

УДК 519.7

С.А. Зори, канд. техн. наук, доц.,
К.С. Волчков, магистрДонецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина
kokavolchkov@gmail.com, zori@pmi.dgtu.donetsk.ua

Прогнозное моделирование погодных условий для информационной поддержки управления сельскохозяйственной деятельностью

Для информационной поддержки управления эффективностью работы сельскохозяйственных предприятий предложена прогнозная модель влияния погодных условий, определены структура и этапы ее разработки, предложены системы структурирования, анализа и прогнозирования данных, определены аспекты использования прогнозной модели в составе информационной прогностической системы.

Ключевые слова: прогнозное моделирование погодных условий, управление эффективностью работы сельскохозяйственных предприятий, информационная система анализа данных, атмосферный фронт, интерполяция, экономический эффект, экономическая оценка.

Введение

Проведение мероприятий, направленных на защиту сельскохозяйственных культур, может быть эффективным только в том случае, когда сигнал об их проведении поступит своевременно, т.е. запаса времени от получения сигнала и до наступления опасных явлений природы будет достаточно для реализации необходимого перечня защитных мероприятий. Таким образом, вопрос о построении модели точного прогноза погоды и прогностической информационной системы для управления эффективностью работы сельскохозяйственных предприятий является актуальным для экономики Украины.

В настоящий момент ведутся исследования темы экономической эффективности использования прогнозов такими учеными, как Ханджонко Л.А. [1], Жуковским Е.Е. [2], Багровым Н.А. [3], Карпеевым Г.А. [4], Бедрицким А.И. [5].

Известны и информационные системы (ГИС Панорама Агро, АдептИС, Agro-Net NG и другие), которые служат для поддержки управления эффективностью работы предприятий сельскохозяйственной сферы и позволяют вести экономический учет, агрономический анализ, вычислять и контролировать оптимальные пути передвижения сельскохозяйственной техники. Однако в них отсутствует модуль, отвечающий за информационную поддержку управления учетом неблагоприятных погодных явлений и проведения защитных мероприятий.

Таким образом, указанная проблема является актуальной и целью работы является разработка модели прогнозирования влияния погодных условий для организации информационной под-

держки управления эффективностью работы сельскохозяйственных предприятий.

Задачами работы являются:

- анализ существующих методов прогнозирования погоды и выявление методов, которые в сочетании между собой дадут наиболее эффективный результат прогнозирования,
- разработка модели прогнозного влияния погодных условий на эффективность сельского хозяйства,
- проведение апробации модели в составе информационной системы поддержки управленческих решений для повышения эффективности работы предприятий, функционирующих в сфере сельского хозяйства,
- анализ эффективности разработанной модели.

Объект исследования – информационные технологии для повышения эффективности работы сельскохозяйственных предприятий.

Предмет исследования - модели и методы прогнозирования влияния погодных условий на эффективность сельского хозяйства для построения информационных систем поддержки управления деятельностью сельхозпредприятий.

Подход к прогнозному моделированию погодных условий для информационной поддержки управления сельскохозяйственной деятельностью

Разработка прототипа модели прогнозирования для информационной поддержки управления сельскохозяйственных предприятий включает в себя несколько этапов.

Этап первый – выбор входных данных для прогнозирования и их анализ.

При выборе входных данных следует учесть тот факт, что неблагоприятные погодные явления возникают в атмосферном фронте. Атмосферный фронт формируется, когда сближаются массы холодного и теплого воздуха. Таким образом, основным используемым показателем для моделирования погодных условий, следует считать температуру.

Помимо температурных данных, можно использовать показатели влажности, поскольку при сближении воздушных масс увеличиваются горизонтальные градиенты влажности. Эти два показателя будут считаться основными, за счет которых прогнозная модель будет выводить данные о погодных условиях. Однако, в том случае, если показатели будут сильно коррелировать между собой, то основной набор данных должен быть расширен новыми, например, показателями давления и скорости ветра.

Этап второй – анализ выходных данных.

Выходными данными модели будет информация о возможных неблагоприятных погодных явлениях.

Также модель выдаст рекомендации о необходимых защитных мероприятиях для сохранения урожая.

Таким образом, оказание подобной информационной поддержки может оказать положительное влияние на принципы экономического управления предприятий, работающих в сфере сельского хозяйства.

Распознавание атмосферных фронтов

Рассмотрим более подробно метод фиксации неблагоприятных атмосферных явлений, необходимый на первом этапе работы модели прогнозирования.

Для распознавания атмосферных фронтов принято использовать температурные данные. Благодаря тому, что атмосферные фронты возникают между воздушными массами с определенным значением $\Delta t > 0$, можно с помощью алгоритма выделить границы воздушных масс с одинаковой температурой, т.е. определить граничные изомеры воздушных масс.

Все необходимые вычисления проводились на языке статистической обработки R, в программной среде для статистических вычислений и графики R [6]. Причинами этого стали:

1. Бесплатное распространение среды вычислений и большой объем информации, связанной с построением прогнозных моделей на основе программной среды R, с использованием баз данных NOAA.
2. Широкий спектр возможностей работы с данными, например, построение линейных и нелинейных моделей, анализ временных рядов,

кластеризация, а также возможностей визуализации полученных данных.

3. Доступность R в качестве свободного программного обеспечения и поддержка платформами UNIX и другими сходными системами (в том числе FreeBSD и Linux), а также Windows и MacOS. Такая универсальность программы позволяет проводить вычисления, с использованием, как лицензионного, так и свободно распространяемого программного обеспечения, тем самым, обеспечивая высокую гибкость для создаваемой прогнозной модели.

Алгоритм на языке графической среды R:

$x=3$ # разница между двумя

последовательными числами

$B1=matrix(0,n,m)$ # матрица индикаторов

разница между двумя

числами в строке больше, чем x

$for(i in 2:m)\{B1[R[,i]>x,i]<-1\}$

$B2=matrix(0,n,m)$ # матрица индикаторов

разница между двумя числами в столбце

больше, чем x

$for(i in 2:n)\{B2[i,C[i,]>x]<-1\}$

Таким образом, есть возможность анализировать изменение температуры воздушных масс, как по вертикали, так и по горизонтали. Помимо этого предусмотрен вариант изменения значения переменной x или Δt . Регулирование этого параметра является необходимым (т.к. позволит более гибко обрабатывать массивы информации), поскольку, по мнению Агафоновой Г.Ф [7], разница температур между воздушными массами может превышать 10°C .

Также следует учитывать то, что воздушные массы находятся в постоянном движении, благодаря этому фронтальная линия располагается под углом к земной поверхности. Согласно [7], тангенс угла наклона фронтальной поверхности (наклон фронта) – порядка $0,01^{\circ}$. Размеры атмосферного фронта по горизонтали - от 500 км до 5000 км и более, по вертикали - до высот 5000 – 7000 м [7].

Источник метеорологической данных

В качестве источника погодных данных (температуры, давления, влажности и скорости ветра) будет использоваться база данных NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) - Национального управления океанических и атмосферных исследований - федерального ведомства, которое проводит метеорологические исследования. Формирование данных о неблагоприятных метеорологических явлениях с высокой степенью точности для информационной системы, используемой для поддержки проведения защитных мероприятий на сельских хозяйствах, будет основано на системе анализа данных NCEP-DOE Reana-

lysis 2. Выбор обусловлен следующим – во-первых, в системе исправлены ошибки определения снежного покрова, влажности, альбедо океанической поверхности, сроков таяния снега, во-вторых, усовершенствованы параметры физических процессов, например, интерполированы значения снежного покрова от месячных данных до дневных, диагностики облаков [8].

Графическое отображение атмосферных фронтов

Для проверки метода распознавания атмосферных фронтов по температурным данным, используется массив Гауссовской решетки «air.2010.nc» из базы данных NOAA. В этом массиве содержатся температурные данные с 2010

года. Частота измерения температуры составляет каждые шесть часов. Таким образом, можно достаточно подробно отследить изменения температуры и выявить определенные закономерности формирования атмосферных фронтов.

В качестве эталона графических изображений использована программа IDV (Integrated Data Viewer), распространяемая на бесплатной основе компанией Unidata. IDV основана на Java, используется для анализа и визуализации геофизических данных [9].

На графике, приведенном ниже, показаны изотермы, полученные 01.01.2010 в 6.00 утра. Изотермы на графике выделены цветовой гаммой (рис. 2).

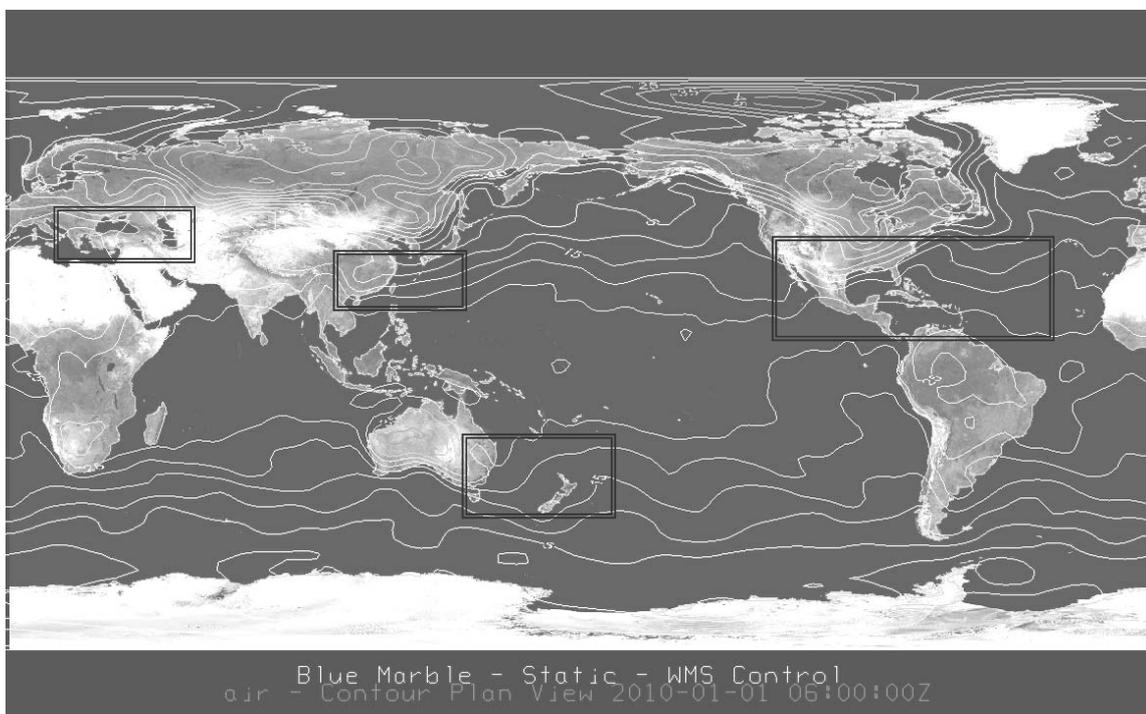


Рисунок 1 – Изотермы на 01.01.2010, визуализированные в IDV

Подобное выделение изотерм позволяет достаточно точно определить положение атмосферного фронта. Например, к областям, в которых вероятность возникновения атмосферного фронта достаточно высока, можно отнести Восточную Европу, Юго-Восточную часть Азии, Юго-Восточную часть Австралии и Океании, Юг Северной Америки и Северо-Западную часть Африки. Обозначенные области выделены на графике красными прямоугольниками.



Рисунок 2 – Ранжирование температуры на графике

Используя среду R, построим график атмосферных фронтов, сформировавшихся над всеми континентами (Рисунок 3). При вычислении положения атмосферных фронтов значение переменной Δt равняется 5.

На графике кружками обозначены места, в которых зафиксирована разность температуры между воздушными массами, превышающая 5°C . Если соотнести полученный график атмосферного фронта с графиком областей формирования атмосферного фронта, то заметно их совпадение. Это

свидетельствует о том, что метод выделения линий атмосферного фронта, базирующийся на анализе температурных данных, является корректным и позволит моделировать положение атмосферных фронтов в разрабатываемой прогнозной модели с высокой степенью точности. Следова-

тельно, с учетом рекомендаций модели, можно будет осуществлять корректировку управленческих решений, что, в свою очередь, положительно скажется на экономическом состоянии предприятий сельского хозяйства.

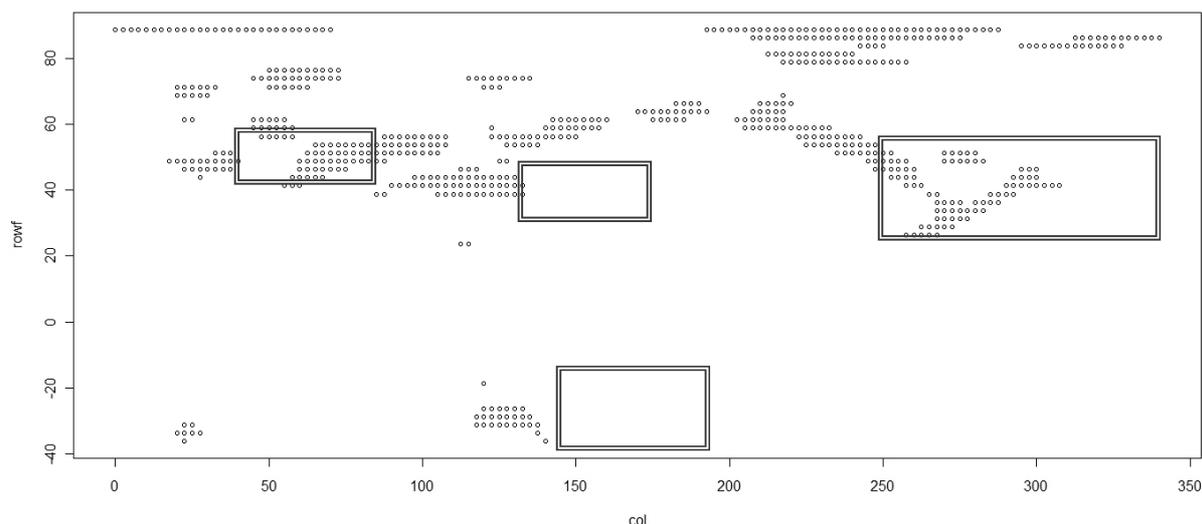


Рисунок 3 – Атмосферный фронт

Локальное определение атмосферного фронта

Итак, методика выделения атмосферных фронтов на большой площади определена. Однако возникает проблема: функционал прогнозной модели должен включать не только возможность выявления атмосферного фронта на большой территории, но и возможность локального определения.

Данные, предоставляемые NOAA, варьируются по величине разрешения глобальной сетки. Для того, чтобы определить минимальное отдаление атмосферного фронта от сельскохозяйственных угодий, на котором прогнозной модели необходимо выдать рекомендацию по началу проведения защитных мероприятий, следует учесть, во-первых, минимальный размер шага сетки, который составляет $2,5^\circ$, или 279,39 км, во-вторых, скорость движения атмосферного фронта (в среднем 30-65 км в час), и, в-третьих, время на проведение защитных мер. Например, для проведения противорадовых мер, необходимо не менее двух часов времени (около 110-140 км), согласно статье Аджиевой А.А, Шаповалова В.А и Машукова И.Х. [10].

Таким образом, для осуществления своевременного и эффективного управления защитными ресурсами сельскохозяйственного предприятия важно получить сигнал об их проведении. Он должен поступить в среднем за два часа до при-

хода атмосферного фронта к сельскохозяйственным угодьям, т.е. необходимо применять методы интерполяции для того, чтобы получить погодные значения для шага в два раза меньше, чем существующий в базах данных NOAA.

В среде R существуют следующие методы интерполяции: линейная интерполяция и интерполяция сплайнами. Для выявления наиболее эффективного метода интерполяции, рассмотрим научные работы Гордова Е.П. [11], Зелинявской О.Е. и Чуприной О.В. [12]. В первой работе «Разработка и создание информационно-вычислительной инфраструктуры сбора, хранения и анализа геофизических данных», рассмотрены методы восстановления данных в узлах регулярной сетки, а именно: линейная интерполяция, кубический полином, интерполяция обратного расстояния, интерполяция по методу Шепарда и метод Крюгинга. Эффективность приведенных методов интерполяции оценивалась с учетом показателей средней абсолютной ошибки и среднеквадратического отклонения. Согласно проведенным исследованиям, наибольшей эффективностью характеризовался метод Шепарда, за ним шли методы Крюгинга, линейной интерполяции, кубического полинома и интерполяция обратного расстояния. По мнению Гордова Е.П., целесообразно использовать для восстановления данных первые три метода интерполяции. Во второй научной работе «Влияние объема информации на

качество графического представления материалов», была оценена эффективность следующих методов восстановления данных: энергия, обратная расстоянию, Крюгинга, наименьшей кривизны, ближайшего соседа, радиальных базисных функций, Шепарда, линейной интерполяции и полиномиальной регрессии. Эффективность определялась на основе показателя среднеквадратичного отклонения. Согласно произведенным вычислениям, к наиболее точным методам относятся методы Крюгинга, радиальных базисных функций, наименьшей кривизны и линейной интерполяции.

Таким образом, один из запрограммированных методов интерполяции в среде R, позволит с достаточно высокой эффективностью восстанавливать промежуточные значения решетки.

В таблице 1 приведен пример вычисления четырнадцати значений температуры (в Кельвинах) методов линейной интерполяции:

Шаг сетки соответствует координате широты. Восстановление – это значения шагов сетки, полученные с помощью интерполирования. Температура – это показатель температуры в промежуточных значениях шага, выраженный в Кельвинах.

Таблица 1. Восстановление значений

Шаг сетки	1	2	3	4	5	6	7
Восстановление	1.00000	1.02040	1.04081	1.06122	1.08163	1.10204	1.12244
Температура, К	246.600	246.779	246.959	247.138	247.314	247.498	247.677
Шаг сетки	8	9	10	20	30	40	50
Восстановление	1.14285	1.16326	1.18367	1.40816	1.59183	1.79591	2.00000
Температура, К	247.857	248.036	248.216	250.191	251.808	253.604	255.400

Поэтому для того, чтобы получить необходимые метеорологические данные для последующего анализа и обработки прогнозной моделью, необходимо взять каждое 25 значение, полученное в результате выполнения встроенной в среду R функции линейной интерполяции.

Структура прогнозной модели

Разрабатываемый концепт, осуществляющий моделирование погодных условий для информационной системы поддержки сельскохозяйственной деятельности, будет иметь следующую структуру, отображенную на рисунке ниже (Рисунок 4).

В начале работы, прогнозная модель обращается к базе данных NOAA за метеорологическими данными. Полученные массивы ранжируются по характеристике данных – температура, давление, скорость ветра, влажность. Далее происходит интерполирование массивов для восстановления промежуточных данных. Восстановленные данные анализируются на предмет возникновения опасных погодных явлений. В случае подтверждения наступления неблагоприятной погоды, согласно установленным правилам, выраба-

тываются рекомендации по проведению защитных мероприятий.

В двух последних этапах формируется информация, которая может быть использована для повышения эффективности управления деятельности предприятия сельского хозяйства, благодаря тому, что происходит возвращение результатов прогнозов и рекомендаций, а также производится экономическая оценка результатов работы прогнозной модели относительно экономического состояния предприятия, работающего в сфере сельского хозяйства.

Экономический эффект можно рассчитать так:

$$Э = N * (L - R), \quad (1)$$

где N – количество прогнозов и защитных мероприятий, проведенных в результате работы прогнозной модели; L – снижение потерь при использовании прогнозной модели; R – затраты на использование модели и получение метеорологических данных. Эта формула позволит определить, насколько выгодно использовать модель, обеспечивающую информационную поддержку управления предприятия в сельскохозяйственной сфере с учетом прогноза погодных явлений.

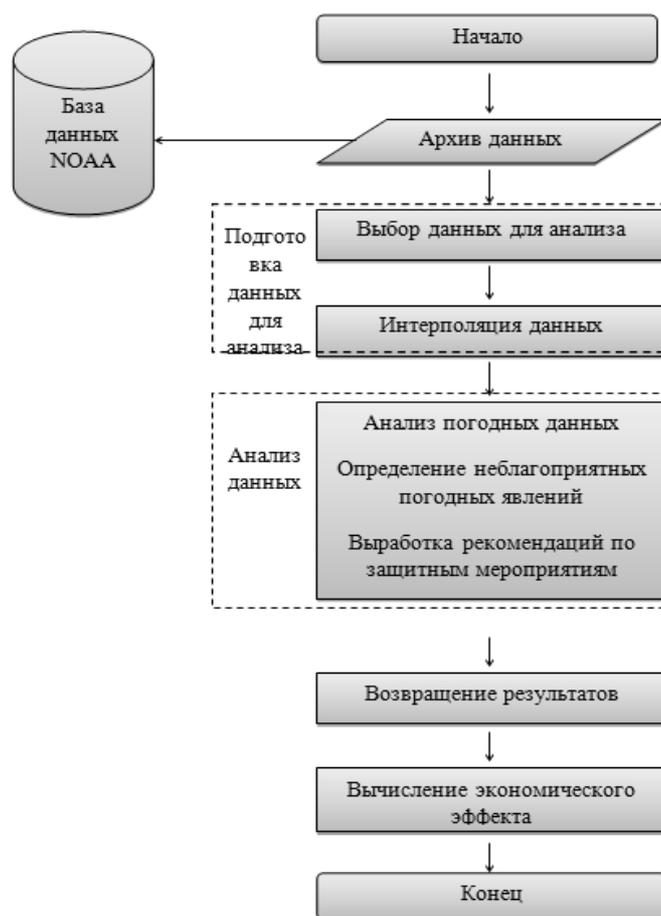


Рисунок 4 – Структура прогнозной модели

Заключение

В работе рассмотрена проблема защиты сельскохозяйственных культур от влияния неблагоприятных погодных условий, и предложено ее возможное решение путем своевременной фиксации деструктивных атмосферных изменений и выработки рекомендаций по проведению превентивных защитных мероприятий. Определены этапы разработки прототипа модели, осуществляющей информационную поддержку управления сельскохозяйственной деятельностью, а именно – выбор входных данных и анализ выходных данных, в результате чего прогнозной моделью будут возвращены рекомендации о проведении соответствующих защитных мероприятий для сохранения урожая. Осуществление информационной поддержки такого рода может существенно повлиять на экономическое положение предприятий, работающих в сфере сельского хозяйства, за счет снижения ущерба, нанесенного урожаю неблагоприятными погодными явлениями.

Определен источник данных для системы – база данных NOAA Национального управления океанических и атмосферных исследований. Оп-

ределены подходящие для концепта прогнозной модели системы структурирования и анализа данных, используемые в NOAA. Для формирования прогнозной моделью точной информации для эффективного управления защитными мероприятиями на сельскохозяйственных участках, было принято решение использовать систему NCEP-DOE Reanalysis 2.

Определены необходимые для получения своевременного прогноза шаги глобальной сетки. В результате анализа научных статей установлено, что сигнал о проведении защитных мероприятий должен поступить в среднем за два часа до прихода атмосферного фронта к сельскохозяйственным угодьям.

Проведена апробация модели в среде R посредством анализа температурных данных и определения точек формирования атмосферного фронта. Произведено сравнение полученных данных с данными, определенными посредством использования программы IDV (Integrated Data Viewer). Проверка показала, что метод выделения линий атмосферного фронта, базирующийся на анализе температурных данных, является корректным и позволит моделировать положение

атмосферных фронтов в разрабатываемой прогнозной модели с высокой степенью точности.

Решен вопрос по локальному определению атмосферного фронта, а именно, определен метод восстановления данных между фиксированными узлами глобальной решетки – это линейная интерполяция.

Сформирована структура прогнозной модели, которая включает в себя 6 модулей – Архива данных, Выбора данных анализа, Интерполяции данных, Анализа погодных данных, Выявления неблагоприятных явлений, Выработки защитных мероприятий, Возвращения результатов и Определения экономического эффекта. Приведена формула подсчета экономического эффекта от применения полученной информации для управления деятельностью предприятия, занятого в сфере сельского хозяйства.

Научная новизна работы заключается в создании прогнозной модели влияния неблаго-

приятных погодных условий на эффективность сельскохозяйственных мероприятий для использования в составе информационной системы поддержки управления эффективностью работы сельхозпредприятий. В прогнозной части модели происходит обработка метеорологических данных и вывод необходимой информации для осуществления управления защитными мероприятиями. В экономической части производится оценка результатов работы прогнозной модели по отношению к экономическому состоянию предприятия.

Практическая значимость работы определяется тем, что концепт прогнозной модели сможет стать основой для формирования конкретного программного приложения в составе специализированной информационной системы для повышения эффективности управления работой сельскохозяйственных предприятий Украины.

Список использованной литературы

1. Ханджонко Е.А. Разработка базового метода численной оценки экономического эффекта и экономической эффективности использования гидрометеорологических прогнозов – методологические и концептуальные основы. [Электронный ресурс] : статья / Е.А. Ханджонко // Методический кабинет Гидрометцентра России. – Режим доступа: <http://method.hydromet.ru/economic/basic.rtf>. Дата доступа май. 2008. – Название с экрана.
2. Жуковский Е.Е. Метеорологическая информация и экономические решения / Е.Е. Жуковский. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 303 с.
3. Багров Н.А. К вопросу об оценке гидрометеорологических прогнозов / Н.А. Багров // Метеорология и гидрология. – 1953. – № 6. – С. 13-16.
4. Карпеев Г.А. Общие принципы оценки эффективности гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства / Г.А. Карпеев // Труды Гидрометцентра СССР. – 1974. – Вып. 142.
5. Бедрицкий А.И. Экономическая полезность гидрометеорологического обеспечения / А.И. Бедрицкий, А. Хандожко // Бюлл. ВМО. – 2001. – Т.50. – № 3. – С. 266-271.
6. 10. R. What is R? – Режим доступа: <http://www.r-project.org/about.html>
7. Агафонова Г.Ф. Воздушные массы и атмосферные фронты - причина резких изменений погоды. [Электронный ресурс] : статья // Информационно-образовательный и научный портал. – Режим доступа: <http://www.planet.elcat.kg/?cont=wclim&id=12>. Дата доступа июн. 2006. – Название с экрана.
8. Kanamitsu M. Overview of NCEP/DOE Reanalysis-2. [Электронный ресурс] : статья / М. Kanamitsu // CISL Research Data Archive. – Режим доступа: <http://rda.ucar.edu/datasets/ds091.0/docs/ncep-docs/r2sumshort.pdf>. Дата доступа янв. 2004. - Название с экрана.
9. Unidata's Integrated Data Viewer [Электронный ресурс] : инструкция пользователя IDV. – Режим доступа: <http://www.unidata.ucar.edu/software/idv/docs/userguide/>. Дата доступа фев. 2012 - Название с экрана.
10. Аджиева А.А. Опасные конвективные процессы на территории Северного Кавказа [Электронный ресурс] : статья / А.А. Аджиева, В.А. Шаповалов и И.Х. Машуков // Майкопский государственный технический университет. – Режим доступа: http://www.mkgtu.ru/docs/KONF_SEM/adgijeva_shapovalov_mashukov.pdf. Дата доступа янв. 2009 - Название с экрана.
11. Гордов Е.П. Разработка и создание информационно-вычислительной инфраструктуры сбора, хранения и анализа геофизических данных [Электронный ресурс] : статья // Институт вычислительной математики – Режим доступа: http://www.inm.ras.ru/library/seminars/s9-mmgpdip/Gordov_120511.pdf. Дата доступа сен. 2011. – Название с экрана.
12. Зелениявская О.Е. Влияние объема информации на качество графического представления материалов [Электронный ресурс] : статья / О.Е. Зелениявская и О.В. Чуприна // Северо-Кавказский феде-

ральний університет. – Режим доступа: http://abiturient.ncstu.ru/Science/articles/oil-gas/2/11.pdf/file_download. Дата доступа ноя. 2011. – Название с экрана.

Надійшла до редколегії 15.05.2012

С.А. ЗОРИ, К.С. ВОЛЧКОВ

Донецький національний технічний університет

S.A. ZORI, K.S. VOLCHKOV

Donetsk National Technical University

**ПРОГНОЗНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОГОДНИХ
УМОВ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ
УПРАВЛІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬ-
КОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ**

Для інформаційної підтримки управління ефективністю роботи сільськогосподарських підприємств запропонована прогнозна модель впливу погодних умов, визначена структура та етапи її розробки, запропоновані системи структурування, аналізу та прогнозування даних, визначені аспекти використання прогнозної моделі в складі інформаційної прогностичної системи.

Ключові слова: прогнозне моделювання погодних умов, управління ефективністю роботи сільськогосподарських підприємств, система аналізу даних, атмосферний фронт, інтерполяція, економічний ефект, економічна оцінка.

**PREDICTIVE MODELING OF WEATHER
CONDITIONS FOR INFORMATION SUPPORT
OF AGRICULTURAL ACTIVITIES MANAGE-
MENT**

For information support of effective agricultural enterprises management the predictive model of the weather condition effect is proposed. Also, the structure and stages of model's development are defined. A system of structuring, analysis and data forecasting is proposed. Aspects of the use of predictive models as a part of prediction of information systems are identified.

Keywords: predictive modeling of weather conditions, performance management of agricultural enterprises, system analysis, atmospheric front, interpolation, economic impact, economic evaluation.