные модули.

Литература

1. Белоусов С. Л., Беркович Л. В., Юсупов Ю. И. Краткосрочный гидродинамический прогноз метеовеличин с использованием технологии автоматизированного рабочего места синоптика. — Метеорология и гидрология, 1994, № 11, с. 33—48.
2. Белоусов С. Л., Юсупов Ю. И. Расчет трехмерных траекторий воздушных частиц. — Метеорология и гидрология, 1991, № 12, с. 41—48.
3. Беркович Л. В., Белоусов С. Л., Ткачева Ю. В. Краткосрочный гидродинамический прогноз метеорологических величин в пунктах на территории России и прилегающих стран. — Метеорология и гидрология, 1998, № 4, с. 18—32.
4. Беркович Л. В., Тарнопольский А. Г., Шнайман В. А. Гидродинамическая модель атмосферного и океанического пограничных слоев. — Метеорология и гидрология, 1997, № 7, с. 40—52.
5. Бугаев В. А. Новое в прогнозировании погоды. — Л., Гидрометеоиздат, 1972, 23 с.
6. Иванов В. Х. Способы расчета и прогноза основных метеорологических характеристик и явлений погоды. — М., Изд-во МГУ, 1978, 364 с.
7. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284-91. — Л., Гидрометеоиздат, 1991, 150 с.
8. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 1. — Л., Гидрометеоиздат, 1986, 702 с.
9. Шакина Н. П., Скриптунова Е. Н., Иванова А. Р., Калугина Г. Ю. Субъективный и объективный анализы атмосферных фронтов. II. Объективное выделение зон фронтов. — Метеорология и гидрология, 1998, № 8, с. 5—15.
10. Huber-Pock F. and Kress Ch. An operational model of objective frontal analysis based on ECMWF products. — Meteorol. Atmos. Phys., 1989, vol. 40, No. 2, pp. 170—180.