

УДК 551.577.2(0.84.3)(479.22+23)

МЕЗОМАСШТАБНЫЙ АНАЛИЗ И СВЕРХКРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ

Н.А. Калинин, А.Л. Ветров, А.А. Смирнова

Аннотация

На примере сложной в физико-географическом отношении территории Уральского Прикамья разработана геоинформационная технология диагноза и сверхкраткосрочного прогноза погоды (с заблаговременностью до 12 ч) на основе комплекса метеорологической и географической информации. Предложенная технология реализована на платформе пакета ArcGIS 8.3 и программных комплексов расчета метеорологических величин. ГИС-технология позволяет производить оперативную оценку наступления опасных природных метеорологических явлений, имеющих локальный масштаб возникновения и распространения на территориях, не оснащенных наблюдательными метеорологическими станциями и постами.

Ключевые слова: геоинформационная технология, мезомасштабный анализ, сверхкраткосрочный прогноз погоды.

Исследованиям физического состояния атмосферы на региональном уровне в последнее время уделяется большое внимание, которое вызвано тем, что для решения задач прикладной метеорологии требуется информация по неосвещенной метеостанциями территории. Восстановление необходимых метеорологических данных в таких регионах осуществляется интерполированием известных значений в узлы регулярной сетки. При анализе мезомасштабных возмущений атмосферной циркуляции с учетом интерполяции полей приземного давления и температуры воздуха необходимо принимать во внимание влияние рельефа местности на восстанавливаемую величину и ее фактические горизонтальные и вертикальные градиенты. Дискретные поля влажности, облачности и осадков должны строиться на основе параметризаций, учитывающих термодинамическое состояние атмосферы, радиационно-облачное взаимодействие, турбулентное перемешивание, процессы фазовых переходов воды в атмосфере, взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью (тепло- и влагообмен) [1–4]. При проведении анализа необходимо использовать данные, полученные с разных наблюдательных систем, поскольку комплексирование различной информации, характеризующей одну и ту же величину, с учетом достоинств каждой системы получения информации и минимизации ее ошибок позволяет повысить качество анализа величины [5, 6]. Сформированные в соответствии с изложенными требованиями поля пространственного распределения метеорологических величин позволяют получать уточненный анализ условий погоды на конкретной территории, производить сверхкраткосрочный прогноз

погоды, использовать их в качестве мезомасштабного сигнала в глобальных и региональных моделях прогноза погоды.

Необходимость оперативного принятия решения о развитии мезомасштабных атмосферных процессов обуславливает привлечение к анализу полей метеорологических величин геоинформационных систем (ГИС). Метеорологическая информация в них представлена на географической основе в виде накладывающихся друг на друга слоев пуансонов, изолиний, цветных полей, символьных обозначений.

В настоящей статье представлена геоинформационная технология диагноза и сверхкраткосрочного прогноза погоды (с заблаговременностью до 12 ч) на основе комплекса метеорологической и географической информации. Эта технология в дальнейшем послужит основой создания географической метеорологической информационной системы (ГМИС).

При оценке физического состояния атмосферы с помощью полей пространственного распределения температуры, давления, ветра, влажности географическая метеорологическая информационная система позволяет учитывать влияние подстилающей поверхности, анализировать возможность развития мезомасштабных явлений над интересующим объектом (городом, аграрной территорией, водным объектом, авто- или железной дорогой), производить мониторинг экологического состояния окружающей среды. Модули пространственного анализа и анализа поверхностей ГИС позволяют исследовать и моделировать трехмерные объекты в их взаимосвязи и с учетом динамики их развития. Конструкторы запросов на языке SQL позволяют пользователю указывать (выбирать) необходимые условия взаимного анализа слоев информации; для решения конкретной проблемы встроенные языки программирования (Avenue, Visual Basic, MapBasic, Delphi и др.) дают возможность адаптировать существующие модели анализа данных или разрабатывать и подключать свои модели.

Известны исследования по созданию геоинформационных технологий оперативной оценки опасных природных метеорологических явлений на базе программного пакета ArcGIS 8.3, осуществляемые с 2005 г. [7–9]. Разработка методики геомоделирования производится для территории Пермского края, который содержит вложенный тестовый полигон размером 412×412 км, для которого используется регулярная сетка 4×4 км. Такая сетка хорошо отображает физико-географические особенности территории. Вертикальной координатой при моделировании служит абсолютная высота точки над подстилающей поверхностью. Модель позволяет получать распределение метеорологических величин в пограничном слое атмосферы, облаков и осадков – во всем слое тропосферы.

Территория исследования является сложной с точки зрения физико-географического строения. Она располагается в предгорьях Урала, при этом относительная высота рельефа изменяется от 50 до 1570 м. С севера на юг территорию пересекает р. Кама с двумя крупными водохранилищами: Камским и Воткинским. Метеорологическим обеспечением территории занимаются 24 метеостанции, из которых 14 передают оперативную информацию, 10 – режимную; также на территории расположены одна аэрологическая станция и один метеорологический радиолокатор. Таким образом, тестовый полигон относится к территориям с редкой сетью метеонаблюдений.

Процедура гео моделирования содержит следующие стандартные этапы: препроцессинг, моделирование, постпроцессинг (рис. 1).

Препроцессинг включает в себя сбор первичной оперативной метеорологической информации, приведение разнородных данных к одному виду, контроль грубых ошибок данных. В процессе моделирования производится программная обработка первичных данных, реализация процедур расчета и комплексирования метеорологических данных, полученных с различных измерительных систем, корректирование метеорологической информации с учетом влияния, оказываемого на нее орографией и топографией территории, геоинформационное моделирование с помощью инструментов пространственного анализа ArcGIS. Постпроцессинг осуществляет экспорт полученных результатов расчетов в удобный пользовательский формат, позволяющий визуализировать информацию на экране компьютера в виде цветных полей, изолиний или значений, вывести данные на экран или периферийное печатающее устройство в виде таблицы или отчеты. На каждом этапе работы пользователь может посмотреть информацию и внести поправки в поля метеорологических величин.

Остановимся на процедурах восстановления некоторых метеорологических полей.

Приземная температура воздуха. Прогрев приземных слоев атмосферы осуществляется от подстилающей поверхности, при этом даже малые формы рельефа оказывают на температуру воздуха отепляющее или охлаждающее влияние. Таким образом, при проведении интерполяции значений температуры воздуха, полученной по информации нескольких метеорологических станций, необходимо учитывать абсолютную высоту станций и вертикальный градиент температуры воздуха в приземном слое.

Для построения поля пространственного распределения приземной температуры воздуха используются данные аэрологического зондирования атмосферы, данные наземных метеорологических станций, а также цифровая модель рельефа [10].

Данные зондирования применяются для восстановления значений температуры воздуха у поверхности земли с учетом вертикального температурного градиента в пограничном слое атмосферы. Таким образом, учитывается зависимость пространственного распределения температуры воздуха от орографии местности. Затем вводится поправка на изменение температуры воздуха за счет влияния крупных водных объектов. Восстановленное поле выводится на экран в виде карты распределения приземной температуры воздуха в виде изолиний или цветного поля над интересующей территорией за конкретный срок наблюдений (рис. 2).

Приземные характеристики влажности. Водяной пар в атмосфере участвует в процессах облако- и осадкообразования, определяет интенсивность поступления и рассеяния солнечной радиации, является дополнительным источником притока (оттока) тепла за счет процессов конденсации (испарения). Особенности распределения влаги в пограничном слое атмосферы определяют высоту нижней границы и мощность облачности, интенсивность выпадающих из нее осадков, формирование зон тумана. Близость атмосферного воздуха к состоянию насыщения определяется по значению температуры точки росы. Эта величина

также испытывает влияние подстилающей поверхности, поэтому при построении диагностических полей ее пространственного распределения должны учитываться орография местности и вертикальный градиент точки росы по данным температурно-ветрового (аэрологического) зондирования атмосферы. На первом этапе определяется вертикальный градиент температуры точки росы в пограничном слое. На втором этапе с использованием значений вертикального градиента производится интерполяция поля температуры точки росы с учетом топографии местности. Затем на основе известного соотношения [1, 11] определяются значения парциального давления водяного пара по вычисленным значениям температуры точки росы у поверхности земли. На заключительном этапе, восстановив парциальное давление насыщенного водяного пара, которое зависит от температуры воздуха, можно определить относительную влажность воздуха в узлах сетки [10, 12].

Атмосферное давление на уровне моря и барическая тенденция. Барическое поле определяет погоду в данной местности и обладает повышенной чувствительностью к изменению атмосферных процессов. Локальное изменение давления показывает район зарождения нового атмосферного вихря или формирования местных особенностей погоды. Построение поля пространственного распределения осуществляется на основе использования фактических значений атмосферного давления, приведенного к уровню моря, и барической тенденции, полученных с сети наземных метеорологических станций, которые интерполируются с помощью средств ArcGIS (рис. 3) [13–16].

Наиболее сложными для представления в виде полей пространственного распределения являются **облачность и осадки**. Сложность заключается в большой пространственно-временной изменчивости этих характеристик. Для их построения производится оценка водности и водозапаса облаков.

При оценке количества осадков, которые могут выпасть из облака, необходимо знать влагосодержание вертикального столба атмосферы единичного сечения, располагающегося над пунктом наблюдения. Расчет величины водозапаса осуществляется по значениям расчетной водности облака, проинтегрированной по всей его вертикальной протяженности. Для повышения качества восстановления полей жидких осадков используются данные радиолокационного зондирования атмосферы [17]. Поле водозапаса облачности с учетом вертикальных движений воздуха и эмпирического значения критической водности в облаке преобразуется в поле осадков, представленное в виде изогиет (линий равного количества осадков), и поле явлений погоды в виде стандартных символов.

Прогнозирование метеорологических величин и явлений осуществляется методом линейной экстраполяции на период 3–6 ч или в соответствии с воздушным потоком на среднем уровне (3–5 км) на срок до 12 ч (рис. 4).

Прогноз опасных явлений погоды, связанных с облачностью (обложные осадки, ливни, грозы, град), осуществляется при внутримассовых процессах методом линейной экстраполяции на срок до 3 ч, при прохождении фронта методом криволинейной экстраполяции – на срок до 12 ч.

При диагнозе и прогнозе наступления опасных явлений погоды используются инструменты и модули ArcGIS, а также набор пользовательских инструментов. Они позволяют производить анализ состояния погоды (например, оценить



Рис. 1. Технологическая схема модели

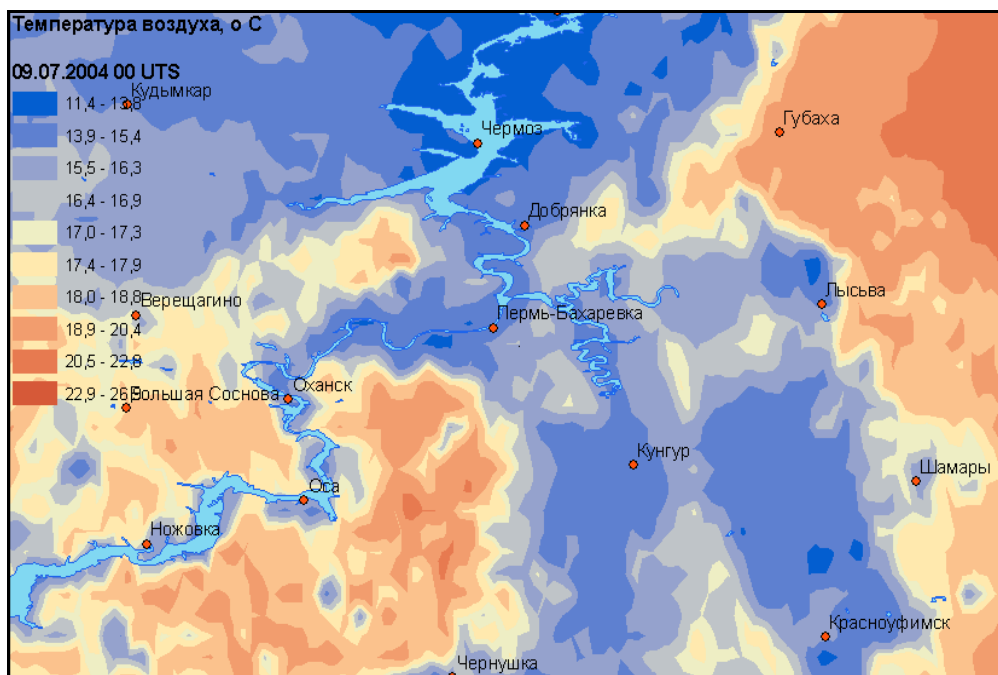


Рис. 2. Восстановленное поле приземной температуры воздуха

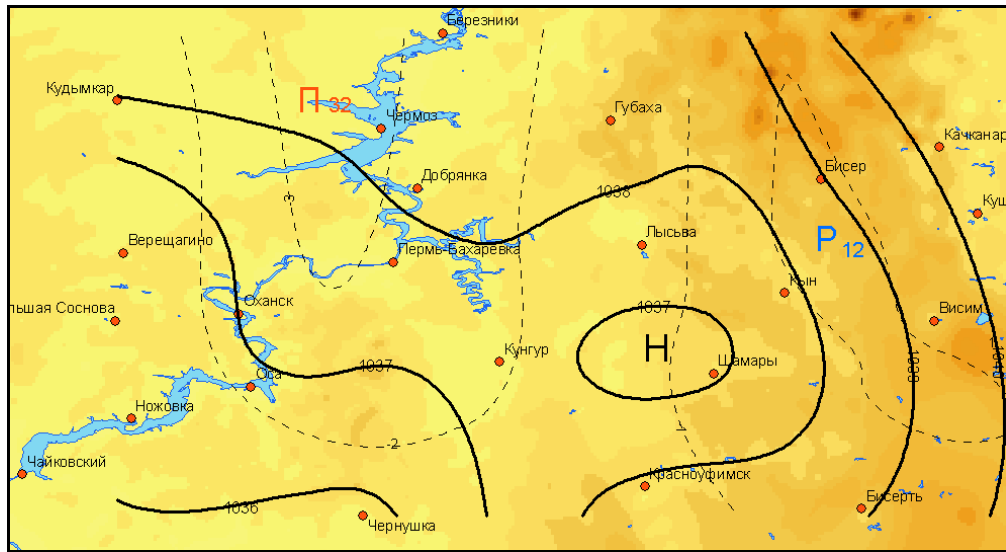


Рис. 3. Барическое поле (сплошные линии – изобары, пунктирные – изаллобары)

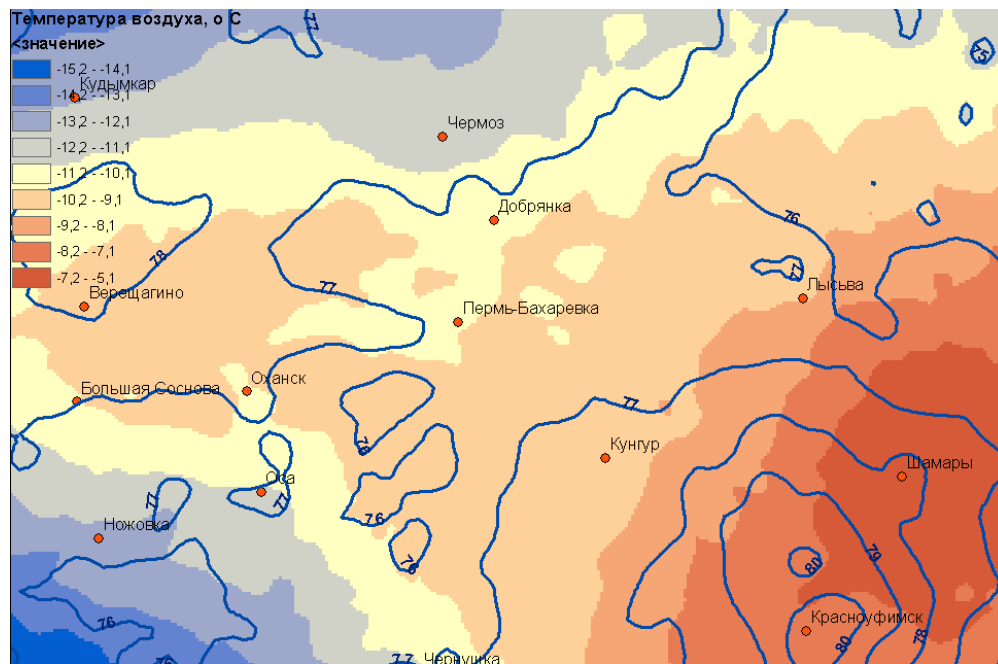


Рис. 4. Прогностическое поле температуры воздуха (цветное поле) и относительной влажности воздуха (изолинии)

вероятность радиационного тумана, гололеда, образования наземных гидрометеоров), выделять буферную зону вокруг объектов, расположенных в потенциально опасных местах (зоне подтопления, сильного ветра, застоя воздуха), рассчитывать различные сценарии возможного развития атмосферных процессов и выдавать прогноз наступления опасного явления погоды над интересующей пользователя локальной территорией.

Пользователь получает оперативную метеорологическую информацию в виде бланка с картой фактически отмечаемых метеоявлений, прогностическую – в виде ожидаемых явлений с выделенными зонами наибольшей опасности, на основе которой можно принимать решение о проведении защитных мероприятий, самостоятельно оценивая риск в соответствии с вероятностью его наступления [7].

Работа выполнена при поддержке Ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/4984).

Summary

N.A. Kalinin, A.L. Vetrov, A.A. Smirnova. Mesoscale Analysis and Ultra Short-term Weather Forecast.

Geoinformational technology of diagnosis and ultra short-term weather forecast (with forecast period up to 12 h) is developed on the basis of a complex of meteorological and geographical information on the example of the Ural Prikamye territory, which is rather complex in physical and geographical aspects. The technology proposed is realized on the platform of ArcGIS 8.3 package and program complexes for calculating the meteorological values. The GIS-technology allows promptly estimating the approach of dangerous natural meteorological phenomena with local scale of occurrence and distribution in territories not equipped by observant meteorological stations and posts.

Key words: geoinformational technology, mesoscale analysis, ultrashort-term weather forecast.

Литература

1. *Калинин Н.А.* Энергетика циклонов умеренных широт. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1999. – 192 с.
2. *Калинин Н.А., Ветров А.Л.* Генерация доступной потенциальной энергии вследствие крупномасштабной конденсации в циклонах умеренных широт // *Метеорология и гидрология.* – 2002. – № 4. – С. 17–27.
3. *Калинин Н.А., Ветров А.Л.* Оценка трансформации доступной потенциальной энергии за счет длинноволновой радиации в антициклонах // *Вестн. Удмурт. ун-та.* – № 11. – 2005. – С. 141–144.
4. *Калинин Н.А., Смирнова А.А., Ветров А.Л., Данилов А.А.* Восстановление полей приземной температуры воздуха с учетом орографии местности // *Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: Материалы II межрегион. науч.-практ. конф.* – Челябинск, 2006. – С. 10–12.
5. *Калинин Н.А., Смирнова А.А.* Совместное использование данных радиолокационных и станционных наблюдений для анализа облачных полей // *Метеорология и гидрология.* – 2002. – № 8. – С. 53–60.
6. *Калинин Н.А., Смирнова А.А.* Численный анализ данных радиолокационных и станционных измерений облачности // *Метеорология и гидрология.* – 2003. – № 7. – С. 31–39.

7. Калинин Н.А., Ветров А.Л., Заморин И.С., Смирнова А.А. Геоинформационные технологии сверхкраткосрочного прогноза опасных метеорологических явлений с учетом физико-географических особенностей территории // Тез. пленарных докл. Междунар. конф. по проблемам гидрометеорологической информации. – М., 2006. – С. 18.
8. Калинин Н.А., Смирнова А.А., Ветров А.Л., Заморин И.С., Пенский О.Г., Толмачева Н.И. разработка геоинформационной технологии сверхкраткосрочного прогноза погоды с учетом физико-географических особенностей территории // Университетская география: Материалы юбил. науч. конф., посв. 250-летию Моск. гос. ун-та им. М.В. Ломоносова. – М.: Географ. фак-т МГУ, 2005. – С. 89–94.
9. География, общество и окружающая среда. Т. VII: Картография, геоинформатика и аэрокосмическое зондирование / Под ред. А.М. Берлянта, Ю.Ф. Книжникова. – М.: Изд. дом «Городец», 2004. – 624 с.
10. Ветров А.Л., Заморин И.С., Русаков В.С., Смирнова А.А. Комплекс программ расчета приземной температуры воздуха на основе совместного использования данных наземных метеорологических и аэрологических наблюдений Land_Temp. – М.: ВНТИЦ, 2005. – № 4742. – 4 с.
11. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 780 с.
12. Ветров А.Л., Калинин Н.А., Пенский О.Г., Русаков В.С., Смирнова А.А. Комплекс программ расчета приземной температуры точки росы на основе совместного использования данных наземных метеорологических и аэрологических наблюдений («Dew_Point»). – М.: ВНТИЦ, 2005. – № 5489. – 4 с.
13. Ветров А.Л., Калинин Н.А., Пенский О.Г., Русаков В.С., Смирнова А.А. Комплект программ преобразования и извлечения данных атмосферного давления (Pressure). – М.: ВНТИЦ, 2006. – № 6799. – 4 с.
14. Ветров А.Л., Калинин Н.А., Пенский О.Г., Русаков В.С., Смирнова А.А. Программа преобразования и извлечения данных наземных метеорологических наблюдений (Recod 2). – М.: ВНТИЦ, 2005. – № 5490. – 4 с.
15. Джонстон К., Вер Хоеф Д.М., Криворучко К., Лукас Н. ArcGIS Geostatistical analyst. Руководство пользователя / Пер. с англ. ESRI. – М.: DATA+, 2002. – 280 с.
16. МакКой Д., Джонстон К. ArcGIS spatial analyst. Руководство пользователя / Пер. с англ. ESRI. – М.: DATA+, 2002. – 217 с.
17. Калинин Н.А., Русаков В.С., Смирнова А.А. Программа восстановления количества жидкой воды в облаке (Clouds liquid-water contend). – М.: ВНТИЦ, 2006. – № 5577. – 4 с.

Поступила в редакцию
29.06.09

Калинин Николай Александрович – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного университета.

E-mail: kalinin@psu.ru

Ветров Андрей Леонидович – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного университета.

E-mail: vetrov@psu.ru

Смирнова Анна Александровна – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного университета.

E-mail: smirnova@psu.ru