

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Т Р У Д Ы
ВСЕРОССИЙСКОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ –
МИРОВОГО ЦЕНТРА ДАННЫХ



*Под редакцией
доктора технических наук В. Н. КОПЫЛОВА*

ОБНИНСК
2015

Адрес: 249031, Обнинск, ул. Королева, 6
Телефон: (484) 396-40-85
Факс: (484) 396-86-11
E-mail: wccb@meteo.ru
Web site: <http://www.meteo.ru>

Редакционная коллегия

Главный редактор д.т.н. В.Н. Копылов

Зам. главного редактора д.ф.-м.н. А.М. Стерин

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. И.В. Черных

Члены редколлегии: к.т.н. С.В. Белов, к.г.н. О.Н. Булыгина, д.т.н. Е.Д. Вязилов,

д.т.н. Ю.В. Колоколов, к.т.н. А.А. Коршунов, д.г.н. В.А. Семенов,

к.ф.-м.н. С.Г. Сивачок, к.ф.-м.н. Н.П. Ковалев, д.г.н. М.З. Шаймарданов,

д.г.н. Б.Г. Шерстюков, к.ф.-м.н. А.В. Хохлова

Сборник содержит ряд статей, подготовленных на основе пленарных, секционных и стендовых докладов научной конференции «Состояние и перспективы развития информационных технологий в гидрометеорологии. Информационное обеспечение морской деятельности», проводившейся ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Конференция проходила в период с 24 по 28 ноября 2014 г. в Обнинске и была посвящена пятидесятилетию со дня основания института.

Целями проведения конференции являлись обсуждение практических вопросов в области применения информационных технологий в гидрометеорологии, развитие методов и средств получения информации об обстановке в Мировом океане, обсуждение результатов исследований, полученных учеными и специалистами в области анализа и мониторинга климата, обслуживания климатической информацией, обмен опытом.

Рассмотрение возможности публикации наиболее значимых материалов конференции в виде статей в Сборнике трудов ВНИИГМИ-МЦД в 2015 году отмечалось в решении конференции.

Авторы статей настоящего сборника представляют научно-исследовательские институты Росгидромета, Российской академии наук, других ведомств. Тематика его статей включает все направления научной конференции: информационные технологии в гидрометеорологии, информационное обеспечение морской деятельности, анализ, мониторинг климата и обслуживание климатической информацией.

Сборник будет полезен широкому кругу специалистов в охватываемых областях, а также различным категориям заинтересованных читателей.

The collection contains a number of articles prepared from plenary, section and poster papers presented at the scientific conference «State and Prospects of the Development of Information Technologies in Hydrometeorology. Information Support of Maritime Activities» that was held by FSBI «RIHMI-WDC». The Conference held on 24–28 November 2014 was dedicated to the 50th anniversary of the Institute.

The objectives of the Conference are to discuss practical issues of information technologies application to hydrometeorology, to develop methods and tools of the World Ocean information acquisition, to discuss research results obtained by scientists in climate analysis, climate monitoring and climate information services, and to exchange the experience gained.

The Resolution of the Conference envisaged the possibility of publishing the most significant papers in the RIHMI-WDC Collection of Articles in 2015.

The authors of the articles represent research institutes of Roshydromet, Russian Academy of Sciences and other government agencies. The topics of the articles cover the full range of problems examined at the Conference: information technologies in hydrometeorology, information support of maritime activities, climate analysis and monitoring, and climate information services.

The Collection of Articles may be of use to a wide range of people involved in the fields indicated, as well as to different groups of readers concerned.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Семенов С. М., Гладильщикова А. А.</i> Оценочные доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК): исходная информация и технология оценки.....	5
<i>Хохлова А. В.</i> Базовый массив аэрологических данных «Аэрокас» и его производные продукты для нужд прикладной аэроклиматологии.....	14
<i>Хохлова А. В., Руденкова Т. В., Агуренко А. О., Георгиева Л. А., Тимофеев А. А.</i> Архивация спутниковых данных вертикального зондирования атмосферы из сети ГСТ	26
<i>Клещенко А. Д., Лебедева В. М., Найдина Т. А., Гончарова Т. А., Шкляева Н. М.</i> Оперативное информационно-прогностическое обеспечение потребителей агрометеорологической продукции	33
<i>Гасников О. А.</i> Топологические методы обработки геопространственной информации	44
<i>Мастрюков С. И.</i> Использование вероятностного моделирования штормов и окон погоды	51
<i>Воронцов А. А., Нефедова Г. И., Баталкина С. А.</i> Использование современных режимно-справочных пособий по морской природной среде для информационного обеспечения морской деятельности	62
<i>Зайцева Н. А.</i> О взаимодействии РАН, Росгидромета и вузовской науки в решении проблемы изменения климата и перспективах создания совместных баз данных	73
<i>Шабанов П. А.</i> Python: возможности и перспективы в гидрометеорологии.....	81
<i>Тарабукин И. А., Дорофеев Е. В.</i> Комплексная автоматизированная информационно-измерительная система метеобеспечения авиации и прогноза опасных гидрометеорологических явлений КАСМЕТЕО	88
<i>Вишератин К. Н.</i> Анализ квазипериодических колебаний в климатических рядах композитным методом	99
<i>Семёнов В. А., Гниломедов Е. В., Салугашвили Р. С., Голубев В. Н., Фролов Д. М.</i> География распределения и генезис климатообусловленных изменений экстремальных расходов воды, опасных наводнений и маловодий на реках России.....	108
<i>Вязилова Н. А.</i> Об усилении экстремальности штормовой активности в Северной Атлантике по данным показателей ЕСИМО	121
<i>Вязилов Е. Д., Чуняев Н. В.</i> Использование смартфонов и планшетов для экстренного информационного обеспечения пользователей об опасных явлениях	133
<i>Жарашуев М. В.</i> Автоматизация идентификации площадок засева градовых облаков для Северного Кавказа	144
<i>Никишин А. В.</i> Программное средство «Аэрология-профиль» для выборки и представления аэрологических данных из банка данных «Аэрология»	153

CONTENTS

<i>Semenov S. M., Gladilshchikova A. A.</i> Assessment Reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): input information and assessment technologies	5
<i>Khokhlova A. V.</i> The basic archive of aerological data Aerostas and its products for applied aeroclimatology	14
<i>Khokhlova A. V., Rudenkova T. V., Agurenko A. O., Georgieva L. A., Timofeev A. A.</i> Archiving of satellite data of vertical sounding of the atmosphere from GST	26
<i>Kleshchenko A. D., Lebedeva V. M., Naidina T. A., Goncharova T. A., Shklyayeva N. M.</i> Operational information and forecasting support of agrometeorological products users	33
<i>Gasnikov O. A.</i> Topological methods for processing geospatial information	44
<i>Mastrjukov S. I.</i> Using the probabilistic modeling time structure of storms and weather windows	51
<i>Vorontsov A. A., Nefedova G. I., Batalina S. A.</i> TUsing modern reference books on marine environment for information support of marine activities	62
<i>Zaytseva N. A.</i> On cooperation between scientists of RAS, Roshydromet and universities for solution of the present-day climate and prospects for creation of joint data bases	73
<i>Shabanov P. A.</i> Python in hydrometeorology: state & prospects	81
<i>Tarabukin I. A., Dorofeev E. V.</i> Complex Automated Informative-Measuring System KASMETEO for dangerous hydro meteorological weather events forecasting and aviation meteorological support	88
<i>Visheratin K. N.</i> The analysis of quasiperiodical variations in climatic time series by composite method	99
<i>Semyonov V. A., Gnilomedov E. V., Salugashvili R. S., Golubev V. N., Frolov D. M.</i> Geography of distribution and genesis climatechanges of extreme water flow, dangerous flooding and low water periods on rivers of Russia	108
<i>Viazilova N. A.</i> Extreme Storms Activity Intensification in the North Atlantic based on ESIMO indicator	121
<i>Viazilov E. D., Chunyaev N. V.</i> Use of smartphones and Ipad for the emergency information of users about a dangerous phenomenon	133
<i>Zharashuev M. V.</i> Automated radar identification, field inoculation hail convective cells	144
<i>Nikishin A. V.</i> The software tool «Aerology-profile» for sampling and reporting upper-air data from the database «Aerology»	153

УДК 551.583

ОЦЕНОЧНЫЕ ДОКЛАДЫ МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ ГРУППЫ ЭКСПЕРТОВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА (МГЭИК): ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ

С. М. Семенов (*sergeysemenov1@ya.ru*)^{1, 2},
А. А. Гладильщикова (*science@igce.ru*)¹

¹ ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН»,

² Институт географии РАН

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) учреждена совместно Всемирной метеорологической организацией (рез. 4 Исполнительного совета, 1988 г.) и Программой ООН по окружающей среде (решение Совета управляющих 14/20 от 14 июня 1987 г.). Генеральная Ассамблея ООН (6 сентября 1988 г., 70-я пленарная сессия, 43/53, п. 5) одобрила это решение и поручила МГЭИК подготовку научных оценок:

- величины и сроков изменения климата, их возможных воздействий на окружающую среду и социально-экономическую систему;
- реалистичных ответных стратегий.

Эти научные оценки должны быть политически нейтральны, базироваться исключительно на данных из научных публикаций, обеспечивать информацией процесс выработки политики в области климата, но не иметь предписывающий политику характер.

Членами МГЭИК являются не эксперты, а страны (сейчас их 195). Это международная научная организация, Секретариат которой находится в Женеве (Швейцария). На пленарных сессиях страны-участницы представляются национальными делегациями. В заседаниях также принимают участие представители организаций-наблюдателей.

МГЭИК существует уже более четверти века и за время своего существования выработала уникальную процедуру привлечения экспертов – ученых из разных стран мира, которые проводят поиск, анализ и обобщение необходимой научной информации. Все они работают на добровольных началах, на безгонорарной основе. Участие в совещаниях и семинарах поддерживается либо

национальными правительствами (для экспертов из развитых стран), либо Секретариатом МГЭИК (для экспертов из развивающихся стран и стран с переходной экономикой).

МГЭИК оформляет результаты своей работы в виде публикаций – научных докладов. Периодически (раз в 5–7 лет) готовятся наиболее обширные оценочные доклады. Они суммируют и обобщают информацию, представленную в научных изданиях – журналах, монографиях, сборниках трудов и других научных публикациях. Пять оценочных докладов МГЭИК вышли в 1990, 1995, 2001, 2007 и 2013–2014 годах. По запросу готовятся и иные публикации (специальные доклады, методологические доклады и другие продукты). Публикации можно найти на сайте <http://www.ipcc.ch/>.

В 2013–2014 гг. МГЭИК завершила семилетнюю работу над Пятым оценочным докладом [1–6]. Вклады Рабочей группы I (Физические научные основы), Рабочей группы II (Воздействия, адаптация и уязвимость) и Рабочей группы III (Смягчение изменения климата), а также Синтезирующий доклад (обобщение наиболее важных результатов всех рабочих групп) приняты Пленарными сессиями МГЭИК.

В связи с терминами, входящими в названия частей оценочного доклада, иногда возникает недоразумение, связанное с нечетким толкованием термина «mitigation». В данном случае это смягчение антропогенного воздействия на климатическую систему, прежде всего сокращение эмиссий парниковых газов. Иногда этот термин трактуют как «смягчение последствий изменения климата», что неверно. Последнее есть «adaptation», «адаптация», т.е. такие меры, которые позволяют уменьшить отрицательные последствия изменения климата и усилить положительные.

Для оценки произошедших изменений климата и их последствий для здоровья населения, для природных и хозяйственных систем используются:

- данные климатического мониторинга;
- данные мониторинга состояния тех объектов, на которые воздействует изменение климата;
- математические модели или в простейшем случае – прикладные климатические индексы, которые трансформируют изменение климатических переменных в иные, описывающие состояние тех объектов, на которые воздействует изменение климата.

Рис. 1 иллюстрирует технологию получения оценок влияния произошедших и будущих изменений климата на природные и социально-экономические системы.

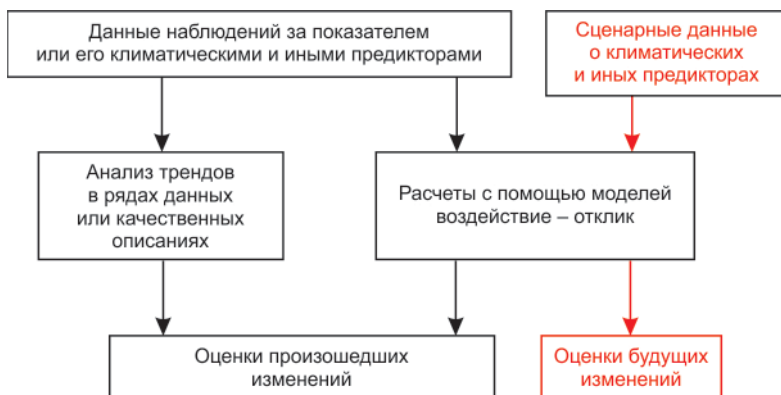


Рис. 1. Поток данных и методы оценки последствий наблюдаемых и ожидаемых изменений климата [7]

В конце XX – начале XXI вв. в исследованиях климатической системы Земли все большую роль стали играть дистанционные спутниковые данные. Они в значительной мере позволяют непосредственно путем лишь осреднения по времени получать непрерывные пространственные образы полей параметров климатической системы (экстраполяция в пространстве не нужна). По этим данным оцениваются уровень океана, температура земной поверхности, «зеленость» земной поверхности (характеризует растительный покров на суше и развитие фитопланктона на морях), площадь снежного покрова на материках и ледяного покрова на морях, состояние ледниковых систем, состав атмосферы. При этом спутники очень важны также как приемники информации от автоматических датчиков, например от автоматических буев.

Конечно, в коротком тексте нельзя изложить даже в суммирующем виде все выводы трех частей Пятого оценочного доклада МГЭИК, каждая из которых насчитывает около 1000 страниц. Ниже мы затронем лишь некоторые выводы, относящиеся к проблематике Рабочей группы I МГЭИК, т.е. к изменениям климата и климатогенным изменениям в физических системах. Данное сообщение направлено на распространение информации

об основных выводах Пятого оценочного доклада МГЭИК. При этом используются формулировки из официального перевода на русский язык Резюме для политиков Рабочей группы I [8] с некоторыми редакционными изменениями.

Изменения (в том числе потепление) климатической системы в индустриальное время является неоспоримым фактом, и начиная с 1950-х годов многие наблюдаемые изменения являются беспрецедентными в масштабах от десятилетий до тысячелетий. Установлено, что произошло увеличение концентраций парниковых газов, потепление атмосферы и океана, изменение суммы осадков, сокращение запасов снега и льда, повышение уровня океана, увеличение частоты и/или изменение параметров некоторых экстремальных климатических явлений. Температура у поверхности Земли в течение каждого из трех последних десятилетий начиная с 1850 г. была более высокой по сравнению с любым предыдущим десятилетием. В Северном полушарии самым теплым был 30-летний период с 1983 по 2012 г. за последние 1 400 лет.

Повышение температуры океана является главной составляющей увеличения энергии, содержащейся в климатической системе; на долю океана приходится более 90 % энергии, аккумулированной с 1971 по 2010 г. в климатической системе Земли. В глобальном масштабе повышение температуры океана было самым значительным вблизи поверхности, и температура в верхних 75 м повышалась на 0,11 [0,09–0,13] °C за десятилетие в период 1971–2010 гг.

Ледниковые системы деградируют практически повсеместно. Это касается и Гренландского, и Антарктического ледниковых покровов – баланс массы льда является отрицательным. Площадь морского льда сокращается, особенно это выражено в теплый сезон в Арктике. Снежный покров весной в Северном полушарии сокращается по площади.

Уровень моря продолжает повышаться, причем скорость этого процесса с середины XIX века превысила средние показатели за предыдущие два тысячелетия.

Атмосферные концентрации основных хорошо перемешиваемых парниковых газов (двуокиси углерода, метана, закиси азота) увеличились и стали беспрецедентными, по меньшей мере, для последних 800 000 лет. Важно отметить, что концентрации двуокиси углерода на 40 % превысили доиндустриальные значения

(условно – до 1750 г.), и доминирующая причина этого – выбросы CO_2 от сжигания ископаемого органического топлива, а также нетто-выбросы вследствие изменений в землепользовании.

Мировой океан обладает огромным потенциалом поглощения диоксида углерода. На поглощение океаном приходится около 30 % современных антропогенных выбросов CO_2 . Однако этот процесс приводит к подкислению поверхностного слоя океана, что имеет негативные экологические последствия для океанских экосистем. Кроме того, подкисление поверхностного слоя океана, а также его потепление ухудшают возможности дальнейшего поглощения CO_2 Мировым океаном.

Антропогенные изменения климатической системы Земли – факт. Это подтверждается в том числе в значительной степени антропогенным увеличением концентраций парниковых газов в атмосфере, положительным радиационным воздействием (radiative forcing), очевидным наблюдаемым потеплением в приповерхностном слое.

Один из важнейших выводов Пятого оценочного доклада МГЭИК представлен на рис. 2. Используя специальные методы атрибуции наблюдаемых изменений, климатологи разложили наблюдаемое в настоящее время потепление воздуха в

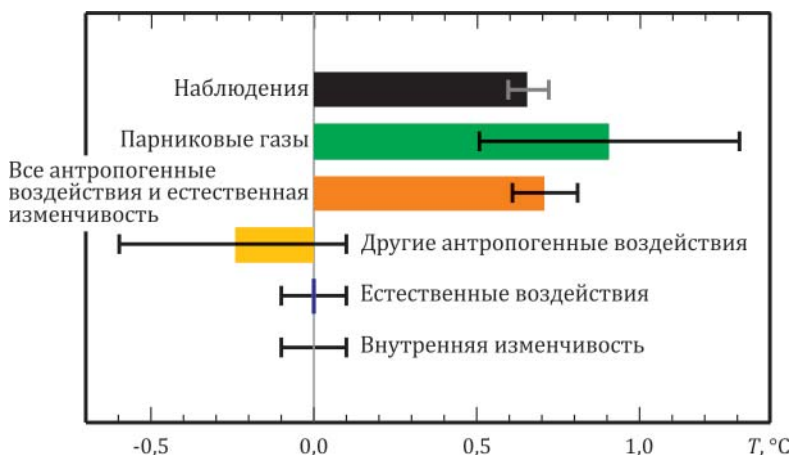


Рис. 2. Вероятностные границы (горизонтальные интервалы) и средние значения (цветные прямоугольники) оценок установленного вклада разных факторов в линейный тренд наблюдавшегося глобального потепления в 1951–2010 гг. [1]

приповерхностном слое атмосферы на различные составляющие, в том числе выделили антропогенный вклад. Он оказался доминирующим.

Как констатирует Рабочая группа I МГЭИК, установлено антропогенное влияние на повышение температуры атмосферы и океана, изменение глобального гидрологического цикла, уменьшение количества снега и льда, повышение глобального среднего уровня моря и на некоторые экстремальные климатические явления; свидетельства влияния человека стали еще более весомыми за время, прошедшее с момента выпуска в 2007 году Четвертого оценочного доклада МГЭИК; влияние человека является доминирующей причиной потепления, наблюдаемого с середины XX века [8].

Для оценки будущих изменений климата и их последствий используются:

- сценарии антропогенного воздействия на климатическую систему Земли;
- результаты расчетов будущего климата с помощью глобальных и региональных климатических моделей, на вход которых подается тот или иной сценарий;
- математические модели или в простейшем случае – прикладные климатические индексы, которые трансформируют изменение климатических переменных в иные описывающие состояние тех объектов, на которые воздействует изменение климата (такой подход уже использовался при оценке произошедших изменений).

Следует прокомментировать первый пункт приведенного списка, в котором упоминается использование сценариев. Будущий климат, скажем климат конца XXI века, определяется не только собственной, естественной динамикой климатической системы Земли, но и тем, как человечество будет воздействовать на эту систему. Можно себе представлять разные пути развития мировой экономики – от беспечного продолжения сжигания ископаемого органического топлива (нефти, газа, угля) до введения каких-то ограничений на этот процесс, например широкого внедрения воспроизводимых источников энергии. Каждому из этих путей соответствует определенная траектория изменения концентраций парниковых газов в атмосфере (для каждого газа своя). В Пятом оценочном докладе МГЭИК рассматривается несколько таких

путей, каждому из которых соответствуют определенные траектории изменения концентраций парниковых газов. В качестве обобщенной меры их совместного воздействия на климатическую систему используется радиационное воздействие (radiative forcing) – это изменение нетто-потока лучистой энергии по направлению к земной поверхности на высоте тропопаузы по сравнению с доиндустриальным значением. Кривые, характеризующие изменение концентраций, называются РТК – репрезентативные траектории концентраций. Используются РТК2.6, РТК4.5, РТК6.0 и РТК8.5. Цифры означают увеличение радиационного воздействия (среднегодового среднеглобального) в конце XXI века в Вт/м² по отношению к уровню 1750 г. РТК8.5 практически соответствует «business-as-usual», т.е. отсутствию мер по ограничению эмиссий парниковых газов.

Исследование будущего климата с использованием сценариев показало, что продолжающаяся эмиссия парниковых газов будет являться причиной дальнейшего потепления и изменений во всех компонентах климатической системы. Ограничение климатических изменений потребует значительного и непрерывного снижения выбросов парниковых газов.

Результаты расчетов будущего климата при разных сценариях антропогенного воздействия на климатическую систему Земли, проведенные с помощью глобальных климатических моделей, были систематизированы в Пятом оценочном докладе МГЭИК. При этом использовались РТК в качестве входной информации. Расчеты показали, что для всех РТК, по сравнению с уровнем 1850–1900 гг., средняя глобальная приземная температура в конце XXI века превысит 1,5 °С. Исключение – РТК2.6. При остальных РТК, вероятно, будет наблюдаться даже более сильное превышение 2 °С. Потепление продолжится и после 2100 г. при всех РТК, кроме РТК2.6.

Потепление будет и далее немонотонным. Одновременно с ростом температуры во времени в масштабе века, в масштабе десятилетия могут наблюдаться периоды торможения потепления, даже временного похолодания. Процесс изменения температуры может проходить по-разному в различных регионах.

Температура Мирового океана будет продолжать повышаться в течение XXI века, как и средний глобальный уровень моря. Это может оказывать негативные воздействия на биогеохимические

циклы парниковых газов, океанские экосистемы, а также прибрежные зоны.

Рабочая группа I МГЭИК констатирует, что круговорот воды может претерпеть существенные изменения: «Изменения в глобальном гидрологическом цикле, которые будут происходить в XXI веке как реакция на потепление, также не будут однородными. Различия в количестве осадков, выпадающих во влажных и засушливых регионах, а также в течение влажного и сухого сезонов, будут увеличиваться (с исключениями)» [8]. Последствия этих изменений для социально-экономических систем могут иметь негативный характер.

Заключение

Данные гидрометеорологических наблюдений свидетельствуют о глобальном потеплении в приповерхностном слое, которое стало особенно выраженным с середины XX века. Это оказывает влияние на физические, биологические и социально-экономические системы. Для физических систем это наблюдается в отношении объектов криосферы (морской лед, горное оледенение и оледенение островов, ледниковые покровы, материковая многолетняя мерзлота), элементов водного цикла, глобальных биогеохимических циклов парниковых газов, частоты и интенсивности ряда экстремальных гидрометеорологических явлений. Доминирующая часть глобального потепления с середины XX века связана с антропогенными факторами – с обогащением атмосферы парниковыми газами в ходе хозяйственной деятельности. Будущий климат – на протяжении XXI века и далее – будет зависеть от путей мирового экономического развития, в том числе от антропогенных эмиссий парниковых газов, связанных с хозяйственной деятельностью. Практически при всех сценариях, обсуждаемых в Пятом оценочном докладе МГЭИК, в XXI веке будут наблюдаться дальнейшее глобальное потепление и связанные с ним изменения климата. Однако потепление может быть немонотонным – на масштабах десятилетия может наблюдаться даже временное похолодание. Изменения климата не будут однородными по регионам. Прекращение дальнейшего глобального потепления требует весьма решительных мер по ограничению антропогенных выбросов парниковых газов. В отношении таких мер пока нет согласия в мировом сообществе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *IPCC, 2014a: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 p.
2. *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p.
3. *IPCC, 2014a: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 p.
4. *IPCC, 2014b: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1132 p.
5. *IPCC, 2014c: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 688.
6. *IPCC, 2014d: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
7. *Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем* / ред. С.М. Семенов, М.: НИЦ «Планета», 2012. 512 с.
8. *МГЭИК, 2013 г.: Резюме для политиков. Содержится в публикации Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата.* [Т.Ф. Стоккер, Д. Цинь, Дж.-К. Платтнер, М. Тигнор, С. К. Аллен, Дж. Бошунг, А. Науэлс, Ю. Ся, В. Бекс и П. М. Мидглей (редакторы)]. Кембридж Университи Пресс, Кембридж, Соединенное Королевство, и Нью-Йорк, США.

УДК 551.501.7:551.587

БАЗОВЫЙ МАССИВ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ «АЭРОСТАС» И ЕГО ПРОИЗВОДНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ НУЖД ПРИКЛАДНОЙ АЭРОКЛИМАТОЛОГИИ

А. В. Хохлова

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
anna_x@meteo.ru*

Общая информация о массивах аэрологических наблюдений

Многолетние исторические аэрологические данные нужны как для научных исследований по климату свободной атмосферы, так и для решения различных прикладных задач. Необходимость в аэрологических и аэроклиматических данных возникает при проектировании летных конструкций, при анализе экстремальных ситуаций, для оценок по ветроэнергетике и др. Выполнение таких работ может производиться как с применением модельных данных или данных реанализа, так и на основе исторических аэрологических данных. Накопление исторической аэрологической информации ведется в ряде климатических центров, в том числе в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (массивы «Аэростаб», «Аэростас» [1–3]) и Национальном центре климатических данных США (массив IGRA [4]). Массивы формируются на основе одних и тех же данных наблюдений, выполняемых сетью аэрологических станций. Общая схема обработки данных после поступления их в центр включает раскодировку, контроль и запись в структурированные файлы. Однако в разных центрах эти задачи решаются различным образом. Основными отличиями массивов «Аэростас» и «Аэростаб» от массива IGRA являются принципы контроля (климатический контроль в массиве IGRA и комплексный контроль в массивах «Аэростаб» и «Аэростас»), структура и формат файлов. Массивы также имеют различия по составу станций и периоду наблюдений.

Создание российского архива аэрологических данных началось в 50-е годы прошлого столетия. Первоначально техническим носителем были перфокарты. Технология формирования развивалась вместе с развитием вычислительной техники и информационных технологий. Начиная с 1978 г. создание и пополнение

глобального массива срочных радиозондовых наблюдений (массив «Аэростаб») стало проводиться на основе телеграмм, поступающих по каналам связи в Среднеазиатском региональном вычислительном центре (САРВЦ, г. Ташкент). В 1992 г. система сбора текущей аэрологической информации с каналов связи начала функционировать во ВНИИГМИ-МЦД на основе ЭВМ серии ЕС. Начиная с 1995 г. система сбора, обработки и архивации аэрологической информации, функционирующая во ВНИИГМИ-МЦД, была переведена на ПЭВМ. До 2011 г. массив имел бинарный формат. В 2010 г. в связи с переходом на новую технологию архивации данных, поступающих по каналам связи, был разработан новый формат массива [3]. Новый формат является символьным и включает ряд новых элементов, отражающих метаданные станций. Символьный формат является более удобным для восприятия и обработки. Начиная с 2011 г. архивация аэрологических данных ведется в этом формате и массив называется «Аэростас».

В создание и развитие системы сбора, обработки и накопления аэрологических данных внесли значительный вклад М. З. Шаймарданов, Р. Г. Рейтенбах, В. Д. Казначеева, Г. В. Груза, В. В. Майстрова, Т. С. Нагорная, В. А. Оржеховская, А. О. Алдухов, А. М. Стерин, Т. В. Руденкова, Б. Г. Шерстюков, И. В. Черных и многие другие. В настоящее время прием, обработка и накопление данных ведется с участием сотрудников ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» из нескольких подразделений.

Параллельно с созданием массива развивались и совершенствовались методы и технологии контроля качества аэрологической информации [5–7].

Массив «Аэростас»

Массив «Аэростас» является продолжением массива «Аэростаб» и также создается по автоматизированной технологии на основе данных, поступающих по каналам связи из Глобальной системы телесвязи (ГСТ). Оба массива вместе включают аэрологические данные с 1978 г. по настоящее время для российских станций и с 1984 по настоящее время – для зарубежных. Массивы организованы в виде файлов, содержанием которых являются срочные аэрологические данные по всем станциям земного шара за один месяц. Судовые наблюдения за каждый месяц собираются в отдельный файл.

В процессе создания архивного файла аэрологические данные проходят процедуру комплексного контроля качества, включая гидростатический, горизонтальный и вертикальный контроль качества. После прохождения контроля качества каждому метео-элементу массива присваивается признак качества. Значения, которые может принимать признак качества, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения признаков качества аэрологических данных в массиве

Значение признака качества	Качество значения метеоэлемента
0	Значение не контролировалось
1	Правильное значение
2	Сомнительное значение
3	Ошибочное значение
4	Исправленное в процессе контроля (вместо ошибочного)
5	Восстановленное при контроле значение (вместо отсутствующего)
9	Признак отсутствия значения

Каждое зондирование представляет собой запись с призначной и переменной частями. Призначная часть записи состоит из элементов:

- Длина записи
- Синоптический индекс станции или радиопозывные судна
- Год
- Месяц
- День
- Срок наблюдения по ВСВ, часы
- Действительное время выпуска радиозонда по ВСВ, часы

и минуты

- Широта со знаком
- Долгота со знаком
- Номер квадрата Марсдена
- Квадрант земного шара
- Цифра единиц градусов широты
- Цифра единиц градусов долготы
- Индекс источника данных (вид наблюдения)
- Счетчик поверхностей.

Переменная часть записи состоит из групп постоянной длины и содержит собственно данные наблюдения радиозонда (радиопилота) на:

- уровне земли;
- стандартных изобарических поверхностях (уровни: 1000; 925; 850; 700; 500; 400; 300; 250; 200; 150; 100; 70; 50; 30; 20; 10; 5 гПа);
- уровнях тропопаузы;
- уровнях особых точек по температуре и влажности;
- уровнях особых точек по ветру;
- уровнях максимального ветра.

Уровни зондирования (кроме уровня максимального ветра) содержат основные элементы наблюдений: давление воздуха, геопотенциальную высоту уровня, температуру воздуха, дефицит точки росы, направление ветра и скалярную скорость ветра. Основные элементы уровня наблюдения сопровождаются характеристикой качества Q. Для каждого уровня зондирования указывается его тип в виде кода (табл. 2).

Таблица 2

Кодирование типов уровней аэрологических данных

Код	Характеристика уровня
01	Приземный уровень, но не стандартный (по давлению или высоте)
02	Уровень особых точек по температуре и влажности, но не стандартный
03	Уровень тропопаузы, но не стандартный (по давлению или высоте)
04	Уровень особых точек по ветру, но не стандартный
05	Уровень максимального ветра
09	Стандартный уровень по высоте (для радиопилотов)
10	Стандартный уровень (только по давлению или высоте)
11	Уровень поверхности земли и стандартный уровень (по давлению или высоте)
12	Уровень особых точек по температуре и влажности и стандартный уровень (по давлению или высоте)
13	Уровень тропопаузы и стандартный уровень (по давлению или высоте)
14	Уровень особых точек по ветру и стандартный (по давлению или высоте)

К настоящему времени общий объем массива составляет около 30 Гб, ежемесячно поступают данные примерно с 900 аэрологических станций.

Данные 12 российских станций, входящих в Глобальную систему наблюдений за климатом (ГСНК), и аэроклиматические характеристики по этим станциям представлены в открытом доступе на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (<http://meteo.ru/data/167-radiosonde-observations>).

Аэроклиматическая продукция

Накопленные к настоящему времени данные являются базой для проведения исследовательских работ в области аэроклиматологии и для получения аэроклиматической продукции. С применением этих данных выполнено большое количество исследовательских работ в области аэроклиматологии, посвященных анализу климатических характеристик метеозлементов в свободной атмосфере в различных регионах, корреляционной структуре [7–10 и др.]. И.В. Черных разработан метод определения характеристик облачных слоев по данным аэрологического зондирования и получены климатические характеристики восстановленной облачности [11].

Помимо многолетних трендов средних значений представляет особый интерес исследование изменчивости климата. При неизменных средних значениях изменчивость может проявляться в размахе процессов, в изменении характерных периодичностей, в изменении распределений. Для оценки изменчивости разрабатываются и применяются различные методы, в том числе метод квантильной регрессии [12, 13].

При проектировании различных объектов возникает необходимость иметь разнообразные аэроклиматические продукты, характеризующие атмосферу в слое до 30 км. Аэроклиматическая продукция может быть различна по пространственным и временным характеристикам: глобальные или региональные оценки, постанционные данные или данные на регулярной сетке, на стандартных изобарических поверхностях, на геометрических высотах или в слоях, многолетние или погодичные аэроклиматические характеристики и т.д. Обычно в состав аэроклиматической продукции входят средние и экстремальные значения метеозлементов, среднеквадратические отклонения и другие характеристики распределений, которые определяются по заданному периоду времени. Статистические величины определяются не только для измеряемых метеозлементов, но и для рассчитываемых, таких как компоненты скорости ветра, относительная, абсолютная и удельная влажность, плотность воздуха. Помимо измеряемых и рассчитываемых величин это могут быть метеорологические характеристики и явления: высота изотерм, струйные течения, инверсии, градиенты температуры и влажности, сдвиги ветра, болтанка, турбулентность, вероятность обледенения и др.

На основе аэрологических данных, накопленных в массивах, по запросам потребителей выполняются работы по расчету и анализу аэроклиматической продукции. На рис. 1–4 приведено несколько примеров, иллюстрирующих аэроклиматическую продукцию по скорости ветра, полученную в рамках выполнения работ. На рис. 1 показан вертикальный профиль многолетней средней скорости ветра на геометрических высотах до 30 000 м. Кроме средних значений здесь нанесены дисперсии, медианы, минимальные и максимальные значения.

На рис. 2 дан годовой ход многолетней средней скорости тропосферного струйного течения по данным трех станций. Наличие струйного течения определялось по условию наличия скорости ветра не менее 28 м/с в слое от верхней границы пограничного слоя (примерно 1500 м) до тропопаузы (16 000 м). Максимальные средние скорости имеют годовой ход, достигая максимума в зимний период и ослабевая в летний.

На рис. 3 дана многолетняя повторяемость направления ветра (роза ветров) с градациями по величине скорости ветра, полученная по многолетним данным для нижнего слоя атмосферы для станции 47590 (Сендай). Розы ветров по данным станций в окрестности АЭС Фукусима были получены для оценки направления преобладающих ветров.

На рис. 4 показана роза ветров на уровне 35 м от уровня земли для станции 31510 (Благовещенск), полученная в предположении логарифмического закона изменения скорости ветра с высотой. Оценки скорости ветра в приземном слое до высот в несколько десятков метров представляют значительный интерес, в том числе для нужд ветроэнергетики, поэтому остановимся более подробно на способе определения вектора скорости ветра на заданной высоте в этом слое по аэрологическим наблюдениям.

Известно, что скорость ветра существенно изменяется с высотой в приземном слое атмосферы. Для оценки изменения значения скорости ветра по высоте используются различные модели: логарифмический закон или степенной закон [14, 15]:

$$V = V_f \cdot (h/h_f)^a,$$

$$V = V_f \cdot \ln(h/k_0)/\ln(h_f/k_0).$$

Здесь V – скорость ветра на высоте h ; V_f – скорость ветра на высоте флюгера h_f ; a – показатель степени; k_0 – параметр шероховатости.

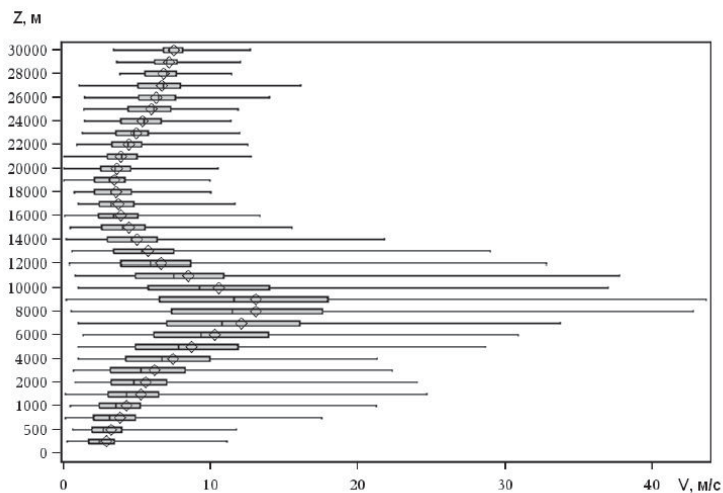


Рис. 1. Вертикальный профиль многолетней средней скорости ветра на геометрических высотах с дисперсиями (прямоугольники), медианами (ромбы), минимальными и максимальными значениями. Станция 04202, июнь

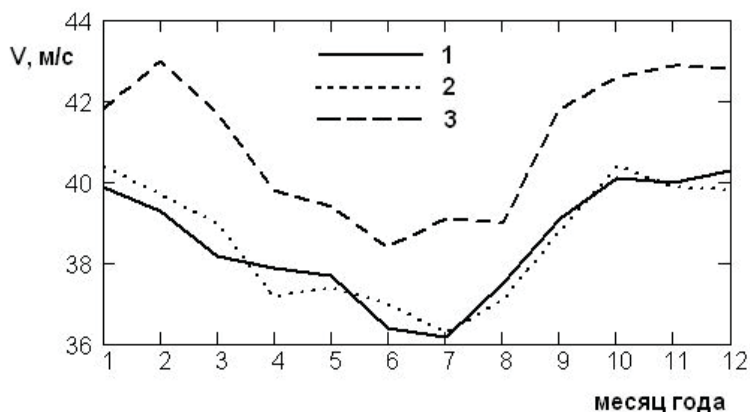


Рис. 2. Годовой ход многолетней средней скорости струйного течения на трех станциях: 1 – станция 02935; 2 – станция 02963; 3 – станция 03005

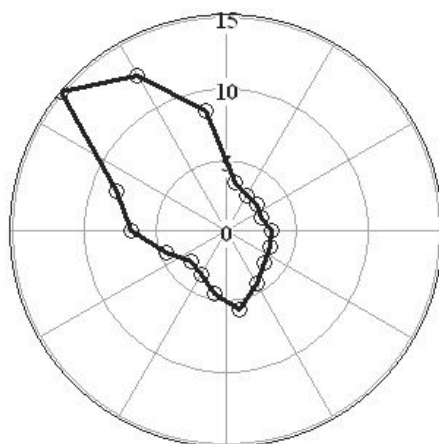
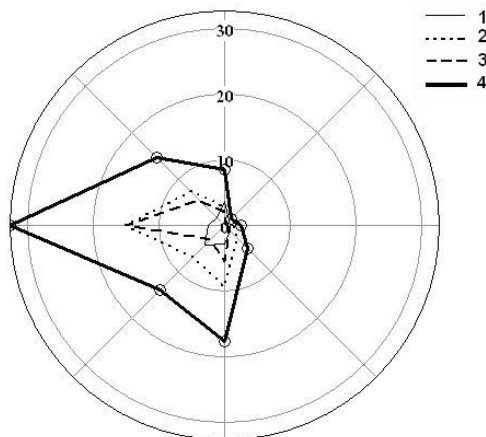


Рис. 4. Многолетняя повторяемость скорости ветра по направлениям на станции 31510 за весь период наблюдений, уровень высоты 35 м. Цифрами на оси обозначена повторяемость (%)

Эти модели позволяют оценить скорость ветра V на высоте h , если известна скорость ветра V_0 на высоте h_0 , при этом параметры моделей берутся по имеющимся оценкам [14–16]. Для определения скорости ветра на заданном уровне 35 м использовался следующий алгоритм. Для каждого срока наблюдений выбирались два уровня вблизи поверхности земли с известными данными по скорости ветра и высоте. Выбор уровней, по которым производилась интерполяция, делался с учетом качества данных на этих уровнях и ряда других условий. В предположении, что изменение скорости ветра происходит по степенному или логарифмическому закону, по данным о скорости ветра на этих двух уровнях рассчитывались параметры выбранной модели (показатель степени или параметр шероховатости). Далее на основе выбранной модели и рассчитанного параметра производилось определение скорости ветра на уровне интерполяции (35 м). Для станции «Благовещенск» средний по всему периоду наблюдений показатель степени a составляет 0,32, средний параметр шероховатости k_0 равен 2,2. Эти значения согласуются с общепринятыми. Направление скорости ветра интерполировалось линейно по высоте, при этом предполагалось, что переход направления происходит через угол, меньший 180° . Разработан также способ определения направления на заданном уровне с использованием модели Экмана для скорости ветра в пограничном слое.

После выполнения расчетов и получения временного ряда скорости ветра на заданном уровне (35 м) для каждого срока, для которого возможно сделать интерполяцию, был произведен расчет розы ветров, то есть повторяемости скорости ветра на этом уровне по направлениям с шагом 20° в нескольких диапазонах значений скорости ветра.

Перспективы развития

В связи с развитием систем аэрологических наблюдений и переходом Глобальной системы телесвязи на таблично-ориентированные кодовые формы [17] необходимо дальнейшее развитие технологии создания массива аэрологических наблюдений. В новых кодовых формах имеется большое количество элементов, которых не было в телеграммах ранее. Современные измерительные системы позволяют выполнять измерения метеорологических элементов каждые 5–10 с, что обеспечивает высокое вертикальное

разрешение. Данные каждого уровня сопровождаются географическими координатами, что является принципиальным отличием от предыдущих измерений, в которых наблюдения на высотах относились к координатам точки выпуска зонда. На рис. 5 и 6 приведен пример профилей смещения географического положения радиозонда D относительно начального положения и скорости ветра, полученных по данным высокого вертикального разрешения в таблично-ориентированных кодах с судна ASDE04 за срок 00 часов 01.09.2014. В профиле 716 уровней.

Наличие таких данных позволит значительно детальнее исследовать структуру атмосферы. Вместе с тем это требует создания новой технологии архивации и контроля аэрологических данных для формирования массивов аэрологической информации.

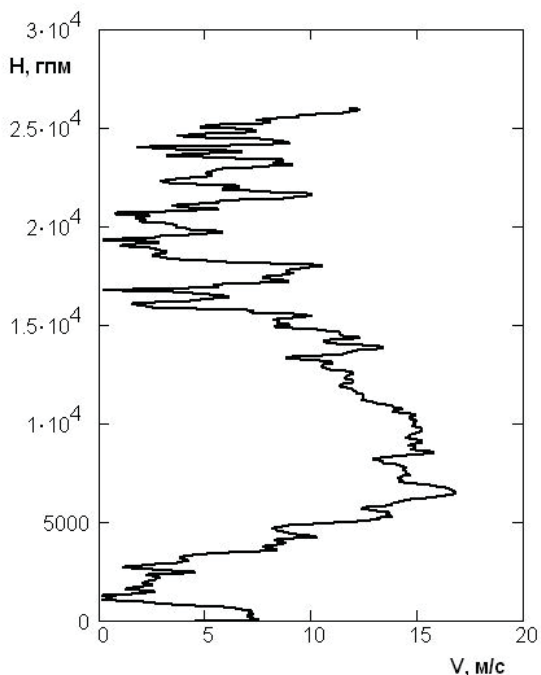


Рис. 5. Смещение положения радиозонда D с высотой по широте (сплошная линия) и долготе (пунктир) по данным высокого вертикального разрешения. Наблюдения на судне ASDE04 за 00 часов 01.09.2014

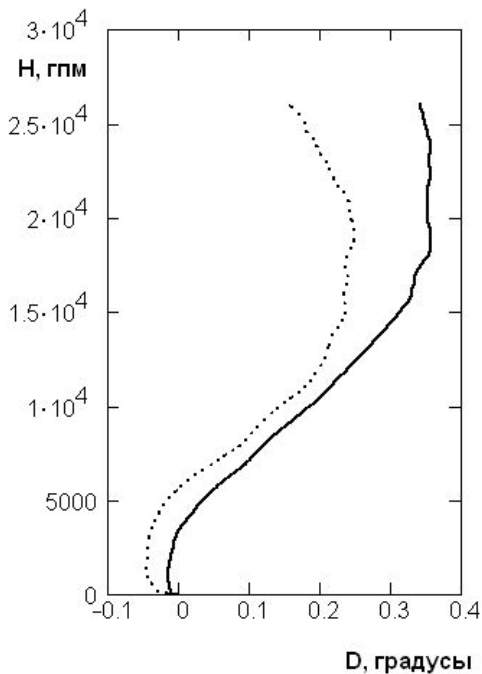


Рис. 6. Профиль скорости ветра по данным высокого вертикального разрешения. Наблюдения на судне ASDE04 за 00 часов 01.09.2014

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казначеева В.Д., Коротков А.П., Нагорная Т.С., Руденкова Т.В. Организация информационной базы данных аэрологических наблюдений (ГМБД «АЭРОЛОГИЯ») // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 1980. Вып. 81. С. 3–42.
2. Казначеева В.Д., Руденкова Т.В. Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 1985. Вып. 115. С. 91–108.
3. Руденкова Т.В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
4. Durre I., Vose R. S. and Wuertz D. B. Overview of the integrated global radiosonde archive // J. Clim. 2006. Vol. 19(1). P. 53–68.

5. Алдухов О.А. Комплексный контроль аэрологических данных ПГЭП уровня I // Метеорология и гидрология. 1983. № 12. С. 94–102.
6. Алдухов О.А. Комплексный контроль геопотенциала и температуры в архивах аэрологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 1985. Вып. 131. С. 34–63.
7. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 306 с.
8. Стерин А.М., Алдухов О.А., Бадашова Л.Ф., Булыгина О.Н., Тимофеев А.А., Черных И.В., Хохлова А.В. Основные тенденции изменений климата в атмосфере над Калужским регионом (эмпирико-статистический анализ) // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Калуга. 2007. Вып. 11. С. 486–505.
9. Козлова Л.Ф. Оценки многолетней изменчивости показателей тропопавзы над территорией РФ // Ежемесячный научный журнал «Молодой ученый». 2010. Т. 1, № 12. С. 60–64.
10. Хохлова А.В., Тимофеев А.А. Многолетние изменения ветрового режима в свободной атмосфере над Европейской территорией России // Метеорология и гидрология. 2011. № 4. С. 21–33.
11. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 2. Восстановленные облачные слои. Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 151 с.
12. Тимофеев А.А., Стерин А.М. Применение метода квантильной регрессии для анализа изменений характеристик климата // Метеорология и гидрология. 2010. № 5. С. 27–41.
13. Sterin A.M., Timofeev A. Long period trends in time series for study of climate variability and extremality // Book of abstracts. 13th EMS Annual Meeting & 11th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM). Reading, United Kingdom. 09–13 September 2013.
14. Гладкий В.Ф. Динамика конструкции летательного аппарата. М.: Наука, 1969. 496 с.
15. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. М.: Московский университет, 1986. 328 с.
16. Богаткин О.А. Авиационная метеорология. СПб.: РГГМУ, 2005. 328 с.
17. Наставление по кодам. Международные коды. Том I.2 (Дополнение II к Техническому регламенту ВМО). Часть В. Двоичные коды. Часть С. Общие элементы двоичных и буквенно-цифровых кодов. ВМО-№ 306. Женева: ВМО, 2011/12. 844 с.

УДК [551.501.724+551.501.771]:551.501.86

АРХИВАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ ИЗ СЕТИ ГСТ

*А. В. Хохлова¹, Т. В. Руденкова², А. О. Агуренко³,
Л. А. Георгиева⁴, А. А. Тимофеев⁵*

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»*

¹ anna_x@meteo.ru, ² lae@meteo.ru, ³ alina@meteo.ru,

⁴ lag@meteo.ru, ⁵ arseni@developitbest.com

Введение

Гидрометеорологические спутниковые наблюдения в силу широкого пространственного охвата являются незаменимым источником данных об окружающей среде. Некоторые виды спутниковых измерений передаются в Глобальную систему теле-связи (ГСТ) и могут быть использованы как в прогностических моделях, так и для анализа гидрометеорологических и климатических величин, при этом возникает задача сравнения измерений, полученных с разных наблюдательных платформ. Спутниковые данные поступают по каналам связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в четырех кодовых формах: SATOB, SATEM, SARAD, SAREP [1]. Для того чтобы данные можно было использовать, их необходимо раскодировать и записать в структурированные массивы. В отделе аэрологии ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» выполнен цикл работ для архивации спутниковой информации из сети ГСТ – данных по температуре поверхности океана (ТПО) [2] (сводки SATOB) и данных температурно-влажностного зондирования атмосферы (ТВЗА) [3] (сводки SATEM). В данной работе приведено краткое описание технологических процедур обработки и архивации данных ТВЗА и описание структуры массива спутниковых данных SATEM по ТВЗА.

1. Технология обработки и архивации спутниковых данных по ТВЗА

Описание исходных данных. Спутниковые данные за текущие сутки по мере поступления из сети ГСТ накапливаются в файлах

на ftp-сервере в локальной сети ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Суточный объем информации составляет 15–20 Мб. По данным за одни сутки формируются 4 файла, в которых содержатся все виды сводок в четырех кодовых формах. В рамках рассматриваемой технологии производится обработка данных по ТВЗА, поэтому в процессе обработки сначала производится выборка сводок SATEM [1, 4].

Схема обработки. Из-за большого объема исходных данных (исходные файлы данных за месяц составляют примерно 500 Мб) обработка данных выполняется с использованием СУБД MySQL и разделена на два этапа. СУБД MySQL выбрана потому, что она распространяется бесплатно, является высокопроизводительной и относительно простой в использовании. Применение MySQL значительно сократило время выполнения обработки данных. Во время первого этапа обрабатываются исходные файлы данных, происходит выборка нужных сводок SATEM, раскодирование сводок и запись в базу данных (БД). В базе данных аккумулируются раскодированные данные за месяц.

Во время второго этапа выполняются выборка из БД раскодированных значений за месяц, обработка этих данных и создание архивных файлов в соответствии с разработанным форматом структурированного массива SATEM. Объем месячной порции массива SATEM составляет 80–140 Мб. Оба этих этапа выполняются с помощью программных средств Decoding и Archiving, написанных на языке JAVA. Общая схема обработки представлена на рисунке.



Рис. Схема обработки спутниковых сводок SATEM для получения архивных файлов

2. Описание массива спутниковых данных SATEM по ТВЗА

Содержание массива. Массив спутниковых данных SATEM содержит данные ежедневных срочных наблюдений в точках зондирования по:

- облачности;
- тропопаузе и приземной температуре;
- относительной геопотенциальной высоте (толщине слоя) между заданным уровнем отсчета и стандартными изобарическими поверхностями до 1 гПа;
- количеству осажденной воды в слое между заданным уровнем отсчета и стандартными изобарическими поверхностями 700, 500, 300 гПа.

Наблюдения проводятся в сроки 00, 01, ..., 23 ч по международному стандартному времени (МСВ) и охватывают весь земной шар. Массив содержит данные с 2009 года с ежегодным пополнением данных. DVD-диск с записанными файлами за предыдущий год сдается в Госфонд Росгидромета в начале следующего года. Практически все данные поступают из центра Вашингтон (США), кодовое наименование центра – KWBC [5]. Измерения поступают в основном со спутников NOAA12, NOAA15, NOAA17, NOAA18.

Структура массива. Данные за один месяц представлены тремя файлами (по декадам). Файл состоит из записей одного вида постоянной длины. Строка файла (запись, длина 207 байтов) содержит данные одного дистанционного зондирования и представляет собой последовательность ASCII-символов [6], заканчивающуюся символами конца строки и перевода каретки. Состав элементов одной строки описан в таблице. Записи внутри файла упорядочены по возрастанию элементов: числа месяца, времени наблюдений, указателя спутника, широты, долготы.

Т а б л и ц а

Описание состава элементов записи массива SATEM

№ п/п	Элементы и их описание	Позиция
	Дата и время зондирования, указатель спутника	
1	Год	1–4
2	Месяц, цифры от 01 до 12	5–6
3	Число месяца. 01..31, число месяца по МСВ	7–8
4	Время наблюдений, часы по МСВ	9–10

Продолжение таблицы

№ п/п	Элементы и их описание	Позиция
5	Указатель спутника. Кодовая таблица С-5 [1]	11–13
	Идентификация места зондирования	
6	Октант земного шара. Кодовая таблица 3300 [1]	14
7	Широта в целых градусах со знаком. Знак плюс – северная, знак минус – южная	15–17
8	Долгота в целых градусах со знаком. Знак плюс – восточная, знак минус – западная	18–21
	Идентификация аппаратуры и метода обработки	
9	Указатель типа прибора. Кодовая таблица I3 [8]	22
10	Указатель метода обработки данных. Кодовая таблица 1765 [1]	23
	Идентификация поставщика данных	
11	Указатель центра поставщика. Кодовая таблица С-1 [1]	24–26
12	Указатель подцентра центра-поставщика. Кодовая таблица С-12 [7]	27–29
13	Номер международного центра, выпускающего сообщение, например KWBC [5]	30–33
14	Резерв, 4 пробела	34–37
	Информация об облачности	
15	Процент облачного покрова – сообщение 1. Процент облачного покрова в поле зрения прибора (00 – безоблачное небо, 58 – 58 % облачного покрова, 99 – сплошной облачный покров, 2 пробела – отсутствие данных)	38–39
16	Давление на границе облаков – сообщение 1. В целых гПа	40–44
17	Процент облачного покрова – сообщение 2. Как элемент «Процент облачного покрова – сообщение 1»	45–46
18	Давление на границе облаков – сообщение 2. В целых гПа	47–51
	Данные о тропопause и приземной температуре	
19	Давление на уровне тропопause в целых гПа	52–56
20	Температура воздуха на уровне тропопause в целых градусах Цельсия	57–59
21	Указатель метода определения тропопause. Кодовая таблица I5 [8]	60
22	Показатель точности данных тропопause. Кодовая таблица At [8]	61
23	Температура поверхности в целых градусах Цельсия	62–64
	Данные о толщине слоев между заданным уровнем отсчета и стандартными изобарическими поверхностями 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 гПа	
24	Количество слоев	65–67
25	Относительная достоверность вычислений в десятках процентов	68–69
26	Давление на заданном уровне отсчета в целых гПа	70–74

Окончание таблицы

№ п/п	Элементы и их описание	Позиция
27	Толщина слоя ОТ850 в гп. м	75–80
28	Толщина слоя ОТ700 в гп. м	81–86
29	Толщина слоя ОТ500 в гп. м	87–92
30	Толщина слоя ОТ400 в гп. м	93–98
31	Толщина слоя ОТ300 в гп. м	99–104
32	Толщина слоя ОТ250 в гп. м	105–110
33	Толщина слоя ОТ200 в гп. м	111–116
34	Толщина слоя ОТ150 в гп. м	117–122
35	Толщина слоя ОТ100 в гп. м	123–128
36	Толщина слоя ОТ70 в гп. м	129–134
37	Толщина слоя ОТ50 в гп. м	135–140
38	Толщина слоя ОТ30 в гп. м	141–146
39	Толщина слоя ОТ20 в гп. м	147–152
40	Толщина слоя ОТ10 в гп. м	153–158
	Данные о толщине слоев между заданным уровнем отсчета после уровня 10 гПа и стандартными изобарическими поверхностями 7, 3, 1 гПа	
41	Количество слоев	159–161
42	Относительная достоверность вычислений в десятках процентов	162–163
43	Давление на заданном уровне отсчета в целых гПа	164–168
44	Толщина слоя ОТ7 в гп. м	169–174
45	Толщина слоя ОТ3 в гп. м	175–180
46	Толщина слоя ОТ1 в гп. м	181–186
	Данные о количестве осажденной воды в слое между заданным уровнем отсчета и стандартными изобарическими поверхностями 700, 500, 300 гПа	
47	Количество слоев	187–189
48	Относительная достоверность вычислений в десятках процентов	190–191
49	Давление на заданном уровне отсчета в целых гПа	192–196
50	Количество осажденной воды в слое 700 гПа в миллиметрах	197–199
51	Количество осажденной воды в слое 500 гПа в миллиметрах	200–202
52	Количество осажденной воды в слое 300 гПа в миллиметрах	203–205
53	Конец строки. Коды перевода строки и возврата каретки	206–207

Структура хранения данных и константы отсутствия. Массив SATEM символьный, содержит числовые и текстовые значения величин. Формат хранения числовых данных в массиве FC(w[,d[,s]]) является символьным форматом для представления

целых чисел и чисел с десятичной точкой в коде ASCII [6]. Для хранения текстовых данных используется формат AA(w) – символичный формат для представления текстовой информации в коде ASCII. Константа отсутствия – w пробелов. В поле длины w число выровнено вправо.

Размещение записей на технических носителях. Носитель массива SATEM – DVD-диск. На одном DVD-диске размещаются данные за 12 месяцев одного года. Каждый месяц представлен тремя файлами данных. Архивные файлы данных имеют имена SATEMГТТГММЧ. arh, где ГТТГ – год наблюдений, ММ – месяц наблюдений, Ч – часть (1, 2, 3). Том содержит также заархивированный файл исходных данных из сети ГСТ за 12 месяцев года (Archived_Source_Files_ГТТГ, где ГТТГ – год) и файл «Описание массива данных SATEM». Структура томов – постоянное количество файлов (38 файлов). Общий объем тома составляет от 2 до 4 Гб.

Заключение

В результате выполненного комплекса работ в отделе аэрологии ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» проводится обработка, архивация и сдача в Госфонд Росгидромета структурированного массива спутниковых данных SATEM по температурно-влажностному зондированию атмосферы, поступающих из сети ГСТ. Формат массива соответствует требованиям формата ЯОГМД. Массив создается на DVD-дисках. Создание файлов массива производится с использованием базы данных. К настоящему времени по рассмотренной в статье технологии созданы и сданы в Госфонд массивы данных по вертикальному зондированию атмосферы за 2009–2013 гг. Данные могут быть использованы для исследования полей влажности в атмосфере, а также для сравнения с наблюдениями с других измерительных платформ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наставление по кодам. Международные коды. Том I.1 (Дополнение II к Техническому регламенту ВМО). Часть А. Буквенно-цифровые коды.* ВМО-№ 306. Женева: ВМО, 2011. 520 с.
2. *Агуренко А. О., Георгиева Л. А., Руденкова Т. В., Тимофеев А. А., Хохлова А. В.* Спутниковые данные по температуре поверхности океана из сети ГСТ: архивация и использование // Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД. Информационные технологии Государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды. 2010. Вып. 174. С.120–138.

3. Хохлова А. В., Руденкова Т. В., Азуренко А. О., Георгиева Л. А., Тимофеев А. А. Спутниковые данные вертикального зондирования атмосферы из сети ГСТ: технология обработки и архивация // Труды «ВНИИГМИ-МЦД». 2014. Вып. 178. С. 61–72.

4. *Наставление* по Глобальной системе телесвязи. Том I (Дополнение III к Техническому регламенту ВМО). Глобальные аспекты. ВМО-№ 386. Женева: ВМО, 2009. 310 с.

5. *Метеорологические сообщения*. ВМО-№ 9. Т. С1. Каталог метеорологических бюллетеней. Женева: ВМО, 2012. 983 с.

6. Веселов В. М. Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ (ЯОД Аисори). Руководство пользователя. Редакция 25.11.96. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1996. 31 с.

7. *Наставление* по кодам. Международные коды. Том I.2 (Дополнение II к Техническому регламенту ВМО). Часть С. Общие элементы двоичных и буквенно-цифровых кодов. ВМО-№ 306. Женева: ВМО, 2011/12. 844 с.

8. *Наставление* по кодам. Региональные коды и национальная практика кодирования. Т. 2. ВМО-№ 306. Женева: ВМО, 2011/12. 372 с.

УДК 551.509.3:631.554/.559

ОПЕРАТИВНОЕ ИНФОРМАЦИОННО-ПРОГНОСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

***А. Д. Клещенко, В. М. Лебедева, Т. А. Найдина,
Т. А. Гончарова, Н. М. Шкляева***

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной метеорологии», cxm@meteo.ru*

Одной из основных задач Гидрометеослужбы России является обеспечение сельского хозяйства метеорологической и агрометеорологической информацией вследствие его большой зависимости от погодных условий. Особая роль при этом отводится оценке условий вегетации и ожидаемой урожайности сельскохозяйственных культур.

Разработанные в ФГБУ «ВНИИСХМ» методы и технологии прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур используются в оперативной практике Росгидромета для различных уровней обслуживания сельскохозяйственных производителей: в ФГБУ «Гидрометцентр России», ФГБУ «ВНИИСХМ», а также в оперативных подразделениях УГМС и ЦГМС Росгидромета.

Совместное использование метеорологической информации, данных агрометеорологических наблюдений и дистанционного зондирования для решения задач оперативной агрометеорологии позволяет повысить качество составляемых прогнозов как по отдельным субъектам Российской Федерации, так и по федеральным округам (ФО) и России в целом.

Для автоматизации работ отделов агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России и ВНИИСХМ, связанных с обработкой оперативной информации, организацией и проведением необходимых расчетов, а также формированием аналитических таблиц метеорологических и агрометеорологических данных, разработана информационно-прогностическая система (ИПС).

Синоптико-статистический метод прогноза урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур

Развитие синоптико-статистического направления в агрометеорологическом прогнозировании связано в первую очередь

с задачей прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур до их сева (заблаговременность более 5 месяцев). Очевидно, что традиционную информацию при составлении прогнозов в данном случае использовать затруднительно, так как к моменту составления прогноза такой информации нет. Решение этой задачи потребовало применения нового подхода, основанного на предположении, что длительные аномалии в циркуляции атмосферы не возникают внезапно, а подготавливаются всем предыдущим развитием атмосферных процессов в пределах всего Северного полушария во всей толще тропосферы [1–3].

Синоптико-статистические модели – это математические модели, основанные на учете особенностей циркуляции атмосферы и теплового состояния океанов в осенне-зимний период, предшествующий вегетации культур.

Синоптико-статистический метод прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур основан на сочетании двух прогнозов: прогноза тренда урожайности с помощью метода гармонических весов и оценки отклонений урожайности от тренда, выполняемой с помощью синоптико-статистических методов оценки агрометеорологических условий формирования урожая [4, 5] (рис. 1).

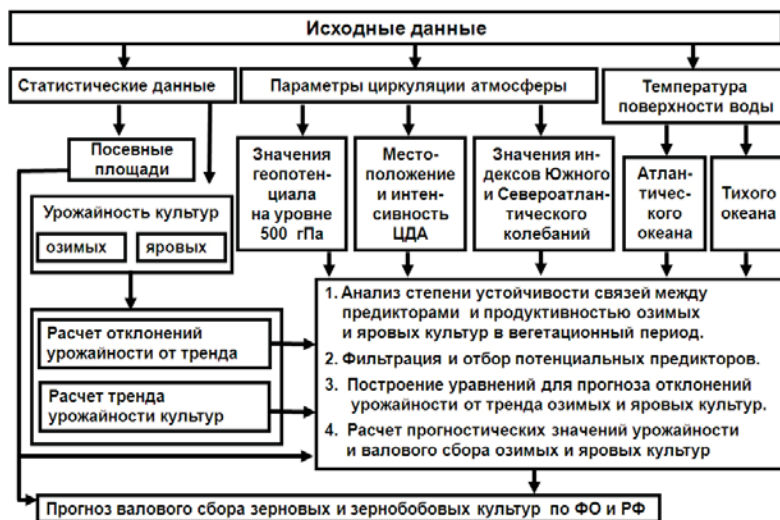


Рис. 1. Блок-схема синоптико-статистического прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур по федеральным округам и России в целом

Для составления долгосрочных прогнозов ожидаемой урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур разработан пользовательский интерфейс, позволяющий в значительной мере упростить работу агрометеоролога-прогнозиста. На рис. 2 показан интерфейс программного комплекса. Прогноз составляется до начала сева яровых культур, в конце марта.

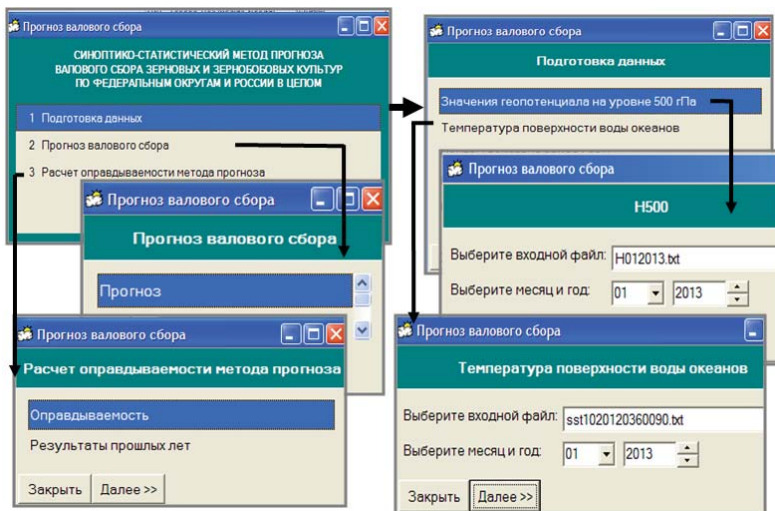


Рис. 2. Основные меню программного комплекса

Динамико-статистические методы прогноза урожайности сельскохозяйственных культур

Динамико-статистические методы позволяют прогнозировать ожидаемую урожайность сельскохозяйственных культур в период вегетации растений с заблаговременностью от одного до двух и от двух до четырех месяцев [7].

В основе методов – динамические модели роста и формирования урожая сельскохозяйственных культур, кроме того используются статистические данные об урожайности за последние несколько десятков лет. Ожидаемая урожайность – произведение тенденции временного ряда урожайности, рассчитываемой статистическими методами, и оценки условий вегетационного периода, определяемой по динамической модели (рис. 3). Предполагается,

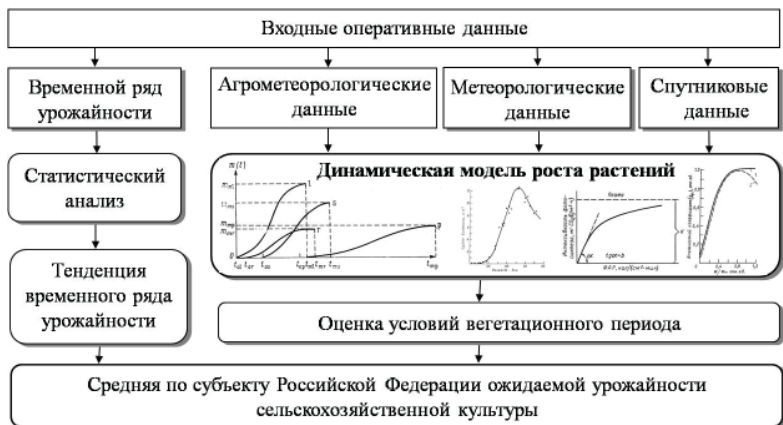


Рис. 3. Блок-схема динамико-статистического метода прогноза

что тенденция отражает влияние на урожайность уровня культуры земледелия, изменение доз удобрений, почвенные и климатологические условия рассматриваемого региона. Оценка условий вегетации характеризует отклонение урожайности от сложившейся тенденции, при этом посредством дифференциально-разностных уравнений моделируются процессы фотосинтеза, дыхания и роста, что позволяет рассчитывать накопление сухой биомассы органов растений в течение вегетационного периода в зависимости от складывающихся метеорологических условий [6, 7].

Для прогностических целей используется прикладной вариант динамической модели, учитывающий биологические особенности сельскохозяйственной культуры и почвенно-климатические условия субъекта и адаптированный к сокращенному объему входной оперативной информации (сумма осадков и температура воздуха). В ФГБУ «ВНИИСХМ» были разработаны и успешно используются в оперативных подразделениях Росгидромета методы оценки условий вегетации и прогноза урожайности целого ряда сельскохозяйственных культур: озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, ярового ячменя, картофеля, зерновых и зернобобовых культур в целом по субъектам Российской Федерации [3, 8–10].

В последние годы, наряду с наземной информацией, появилась возможность получения спутниковых данных (индекс NDVI) в оперативном режиме в течение всего периода вегетации сельскохозяйственных культур (с сервиса Vega ИКИ РАН,

<http://pro-vega.ru/>), что позволило увеличить качество динамико-статистических методов прогноза урожайности [11]. Для оперативной работы УГМС и ФГБУ «Гидрометцентр России» был разработан метод прогноза урожайности кукурузы по основным кукурузосеющим субъектам с использованием наземной и спутниковой информации (рис. 4) [12].

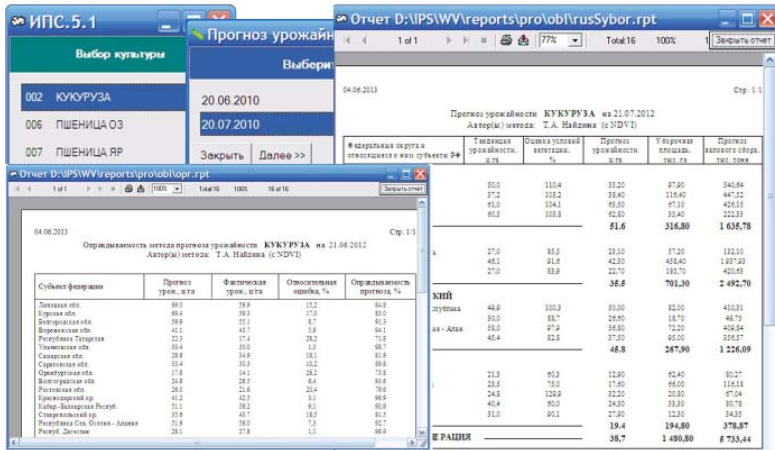


Рис. 4. Прогнозирование урожайности кукурузы с использованием NDVI

Информационно-прогностическая система

Для реализации методик оценки условий вегетации и прогнозирования урожайности в оперативной практике разработана специализированная информационно-прогностическая система, которая позволяет на базе одного ПК осуществлять обработку декадных телеграмм в коде КН-21 и проводить расчеты по разработанным методикам по всей территории Российской Федерации. ИПС реализована для операционных систем WINDOWS-2000/XP/2003/2007 с использованием СУБД FireBird.

ИПС автоматизирует работу отдела агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра России и ВНИИСХМ, связанную с обработкой оперативной информации, организацией и проведением расчетов оценки условий вегетации и прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур на базе этой информации по субъектам Российской Федерации, федеральным округам, России в целом, составлением информационных таблиц.

Использование ИПС в оперативной работе позволяет существенно уменьшить затраты рабочего времени оперативных работников на выполнение работ по составлению прогнозов, раскодировке информации, подготовке материалов для оперативного обслуживания потребителей. В системе предусмотрена возможность оценки качества оперативных прогнозов при получении данных из РОССТАТ Российской Федерации о фактической урожайности сельскохозяйственных культур.

ИПС включает в себя следующие системы: обработки оперативной агрометеорологической информации, оперативного прогнозирования, составления информационных таблиц (рис. 5).



Рис. 5. Структура ИПС

Система обработки оперативной агрометеорологической информации обеспечивает регулярное пополнение оперативной базы данных вновь поступающими по каналам связи данными наблюдений:

- получает в качестве входных данных файл телеграмм в коде КН-21;
- выполняет синтаксический анализ телеграмм и поэлементный синтаксический контроль;
- обеспечивает корректировку телеграмм оператором и их повторную обработку;

- преобразует иерархическую структуру телеграмм в реляционную структуру используемой СУБД и записывает информацию в базу оперативных данных.

Система оперативного прогнозирования является центральным компонентом ИПС и представляет собой комплекс программ для автоматизированного расчета:

- оперативных прогнозов урожайности;
- ежедекадной оценки условий вегетации;
- оценки качества составленных прогнозов урожайности.

Система составления информационных таблиц состоит из комплекса программ, позволяющих пользователю формировать разнообразные таблицы метеорологических и агрометеорологических данных, а также прогностические материалы для вывода на печать или экспорта в файлы с расширением «.doc», «.xls» и др. Для работы доступны материалы как за текущий год, так и за все содержащиеся в базе данных прошедшие годы.

Информационная база ИПС включает следующие базы данных:

- база оперативных данных содержит оперативные агрометеорологические данные, полученные в результате обработки телеграмм и материалы Федеральной службы государственной статистики по урожайности, валовому сбору, посевной площади сельскохозяйственных культур за текущий и предшествующие годы;
- база справочных данных содержит каталоги культур, станций, субъектов РФ и федеральных округов;
- база агроклиматических данных содержит декадные нормы температуры и сумм осадков по субъектам РФ.

Основными функциями автоматизированной агрометеорологической информационно-прогностической системы являются (рис. 6):

- обработка, контроль и занесение в базу данных оперативной информации, поступающей по каналам связи в коде КН-21;
- ежедекадная количественная оценка условий произрастания сельскохозяйственных культур (озимой ржи, озимой пшеницы, яровой пшеницы, ярового ячменя, кукурузы, зерновых и зернобобовых в целом, картофеля) в период вегетации по территории субъектов;
- составление агрометеорологических прогнозов урожайности и валовых сборов озимой ржи, озимой пшеницы, яровой

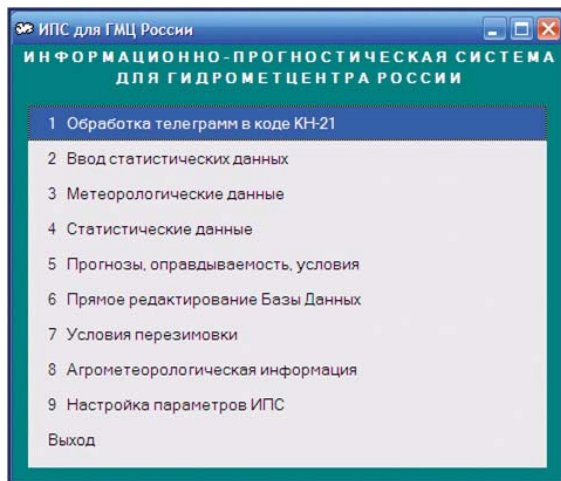


Рис. 6. Вид главного окна (главного меню) ИПС

пшеницы, ярового ячменя, кукурузы, зерновых и зернобобовых в целом, картофеля по территории субъектов РФ, федеральным округам и России в целом в установленные Росгидрометом оперативные сроки;

- формирование аналитических таблиц метеорологических и агрометеорологических данных, содержащихся в декадных агрометеорологических телеграммах – всего около 60 показателей.

Пополнение базы оперативных данных ИПС происходит за счет информации, поступающей по каналам связи: декадных агрометеорологических телеграмм в коде КН-21 и данных РОССТАТ о фактической урожайности, посевных площадях и валовом сборе сельскохозяйственных культур.

Система оперативной обработки метеорологической и агрометеорологической информации осуществляется в первом пункте главного меню ИПС. В качестве входных данных используется текстовый файл с декадными телеграммами в коде КН-21 (рис. 7).

После обработки телеграмм раскодированная информация записывается в базу данных и становится доступной для использования в оперативной работе в виде таблиц, создающихся в пунктах 3, 7 и 8 главного меню, и в виде информации для составления оценки условий вегетации и прогноза урожайности сельскохозяйственных культур (пункт 5).

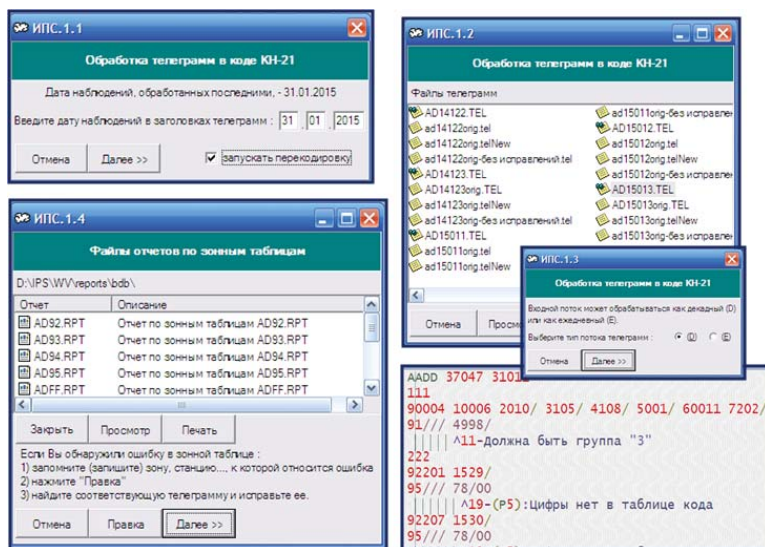


Рис. 7 Обработка декадных телеграмм в коде KN-21

Система оперативного прогнозирования является центральным компонентом ИПС. Она представляет собой комплекс программ для автоматизированного расчета оценки условий вегетации и составления основных агрометеорологических прогнозов по субъектам РФ, федеральным округам (рис. 8) и России в целом. В ИПС предусмотрена возможность оценки качества оперативных прогнозов при получении данных из РОССТАТ о фактической урожайности сельскохозяйственных культур.

В таблицах метеорологических и агрометеорологических данных содержится декадная оперативная информация об основных элементах по станциям, субъектам и округам Российской Федерации (рис. 9).

В отделе агрометеорологических информационно-прогностических систем обслуживания народного хозяйства продолжается работа по усовершенствованию ИПС и созданию новых методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур.

В последние годы в ФГБУ «ВНИИСХМ» проводится регулярный мониторинг оценки состояния посевов зерновых культур на основе спутниковой информации с передачей в ФГБУ «Гидрометцентр России» и региональные УГМС [13].

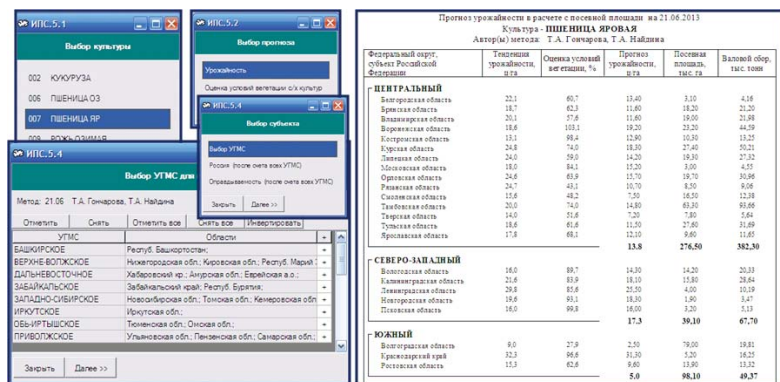


Рис. 8. Составление прогнозов урожайности в ИПС

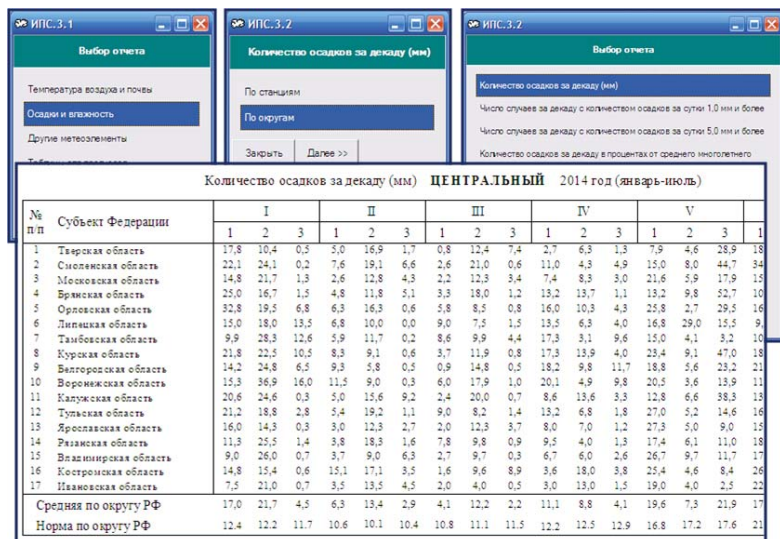


Рис. 9. Пример формирования отчета с декадными суммами осадков по субъектам РФ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пасов В.М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 107 с.
2. Лебедева В.М. Метод долгосрочного прогноза теплообеспеченности вегетационного периода // Метеорология и гидрология. 2005. № 9. С. 93–99.

3. *Русакова Т.И., Лебедева В.М., Грингоф И.Г., Шкляева Н.М.* Современная технология поэтапного прогнозирования урожайности и валового сбора зерновых культур // *Метеорология и гидрология*. 2006. № 7. С. 101–108.
4. *Лебедева В.М.* Долгосрочный синоптико-статистический метод прогноза валового сбора зерновых культур по федеральным округам и России в целом // *Труды ГУ «ВНИИСХМ»*. 2010. Вып. 37. С. 69–81.
5. *Лебедева В.М., Чуб О.В.* Результаты испытания метода долгосрочного прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур по федеральным округам и России в целом в ФГБУ «Гидрометцентр России» // *Информационный сборник № 41. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов*. М.; Обнинск: ИГ СОЦИН, 2014. С. 136–150.
6. *Полевой А.Н.* Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 320 с.
7. *Лебедева, В.М., Страшная А.И.* Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Книга 2. Оперативное агрометеорологическое прогнозирование. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 216 с.
8. *Лебедева В.М.* Результаты испытаний метода прогноза урожайности яровой пшеницы в Приволжском, Верхне-Волжском, Северо-Кавказском УГМС и УГМС Республики Татарстан с заблаговременностью 1–2 месяца // *Информационный сборник № 39. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов*. М.; Обнинск: ИГ СОЦИН, 2012. С. 110–120.
9. *Гончарова Т.А., Найдина Т.А., Лебедева В.М., Богомолова Н.А.* Результаты авторских и производственных испытаний в ФГБУ «Гидрометцентр России» автоматизированной технологии составления оценки условий вегетации и прогноза урожайности яровой пшеницы и картофеля по субъектам Российской Федерации // *Информационный сборник № 41. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов*. М.; Обнинск: ИГ СОЦИН, 2014. С. 111–126.
10. *Гончарова Т.А., Найдина Т.А.* Результаты испытания метода прогноза урожайности яровой пшеницы в Уральском, Обь-Иртышском, Западно-Сибирском, Среднесибирском, Иркутском, Забайкальском, Приморском, Дальневосточном УГМС // *Информационный сборник № 41. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов*. М.; Обнинск: ИГ СОЦИН, 2014. С. 127–135.
11. *Найдина Т.А.* Использование спутниковой информации в моделях биопродуктивности зерновых культур для расчета интенсивности фотосинтеза // *Труды ИПГ*. М., 2011. С. 189–195.
12. *Клеценко А.Д., Найдина Т.А.* Динамическая модель продукционного процесса кукурузы с использованием спутниковой информации и методы прогноза урожайности // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 12. С. 88–98.
13. *Клеценко А.Д., Вирченко О.В., Савицкая О.В.* Спутниковый мониторинг состояния и продуктивности посевов зерновых культур // *Труды ФГБУ «ВНИИСХМ»*. 2013. Вып. 38. С. 54–70.

УДК 551.46:002

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

О. А. Гасников

*ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-
гидрографический институт»,
mail@gningi.ru*

Одним из приоритетных направлений национальной морской политики является информационное обеспечение, которое предусматривает поддержание и развитие глобальных информационных систем, обеспечивающих морскую деятельность государства. Автоматизация процессов обработки данных и численного моделирования в различных береговых и судовых системах управления требует подготовки океанографической и гидрографической информации в цифровой форме. Во многих гидрометеорологических приложениях используется пространственное представление значений параметров на основе цифровой модели среды определенного уровня обобщения. В большинстве случаев используются детерминистические и статистические методы. Первые основываются на оценке данных в узле сетки по непосредственно близким от него измеряемым точкам или выбранной математической функции, определяющей сглаженность результирующей поверхности (метод обратновзвешенных расстояний, сплайн-интерполяция, тренд и т. д.). Вторые исходят из стохастического представления процесса формирования данных измерений и в большинстве случаев включают этапы оценки автокорреляционной функции и собственно интерполяции.

Следует отметить, что применение указанных методов часто имеет формальный характер. С математической точки зрения задача интерполяции некорректна. Если построена одна такая поверхность, то существует бесконечно много других функций из этого класса функций, удовлетворяющих условию задачи. Приходится вводить некоторые дополнительные эвристические критерии (дифференцируемость, гладкость, минимум энергий упругой деформации и т. д.)

Очевидно, что морфологические особенности поверхности после приведения значений к узлам регулярной сетки будут

существенно отличаться от исходного поля. Однако кроме этого обстоятельства возникает проблема с задачей выявления локальных экстремумов. Действительно, регулярная сетка строится для получения гладкой поверхности и обычно имеет незначительный шаг по пространству. Значения смежных значений в узлах регулярной сетки будут довольно близки и существенно зависят как от способа интерполяции, так и от расположения узлов регулярной сетки относительно исходной нерегулярной. Это приводит к появлению как «ложных» экстремумов, так и исчезновению имеющихся в исходной выборке.

Таким образом, качество решения задачи интерполяции зависит от целого ряда факторов:

- свойств исходного поля и аппроксимирующей функции;
- характера взаимного расположения исходных точек наблюдения и точек сетки, в которые осуществляется интерполяция данных;
- случайных ошибок наблюдения;
- свойств выбранной схемы расчета.

Довольно часто полученные «гриды» используются в гидродинамических моделях. При этом применяются различные проекции. В ряде случаев прибегают к равноплощадной проекции, что оправдано, так как в этом случае мы получаем действительно регулярную сетку. Но нужно понимать, что в действительности на поверхности Земли эта сетка существенно не регулярная, так как равноплощадные проекции не сохраняют углы и линейные размеры искажаются. При использовании таких «гридов» в соответствующих динамических уравнениях возникают фиктивные силы, связанные с линейными искажениями. Чтобы их компенсировать, в системы уравнений вводятся дополнительные члены, компенсирующие эти силы.

Отдельным вопросом являются вопросы обобщения (генерализации) геопространственной информации и приведения (согласования) ее к одному масштабу. Ему практически не уделяется должного внимания. Отчасти это объясняется широким использованием современных геоинформационных систем при работе с геопространственными данными, где, однако, практически отсутствуют необходимые процедуры.

Для автоматизированной обработки геопространственных данных предлагается использовать топологические методы

анализа пространственных полей. Традиционно конфигурация поля и его динамика анализируются на основе карт изолиний путем выделения на них особых точек или областей. Как правило, в этих случаях абсолютные значения в точках имеют меньший приоритет по сравнению с их взаимным расположением. Такой подход широко применяется практически во всех областях наук о Земле (геофизика, гидрология, метеорология, геология, гидрография и т. д.). Эти особые точки могут иметь различные наименования (гора, впадина, центр циклона/ антициклона), но с математической точки зрения они являются особыми (критическими) точками некоторого топологического пространства, что объективно предполагает использование для его описания элементов теории алгебраической (комбинаторной) и дифференциальной топологии. Первая может быть использована для связи между непрерывным и дискретным описанием поля, описанием структурных особенностей поля. Вторая – для выявления и согласования основных свойств поверхности с учетом ее локальных структурных особенностей.

Теория Морса устанавливает основы для описания множества критических точек гладкой функции, заданной на многообразии [1]. Класс функций Морса имеет минимальный набор типов критических точек и включает локальные экстремумы и седло точки (рис 1).



Рис. 1. Типы невырожденных точек:
а) минимум; б) максимум; в) седло

Гладкая функция называется функцией Морса, если все ее критические точки невырожденные. Это равносильно условию обращения в ноль всех частных производных функции первого и второго порядка в этих точках.

Рассмотрим функцию Морса на компактном гладком многообразии. Произвольную поверхность уровня и ее компоненты связности назовем слоями. В результате многообразие разбивается

в объединение слоев с особенностями. Сопоставляя каждый слой одной точке и вводя естественную фактор-топологию в пространство слоев, получаем некоторое фактор-пространство. Его можно рассматривать как базу этого слоения. Для функции Морса данное пространство является графом Кронрода–Риба.

Вершинами графа Кронрода–Риба являются точки, отвечающие слоям исходной функции, содержащие критические функции. Вершины графа являются концевыми, если они являются концами ровно одного ребра графа. Все остальные вершины внутренние. Концевые вершины графа Риба отвечают локальным минимумам и максимумам функции. Внутренние вершины графа Кронрода–Риба отвечают особым слоям функции, содержащим седловые критические точки (рис. 2). Таким образом, граф представляет собой структуру, описывающую критические точки заданной поверхности: граф Кронрода–Риба простой функции Морса на замкнутой двумерной ориентируемой или неориентируемой поверхности определяет эту поверхность однозначно с точностью до диффеоморфизма и позволяет восстановить топологию поверхности.

Определив векторное поле на поверхности и соединив ее критические точки линиями гребней (максимум–седло) и тальвегов

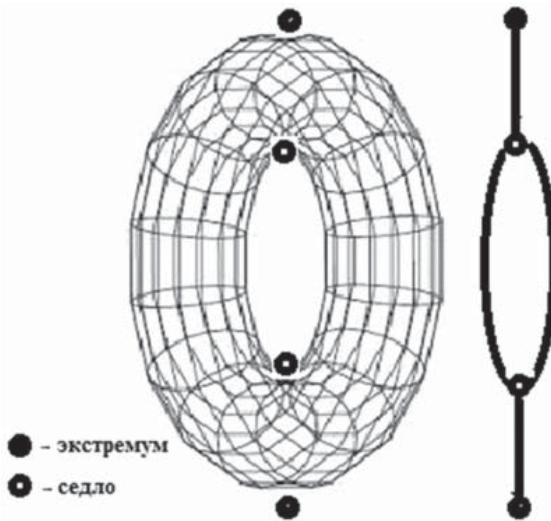


Рис. 2. Функция Морса и граф Кронрода–Риба

(минимум–седло), мы получим клетки Морса–Смейла [3, 4]. Все критические точки должны отстоять друг от друга на некоторое расстояние, элементарная клетка не должна содержать внутри себя или на границе минимумов, максимумов или седел. Каждая ячейка комплекса Морса–Смейла имеет простую геометрию. Это практически монотонная функция, которая хорошо аппроксимируется полиномиальным уравнением.

Существует всего семь различных простейших деревьев Кронрода–Риба и три вида клеток Морса–Смейла [5]. Они представлены в схематическом виде на рис. 3. Две последние схемы первого (№ 6 и 7) и второго (№ 2 и 3) рядов представляют вырожденные типы.

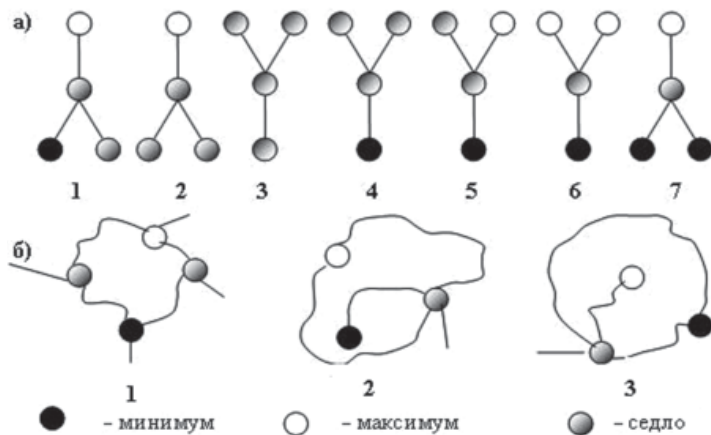


Рис. 3. Простейшие виды деревьев Кронрода–Риба и клеток Морса–Смейла

Граф Кронрода–Риба и клетки Морса–Смейла дополняют друг друга. Эти структуры обеспечивают связь между двумерным непрерывным представлением поверхности геопространственных данных и дискретным одномерным ее отображением.

На рис. 4 приведены этапы обработки геопространственной информации на тестовом примере, включающем данные по 676 точкам.

В результате анализа деревьев Кронрода–Риба на различных уровнях детализации было отобрано 17 критических точек. Полученные особые точки использовались при реконструкции

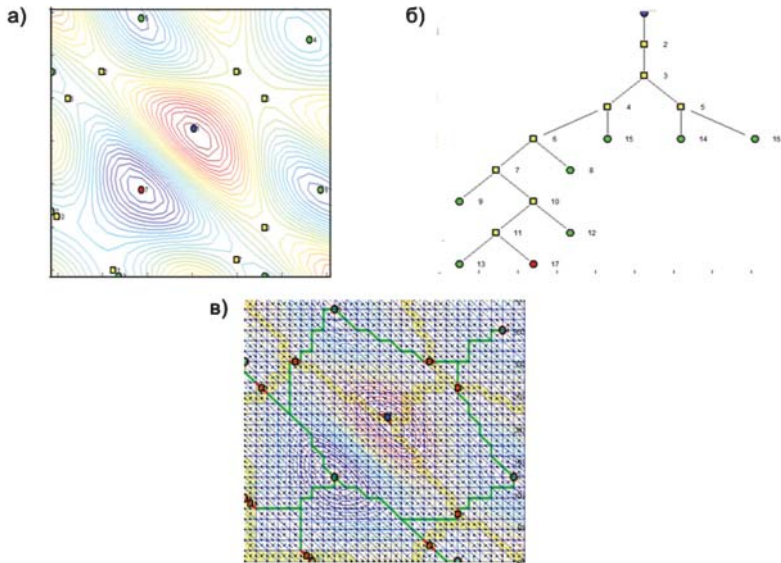


Рис. 4. Этапы обработки геопространственной информации:
 а) нахождение критических точек; б) граф Кронрода–Риба;
 в) векторное поле и клетки Морса–Смейла

поля. На рис. 5 приведены как исходная, так и восстановленная поверхности.

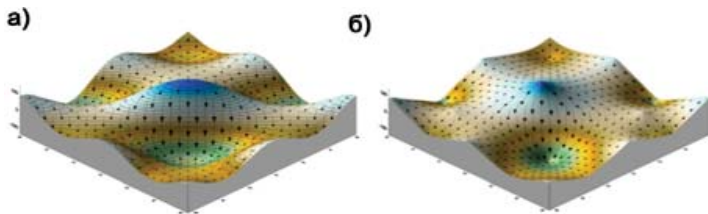


Рис. 5. Исходная (а) и восстановленная (б) поверхности

На рис. 6 представлены результаты анализа поля давления в Северном полушарии. Использовалась сетка с шагом $5 \times 5^\circ$ в полярной проекции. В верхнем ряду приведены этапы работы по полному набору данных, построен граф Кронрода–Риба. В нижнем ряду показана модификация графа при «упрощении» модели. Указанная схема может быть использована в процессе генерализации.

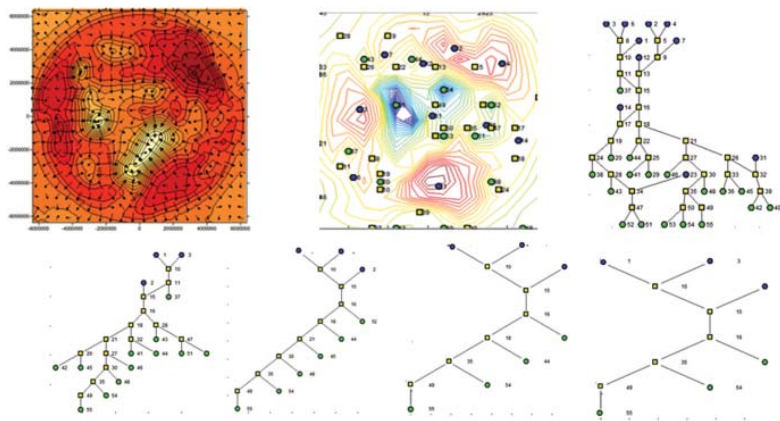


Рис. 6. Построение графа Кронрода–Риба по данным приземного давления в Северном полушарии

Использование элементов дифференциальной (функция Морса) и алгебраической топологии (графы Кронрода–Риба, клетки Морса–Смейла) позволяет осуществить единый подход к описанию геопространственной информации. Это дает возможность выполнить: топографическое кодирование форм геопространственных полей и их сравнение; распознавание и классификацию морфологических объектов; генерализацию и восстановление пространственной функции с заданной подробностью с учетом оценки достаточности исходных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милнор Дж. Теория Морса. М.: Изд-во ЛКИ, 2011. 184 с.
2. Иванов А. О., Тужилин А. А., Фоменко А. Т. Компьютерное моделирование кривых и поверхностей // Фундаментальная и прикладная математика. 2009. Т. 15, № 5. С. 63–94.
3. Уманский Я. Л. Схема трехмерной динамической системы Морса–Смейла без замкнутых орбит // ДАН СССР. 1976. Т. 230, № 6. С. 1286–1289.
4. Арансон С. Х., Гринес В. З. Топологическая классификация потоков на замкнутых двумерных многообразиях // Успехи математических наук. 1986. Т. 41, № 1. С. 149–169.
5. Жуков Ю. Н. Автоматизация проверки корректности картографического образа подводного рельефа // Навигация и гидрография. 2014. № 37. С. 47–51.

УДК 551.466.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШТОРМОВ И ОКОН ПОГОДЫ

С. И. Мاستрюков

*ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-
гидрографический институт»,
mastr_si@mail.ru*

Традиционные показатели ветроволнового режима, такие как повторяемость штормовых (неблагоприятных) условий, недостаточны для адекватного планирования сложных морских транспортных операций с ограничениями по погодным условиям. Для обеспечения безопасности и повышения эффективности операций по буксировке или транспортировке крупных объектов, оценки времени ожидания благоприятных условий, планирования перехода, выбора пунктов штормового отстоя, выбора скорости перехода и, соответственно, состава сил и средств для той или иной морской транспортной операции требуется знать характеристики окон погоды. К числу основных характеристик окон погоды относятся число окон погоды заданной непрерывной продолжительности той или иной обеспеченности, среднее и максимальное время ожидания окна погоды заданной обеспеченности в заданный месяц или сезон.

В условиях отсутствия сеточных массивов с данными реанализа полей ветра и волнения за период времени длительностью несколько десятков лет приходится использовать результаты вероятностного моделирования временной структуры штормов.

Известно несколько подходов к моделированию штормов и окон погоды по волновым условиям [1–3]. Одна из таких моделей относительно недавно была подробно описана в [5]. Эта вероятностная модель является уточнением разработанного ранее подхода [4]. При этом подходе в качестве исходных данных о состоянии природной среды достаточно иметь сведения об интегральной повторяемости штормов, которые приведены в многочисленных пособиях по режиму ветра и волнения. Для построения модели используются сведения о статистических связях повторяемости штормов со средними значениями количества штормов и их непрерывной продолжительности, а также статистические связи

между функциями распределения числа штормов и их непрерывной продолжительности со средними значениями количества штормов и их непрерывной продолжительности.

При построении уточненной модели в качестве исходных данных использованы результаты ретроспективного анализа полей ветра и волнения на акватории Норвежского, Гренландского, Баренцева и Белого морей. Для этого использована спектрально-параметрическая модель волнения ААНИИ [6]. Модель верифицирована, рекомендована для применения Центральной методической комиссией Росгидромета и успешно применяется в практике ГМЦ РФ.

При построении модели на первом этапе выполнена оценка среднемесячной повторяемости набора штормовых условий (критическая скорость ветра V более 10, 11, ..., 23 м/с) для выбранных расчетных точек за период с 1975 по 2002 год.

Затем для градаций повторяемости штормовых условий (40–50, 30–40, 20–30, 15–20, 10–15, 5–7, 1–5 %) были выбраны группы месяцев для каждой расчетной точки и соответствующего значения критической скорости ветра V . Для периодов времени, в которые отмечалась выбранная градация повторяемости штормовых условий, для каждого года с 1975 по 2002 были рассчитаны число штормов и непрерывная продолжительность штормов. По этим данным были рассчитаны средние значения непрерывной продолжительности и количества штормов (в месяц) для выбранных градаций повторяемости штормов, а также функции их распределения.

Путем анализа данных о 1034 штормах на акватории Норвежского, Баренцева и Белого морей получена следующая связь между средней непрерывной продолжительностью шторма τ и вероятностью штормовых условий P :

$$\tau = \frac{33}{\sqrt{-\ln P}} - 6,5, \quad 0,001 < P < 0,5. \quad (1)$$

В формуле (1) средняя непрерывная продолжительность шторма измеряется в часах, вероятность шторма P – в долях единицы. При повторяемости шторма 0,1 % средняя непрерывная продолжительность шторма составляет 6 часов, что соответствует дискретности использованных 4-срочных результатов реанализа. При вероятности шторма 50 % средняя непрерывная

продолжительность шторма составляет 33 часа. Средняя квадратическая невязка полученной оценки τ составляет 1,5 часа, максимальное отклонение от «фактической» средней непрерывной продолжительности не превышает 5 часов.

Среднее число штормов N за период продолжительностью T часов при известной средней непрерывной продолжительности шторма τ рекомендуется оценивать по формуле

$$N = \frac{TP}{\tau} = \frac{TP\sqrt{-\ln P}}{33 - 6,5\sqrt{-\ln P}}. \quad (2)$$

В формуле (2) T и τ измеряются в часах, P – в долях единицы.

При анализе периодов продолжительностью один месяц, при повторяемости шторма $P = 0,1$ % среднее число штормов в месяц составляет 0,1. То есть за один месяц шторм будет наблюдаться один раз в 10 лет. При возрастании вероятности шторма до 50 % среднее число штормов достигает 11 в месяц.

Эмпирические кривые плотности распределения числа штормов $f(N)$, полученные для точек на акватории Норвежского, Баренцева и Белого морей за период с 1975 по 2002 год, приведены на рис. 1а. Анализ эмпирических функций распределения числа штормов показал, что двухпараметрическая функция распределения Вейбулла хорошо аппроксимирует распределение числа штормов при повторяемости штормов от 1 до 20 %. В [4] показано, что при повторяемости штормов от 20 до 50 % вместо функции распределения Вейбулла предпочтительнее использовать нормальный закон распределения. При этом параметры аналитических функций распределения зависят от среднего числа штормов и дисперсии среднего. Поскольку диапазон изменчивости среднего квадратического отклонения числа штормов для повторяемости штормовых условий в диапазоне от 1 до 40 % лежит в диапазоне 2...3, сделано допущение, что среднее квадратическое отклонение постоянно и составляет 2,5. Используя выражение (2), полагая среднее квадратическое отклонение числа штормов постоянным, определяются параметры функций распределения Вейбулла и Гаусса и, соответственно, аналитические функции распределения числа штормов [4].

Аналитические кривые плотности распределения числа штормов, рассчитанные для середины выбранных градаций повторяемости штормов, приведены на рис. 1б.

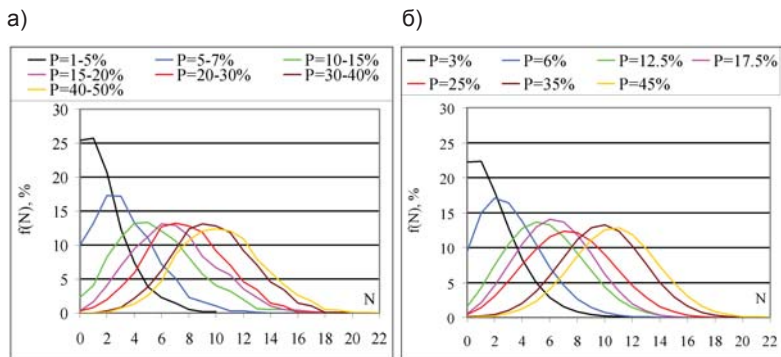


Рис. 1. Эмпирические (а) и аналитические (б) кривые плотности распределения числа штормов $f(N)$ для выбранных градаций вероятности штормовых условий P

Среднеквадратическая невязка между эмпирической и аналитическими функциями плотности распределения числа штормов не превысила 1,3 %, максимальная невязка – 3,5 %, что признано удовлетворительным.

Эмпирические кривые плотности распределения непрерывной продолжительности штормов $f(t)$, полученные для точек на акватории Норвежского, Баренцева и Белого морей за период с 1975 по 2002 год, приведены на рис. 2а.

Эмпирическая функция распределения непрерывной продолжительности штормов удовлетворительно аппроксимируется модифицированной экспоненциальной функцией распределения с одним параметром λ , который зависит от средней непрерывной продолжительности шторма τ и дискретности временного ряда Δt [4].

Используя модифицированное однопараметрическое экспоненциальное распределение, определив по данным о повторяемости штормовых условий с применением (1) среднюю непрерывную продолжительность шторма, можно рассчитать функцию распределения непрерывной продолжительности штормов.

Аналитические кривые плотности распределения непрерывной продолжительности штормов, приведенные к выбранным градациям повторяемости штормов, приведены на рис. 2б. Среднеквадратическая невязка между аналитической и эмпирической плотностями распределения непрерывной продолжительности

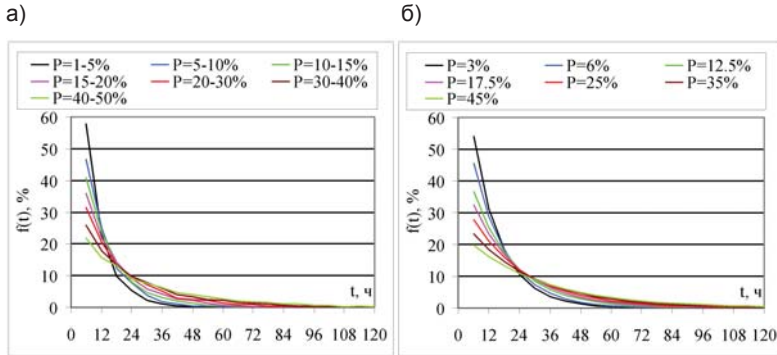


Рис. 2. Эмпирические (а) и аналитические (б) кривые плотности распределения непрерывной продолжительности t шторма $f(t)$ для выбранных градаций вероятности штормовых условий P

штормов для вероятности шторма выше 5 % не превышает 2,0 %, максимальная невязка составляет 6,0 %, что признано удовлетворительным.

Задачей имитационного моделирования является генерация значительного числа временных рядов штормов, имитирующих ансамбль природных рядов штормов.

В модели [4] имитация природных рядов штормов организована так, чтобы были выполнены следующие требования:

- интегральная повторяемость штормовых условий (за 30–100 лет) должна соответствовать заданной повторяемости штормовых условий;
- число штормов, определенное по совокупности генерируемых рядов, подчинялось бы выбранному закону распределения (Вейбулла или Гаусса);
- распределение непрерывной продолжительности штормов для каждого из генерируемых рядов подчинялось бы выбранному закону распределения (экспоненциальному).

На рис. 3 в качестве иллюстрации приведены результаты имитации штормов и окон погоды для повторяемости штормовых условий $P = 12,5$ %.

Введем понятие окна погоды. На рис. 4 приведен пример временного хода скорости ветра (а) и соответствующая ему временная развертка штормов и окон погоды (б). Обычно под окном погоды понимают промежуток времени любой продолжительности,

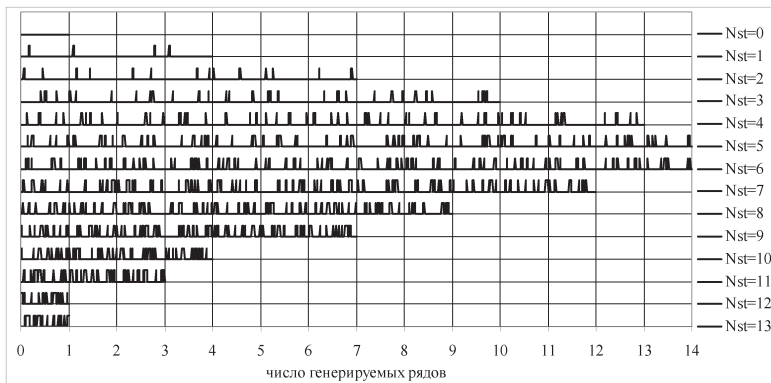


Рис. 3. Результаты имитации 100 рядов штормов и окон погоды при $P = 12,5\%$

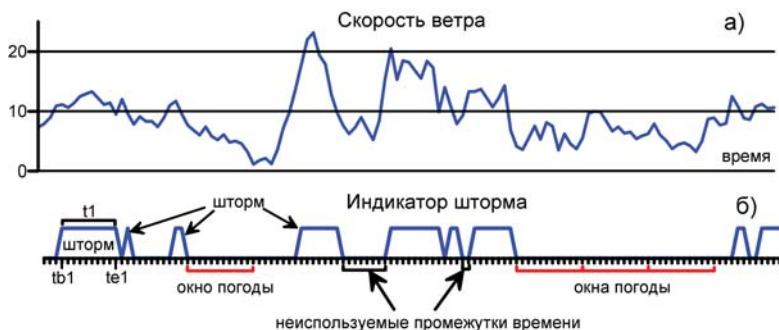


Рис. 4. Временной ход скорости ветра (а) и соответствующая шторму со скоростью более 10 м/с временная развертка штормов и окон погоды (б)

в пределах которого скорость ветра меньше заданной. Существуют морские операции, которые нельзя мгновенно прекратить, для таких морских операций имеют значение только те окна погоды, продолжительность которых позволяет выполнить запланированную операцию или ее этап полностью. Поэтому ниже под окнами погоды понимаются окна погоды продолжительностью не менее заданной. Если непрерывная продолжительность благоприятных условий больше заданной непрерывной продолжительности операции в целое число раз, то именно это число принимается за число окон погоды в рассматриваемый промежуток времени.

При заданной непрерывной продолжительности окна погоды на рис. 4 выделяются 9 штормов и 4 окна погоды.

При планировании морских операций помимо сведений о количестве окон погоды в тот или иной месяц или сезон для оценки экономических затрат нужны сведения о статистических характеристиках времени ожидания окна погоды. Под временем ожидания понимается время ожидания ближайшего окна погоды после окончания текущего окна погоды или с начала месяца.

Характеристики окон погоды зависят не только от ветрового (ветроволнового) режима по маршруту перехода, но и от длины маршрута, проектной скорости перехода, которая определяется нарядом сил, выделенных для буксировки или транспортировки, от ограничений (критических значений) на скорость ветра, которые в свою очередь зависят от степени инженерной подготовки буксируемого (транспортируемого) объекта. Непрерывная продолжительность окна погоды должна задаваться проектантами перехода исходя из расстояния и скорости перехода. Если время перехода в период со значимой повторяемостью штормов превышает период времени, соответствующий заблаговременности достоверного прогноза штормовых условий, проектанты перехода должны предусмотреть пункты штормового отстоя на случай получения штормового предупреждения. Расположение пунктов должно быть выбрано так, чтобы из любой точки маршрута суда могли бы дойти до них за период времени, соответствующий заблаговременности достоверного прогноза штормовых условий. В случаях, когда это невозможно, необходимо принять меры к повышению скорости буксировки, повышению критических значений, ограничивающих ветроволновые условия, или перенести начало операции на другой период времени.

Описанная модель использована для анализа трагедии с самоподъемной буровой установки (СПБУ) «Кольская» в декабре 2011 года.

18 декабря при буксировке в Охотском море перевернулась и через час затонула СПБУ «Кольская». Погибли несколько десятков людей. Это одна из крупнейших морских катастроф.

Реконструкция событий показала, что буксировка началась 11 декабря 2011 года, буксировку СПБУ вели ледокол «Магадан» и судно обеспечения «Нефтегаз-55». Маршрут перехода – от западного побережья Камчатки в бухту Зырянская острова Сахалин.

По сообщениям Госморспасслужбы [7] в 02.24 (мск) 18 декабря 2011 года по донесению МСПЦ Южно-Сахалинск получен сигнал бедствия СПБУ «Кольская». СПБУ и суда, производящие буксировку, находились в Охотском море (145 миль северо-восточнее мыса Терпения). В процессе буксировки произошло разрушение газоотводящих трубок танков № 35, 37, и туда начала поступать вода, судовые водоотливные средства работали на пределе. Был поврежден буксирный трос л/к «Магадан», и буровую развернуло или подвернуло бортом к волне. Волной выбило иллюминаторы в столовой команды, вода стала поступать в помещение. Судно обеспечения «Нефтегаз-55» получило трещину в корпусе. В 05:45 СПБУ «Кольская» получила крен и в течение 20 минут затонула.

Расстояние от места выхода до точки гибели составило около 440 миль. Судя по реконструкции буксировки, это расстояние было пройдено за 6 суток. Следовательно, средняя скорость буксировки по запланированному маршруту составила 3 узла. Даже при скорости буксировки 5 узлов запланированное время буксировки по всему маршруту от западного побережья Камчатки до бухты Зырянская должна была составить не менее 8 суток, а время буксировки от западного побережья Камчатки до залива Терпения (около 660 миль) как вероятного места штормового отстоя – около 5 суток. При учете того, что заблаговременность информативного прогноза гидрометеорологических условий не превышает двух суток, точка принятия решения о возвращении в место выхода (если не учитывать влияние ветра и волнения на скорость буксировки) в случае штормового предупреждения при расчетной скорости буксировки 5 узлов лежит на удалении 240 миль от Камчатки, а точка принятия решения о продолжении движения в ближайшее место штормового отстоя лежит на удалении 240 миль от мыса Терпения. То есть, если даже было получено штормовое предупреждение с заблаговременностью 2 суток об ожидающихся штормовых условиях по маршруту буксировки, на участке маршрута в «мертвой» зоне протяженностью около 150 миль между указанными точками любое действие руководителя буксировки не позволяло избежать попадания буксирного ордера в шторм.

При планировании операции по буксировке необходимо было выбрать состав буксирного ордера таким образом, чтобы он обеспечивал гарантированное перемещение ордера в места

штормового отстоя из любой точки на маршруте при согласованной с подразделениями Росгидромета заблаговременности штормового предупреждения. В рассматриваемых конкретных условиях скорость буксировки должна была составлять не менее 7 узлов.

По сообщению М. Войтенко, размещенному на Портале «Морской бюллетень Совфрахт» [8] со ссылкой на одну из газет, указано, что «ограничение на перегон “Кольской” – 5 баллов по волнению и 7 баллов по ветру». Это означает, что предельная высота волнения 3 %-ной обеспеченности на буксировку СП составляла 3,5 м, а скорость ветра – 16 м/с.

Фрагменты карт приземного анализа Японского метеорологического агентства за 12, 16 и 18 декабря 2011 г. из обзора [9] приведены на рис. 5. Там же приведены оценки скорости ветра и высоты волнения 3 %-ной обеспеченности, полученные путем расчета на основе рекомендаций [10].

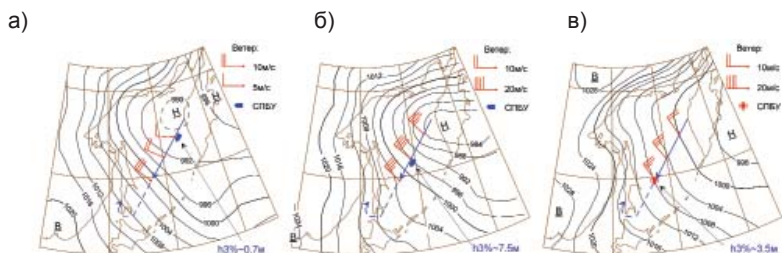


Рис. 5. Карты приземного давления 12 (а), 16 (б) и 18 (в) декабря 2011 года

В начале буксировки 12 декабря наблюдался ветер от ЗСЗ скоростью около 5 м/с, средняя высота волнения не превышала полметра (высота волн 3 %-ной обеспеченности $h_{3\%} \sim 0,7$ м). По мере движения по маршруту после 12 декабря ветер и волнение усиливались. 16 декабря ветер развернулся на СЗ и усилился до 19–20 м/с, что вызвало увеличение средней высоты волнения до 3,8 метра ($h_{3\%} \sim 7,5$ м). К 18 декабря (дате гибели СПБУ «Кольская») скорость ветра снизилась до 12 м/с, а средняя высота волнения – до 1,8 м ($h_{3\%} \sim 3,5$ м), ветер развернулся на ССЗ. Порывы ветра 16 декабря в месте нахождения буксирного ордера при средней скорости ветра 19 м/с, согласно [10], могли достигать 27 м/с.

Повторяемость сочетания ограничивающих ветроволновых условий (скорость ветра 16 м/с и выше, и/или высоты волнения 3,5 м и выше), согласно [11], по маршруту буксировки СПБУ «Кольская» в декабре составляет 20 %.

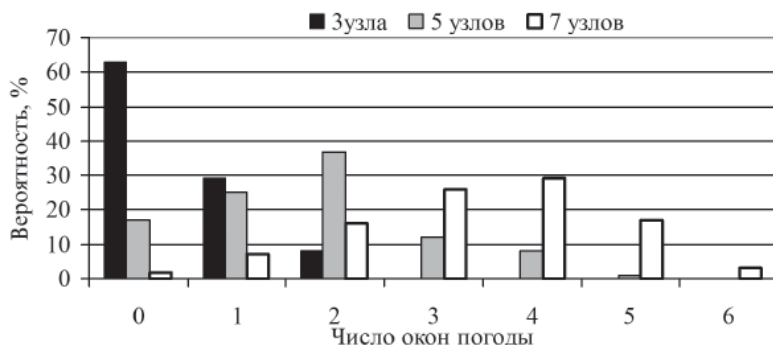


Рис. 6. Вероятность разного числа окон погоды, пригодных для буксировки СПБУ, типа «Кольская» от побережья Камчатки до залива Терпения при скорости буксировки 3, 5 и 7 узлов в декабре

Таким образом, в процессе буксировки СПБУ «Кольская» ориентировочно 15–17 декабря скорость ветра и высота волнения превысили предполагаемые ограничения на буксировку, что в сочетании с другими факторами в конечном итоге привело к потере контроля над ситуацией и к катастрофе. Основные ошибки были совершены не в процессе буксировки, а на этапе ее планирования. Планирование транспортной операции было выполнено без учета ветроволнового режима акватории Охотского моря. При выбранном наряде сил буксировки и ограничениях по ветру и волнению транспортная операция была изначально обречена на неудачу. Допустимый уровень риска выполнения подобных операций был превышен на несколько порядков.

При планировании подобных операций необходимо выполнять полноценный учет гидрометеорологических условий с оценкой риска выполнения операции, для этого может быть рекомендована описанная вероятностная модель штормов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матушевский Г.В., Надеев В.В. Статистические закономерности распределения характеристик устойчивости ветрового волнения // Метеорология и гидрология. 1987. № 9. С. 70–76.
2. Надеев В.В. Имитационное моделирование рядов ветрового волнения для определения продолжительности штормовых циклов // Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения / Под ред. проф. И.Н. Давидана. СПб.: Гидрометеиздат, 1995. 432 с.
3. Рожков В.А., Лопатухин Л.И., Лавренов И.В., Дымов В.И., Бухановский А.В. Моделирование штормового волнения // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36, № 5. С. 689–699.
4. Мاستрюков С.И. Имитационное моделирование временных рядов штормов и окон погоды по ветровым условиям // Метеорология и гидрология. 2013. № 4. С. 58–67.
5. Мастрюков С.И. Имитационное моделирование статистических характеристик окон погоды в интересах планирования морских операций // Навигация и гидрография / ГНИНГИ МО РФ. СПб., 1998. № 6. С. 84–89.
6. Лавренов И.В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. СПб.: Гидрометеиздат, 1998. 500 с.
7. Портал Федерального агентства Морского и речного флота, URL: <http://www.morflot.ru>.
8. Портал «Морской бюллетень Совфрахт», URL: <http://www.sovfracht.info/?PageID=3795>.
9. Портал МагаданНИРО: Краткий обзор обстановки на промысле сельди и минтая в период с 12 по 18 декабря 2011 г., URL: <http://www.magniro.ru/promobzori/>.
10. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): СНиП 2.06.04-82 // Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1986. 40 с.
11. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 9. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1998. 342 с.

УДК 551.46.06:681.3.06

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ РЕЖИМНО-СПРАВОЧНЫХ ПОСОБИЙ ПО МОРСКОЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А. А. Воронцов¹, Г. И. Нефедова², С. А. Баталкина³

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидро-метеорологической информации – Мировой центр данных»
¹ vorv@meteo.ru, ² gin@meteo.ru, ³ slim@meteo.ru*

Последние десятилетия отмечены активным внедрением информационных систем практически во всех областях человеческой деятельности. В основе разработок таких систем лежит концепция интегрированной информационной технологии [1], включающая принципы композиционности, единства реализации посредством использования унифицированных стандартов информационных ресурсов, технологических и программных средств; открытости для различных модификаций и расширений технологии.

В области гидрометеорологии в рамках работ по ФЦП «Мировой океан» разработана Единая государственная информационная система об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), технологический уровень которой позволяет выполнять не только усвоение и накопление данных, но и их содержательную обработку, получение новой информационной продукции и обеспечение этой продукцией потребителей в Интернет-среде. Главная цель ЕСИМО – повысить эффективность информационного обеспечения морской деятельности [2]. В целом же ЕСИМО представляет собой распределенную систему информационных ресурсов и технологий, организационных структур федеральных органов исполнительной власти и общественных объединений, специализирующихся в области производства, сбора, накопления, обработки, хранения, защиты и распространения информации об обстановке в Мировом океане, функционирующих в едином правовом и информационном пространстве. И в настоящее время ЕСИМО – это сложный комплекс развивающихся программно-технологических средств, позволяющий работать с электронными картами и комплексными базами данных, а также решать различные прикладные

задачи, связанные с природной средой исследуемого региона или акватории, с использованием математических моделей и методов. Содержательная обработка данных в ЕСИМО выполняется либо как реализация нормативных документов в виде различных стандартных справочных и режимных характеристик, либо по различным авторским алгоритмам. Представление выходной продукции для расчетных характеристик основано на использовании специализированных геоинформационных систем (ГИС) и программных комплексов стандартизированной в рамках системы визуализации результатов обработки данных.

Как правило, содержательная обработка данных ориентирована на создание электронных режимно-справочных пособий (ЭРСП). ЭРСП – это логическое продолжение справочных изданий и различных справочно-климатических пособий в бумажном виде, отличающихся большим разнообразием как по набору расчетных параметров, так и по масштабам обработки исходной информации, например:

- морские гидрометеорологические ежегодники;
- специализированные справочные пособия по гидрометеорологии и гидрохимии шельфа морей СССР;
- научно-прикладные справочники по климату СССР;
- книги по климатическому описанию отдельных морей и др.

Требования сегодняшнего дня изменили наше представление о режимно-справочных изданиях, а современная компьютерная технология позволила объединить на функциональном уровне базы данных, методы и модели расчетов, стандарты и руководства, системные и прикладные программы в виде интегрированной информационной среды на основе ГИС и СУБД для получения комплексной информации о состоянии природной среды, тем самым позволяя создать справочное пособие более мобильным в плане усвоения новых данных и получения откорректированных расчетных и модельных характеристик. Таким образом, можно определить, что в современном понимании ЭРСП может и должно включать в себя не только информационную базу, но и расчетно-модельный комплекс программ получения режимных характеристик и результатов моделирования. Первые ЭРСП предусматривали два варианта реализации: в виде СУБД- и ГИС-приложений [3]. Необходимо отметить, что первые реализации ЭРСП статические, в которые были загружены материалы,

рассчитанные заранее и занесенные в специализированную базу данных в виде комплекта таблиц, графиков, текста, метаданных и тематических карт. Эти материалы пользователь мог только просмотреть и что-то сохранить у себя. Следующий шаг в развитии ЭРСП – полнофункциональные справочные пособия, динамически работающие комплексы приложений. Естественно, эти ЭРСП сохраняют в себе и элементы статических ЭРСП, особенно в части метаданных.

Схема создания ЭРСП в ЕСИМО в виде интегрированной информационной технологии получения полного набора характеристик морской природной среды в целях полноценного обеспечения пользователей – это новый шаг в развитии ЭРСП.

Основное внимание в ЕСИМО было направлено на получение ЭРСП в виде электронных атласов «Климат морей и ключевых районов Мирового океана» на базе интегрированной информационной технологии получения режимно-справочных пособий по морской природной среде в квазиоперативном режиме [4].

Базовая версия электронных атласов включает в основном разделы по гидрометеорологии, она доступна на портале ЕСИМО http://www.esimo.net/atlas//index_atlas.html и представляет собой режимно-справочное пособие, содержащее сведения о климатических характеристиках морской среды, которые получены за последний тридцатилетний период. Все разделы атласов были подготовлены на основе исходных отечественных и зарубежных данных гидрометеорологических наблюдений, накопленных в Государственном фонде ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» за многолетний временной период, а также материалов, полученных в ходе создания ЕСИМО.

Состав параметров атласа: температура и соленость морской воды, плотность, содержание кислорода, скорость звука, температура воздуха, скорость ветра, уровень моря, высота ветровых волн. Уровень обобщения: многолетний месяц. Наполнение: электронные карты распределения параметров по акватории; таблицы статистик; графики, текстовая часть.

В основу электронных атласов положены расчетные данные режимных характеристик в прибрежной зоне моря, полученные по результатам срочных наблюдений на сети морских береговых гидрометеорологических станций (ГМС) и постов (ГМП), и данные океанографических и морских судовых гидрометеорологических

наблюдений в открытой части морей России, включая станции вековых разрезов.

В силу того, что обрабатываемые материалы – данные наблюдений – могут быть регулярными (эквидистантными) во времени (к ним относятся наблюдения на береговых, островных и устьевых гидрометеорологических станциях и постах, океанографических станциях вековых разрезов, океанских станциях погоды, а также рейдовые наблюдения на шельфе внутренних и окраинных морей) или нерегулярными (неэквидистантными) во времени и пространстве (это и большинство экспедиционных судовых океанографических наблюдений вне вековых разрезов, и добровольные судовые гидрометеорологические наблюдения, и отдельные береговые измерения параметров морской природной среды), то методики расчетов разделены по типам наблюдений (временные ряды и нерегулярные данные) соответственно.

Для нерегулярных данных (температура воды и воздуха по судовым данным, соленость и плотность морской воды, содержание кислорода, ветер и волнение и др.) статистическое оценивание вероятностных характеристик проводится в соответствии с алгоритмами [5] для получения статистических характеристик, таких как квартили функции распределения, определялись минимальные и максимальные значения, даты наблюдений экстремумов и др.

Квартили функции распределения заданной характеристики определяются как значения, которые данная характеристика не превышает в 25, 50 и 75 % случаев.

Квартиль 50 % является серединой распределения и называется медианой.

Медиана (Me) вычисляется по правилу:

$$\begin{aligned} Me &= X_{(n+1)/2}, \text{ если } n \text{ четное;} \\ Me &= 0,5(X_{n/2} + X_{n/2+1}), \text{ если } n \text{ нечетное.} \end{aligned}$$

Квартили 25 и 75 % ($X_{0,25}$ и $X_{0,75}$) определяются как медианы соответствующих половин ранжированного ряда.

Дополнительно проводился расчет повторяемости характеристики, которая является выборочной оценкой вероятности и определяется как

$$f = n_k / N, \quad k = 1, 2, 3, \dots, s,$$

где s – количество градаций; n_k – количество значений характеристики, попадающих в данную градацию; N – общее количество наблюдений.

Выбор градаций при расчете повторяемости значений каждой характеристики проводился на основе анализа традиционных справочников и практики.

Для всей акватории выполнялось осреднение по многолетним месяцам для одноградусных трапедий Марседена, и для каждой одноградусной трапеции находились экстремальные значения.

Среднее месячное значение характеристики в данном месяце определялось как среднее арифметическое, медиана или трех-среднее всех значений X в пределах пространственно-временного осреднения. Выбор процедуры зависит от объема данных и вида функции (закона) распределения, причем ко всем квадратам должна применяться одна и та же процедура. Если количество измерений хотя бы в одном квадрате находится в интервале $5 < n < 20$, то в качестве среднего месячного значения принимается медиана функции распределения данных. Если количество измерений в данном квадрате не превышает 5, то осреднение данных вообще не производится и считается, что в данном квадрате в данном месяце данного года вообще нет данных.

Трехсреднее обладает большей устойчивостью к выбросам. В атласе оно рассчитывалось через квантили распределения:

$$X_3 = (X_{0,75} + X_{0,25} + 2Me)/4.$$

Далее для всей акватории выполнялось сглаживание средних по многолетним месяцам для одноградусных трапедий Марседена. Для сглаживания был применен девятиточечный фильтр, общий вид которого может быть записан как

$$y(t) = \sum h(t-T) x(T),$$

где $h(t-T)$ – весовая функция.

Для регулярных данных ГМС (температура воды и воздуха, соленость морской воды, уровень моря, характеристики ветра и волнения и др.) в технологии выполняется статистическое оценивание вероятностных характеристик, таких как квантили функции распределения, среднее арифметическое значение, определялись минимальные и максимальные значения и даты их наблюдений.

Среднее арифметическое значение определяется как

$$X_{0,5} = N^{-1} \sum X_j, \quad j=1, N,$$

где N – число значений.

Характеристики $X_{0,75}$ и $X_{0,25}$ для временных рядов рассчитывались в следующем порядке:

1) вычислялась повторяемость элементов за необходимый период наблюдения;

2) далее вычислялась оценка $F(x)$ функции распределения, причем значение $F_i(x_i)$ определяется для середины интервалов, по которым рассчитывалась повторяемость;

3) дискретная функция распределения заменялась непрерывно кусочно-линейной функцией, используя линейную интерполяцию, при этом $F(X_{min} - E) = 0$, $F(X_{max} + E) = 0$;

4) далее были определены квартили $X_{0,25}$ и $X_{0,75}$ функции распределения из условия $F(X_p) = P$.

Дополнительно проводился расчет повторяемости характеристик по общепринятым алгоритмам.

Многолетний линейный тренд, который характеризует монотонную систематическую многолетнюю изменчивость характеристики, описывается следующим выражением:

$$F = ax + b,$$

где $b = (\Sigma x \cdot \Sigma t^2 - \Sigma t \cdot \Sigma tx) / (N \Sigma t^2 - \Sigma t \cdot \Sigma t)$; $a = (\Sigma tx - b \Sigma t) / \Sigma t^2$; N – длина ряда; x – значение характеристики; t – отсчеты времени (годы).

При проведении расчетов проводится оценивание ошибок расчета параметров режима по общепринятым методикам. Полученные оценки стандартных ошибок можно сопоставить с их типовым значением. Так, например, для уровня моря – не более 1 см, для температуры воды – не более 0,1 °С, для солёности – 0,05 ‰, для концентрации растворенного кислорода – 0,05 мг/л и т.п.

Современные компьютерные технологии на основе ГИС, СУБД, Web позволили автоматизировать получение ЭРСП, в том числе атласов «Климат морей и ключевых районов Мирового океана», а развитие технологий и представлений позволяют модифицировать и улучшать электронные справочники.

Следующий шаг в развитии ЭРСП – Электронный морской атлас (ЭМА), который позволил выполнить комплексное представление информации – по выбранной характеристике пользователю дается возможность просмотра тематической карты (распределение характеристики по акватории) и таблично-графических материалов. При этом таблично-графические материалы связаны с картой и могут синхронно отображать данные по выбранному району моря.

Структурно ЭМА состоит из трех частей. В первой его части приводятся общие справочные сведения об источниках информации, положенной в основу расчетов. Для прибрежной зоны моря дается карта с расположением береговых пунктов наблюдений, а также паспортные данные о ГМС (названия станций, их кодовые номера, координаты и периоды наблюдений). Для открытого моря приводятся карты освещенности акватории наблюдениями и справочные таблицы, соответственно, для судовых гидрометеорологических и глубоководных океанографических наблюдений с количеством и периодом наблюдений по отдельным одноградусным квадратам Марсдена и станциям вековых разрезов. Во второй части даются таблично-графические материалы с климатическими характеристиками прибрежной зоны моря, содержащие расчетные данные средних и экстремальных значений параметров и их повторяемость по многолетним месяцам, а также характеристики межгодовой изменчивости параметров (рис. 1).

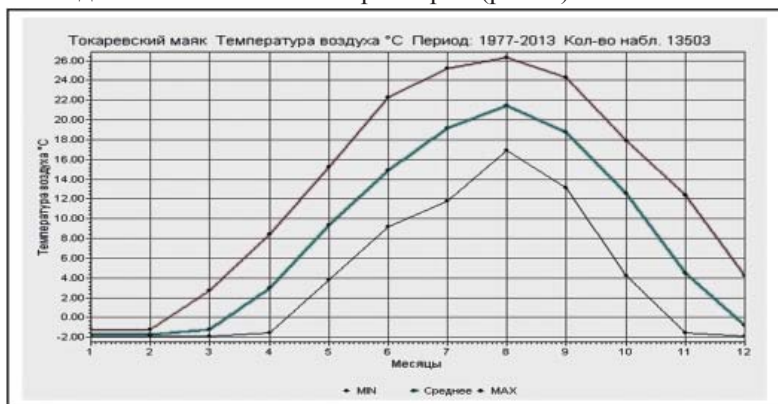


Рис. 1. Пример графической выходной продукции ЭМА

В третьей части приводятся результаты расчетов климатических характеристик морской среды открытого моря в виде тематических карт (рис. 2) расчетных гидрометеорологических и океанографических полей, а в табличном виде по всем одноградусным квадратам и станциям вековых разрезов дается статистика среднемесячных и экстремальных значений параметров. В целом для всей акватории моря рассчитаны повторяемости значений параметров по многолетним месяцам и их годовой ход.

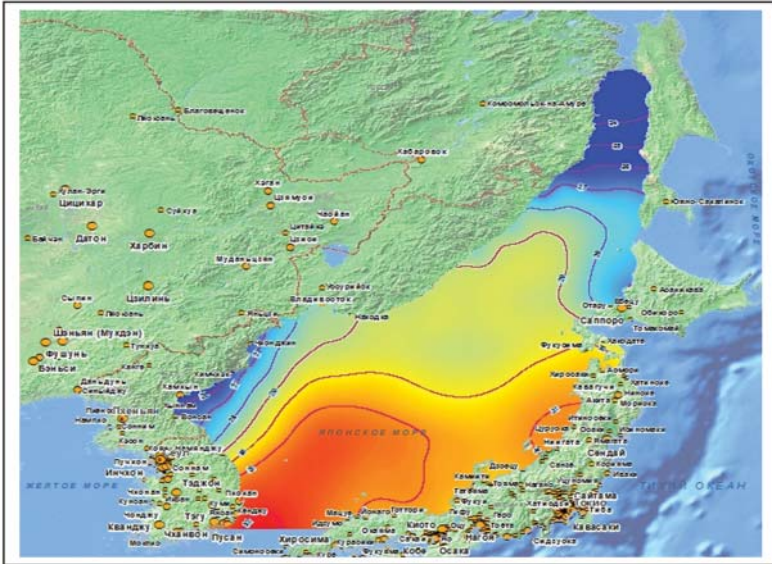


Рис. 2. Пример тематической карты в ЭМА

В настоящее время ведется развитие электронного атласа – это комплексный, динамически обновляемый, геоинформационный ресурс об обстановке на морях России, который объединяет тематические пространственные данные, поступающие от разных ведомств и организаций, под единой Web-оболочкой, настроенной для интерактивного взаимодействия пользователя с пространственными данными. При этом есть возможность получения новой информационной продукции по любой выбранной морской акватории и/или прибрежной территории в виде триады: обобщение (климат) – текущее состояние (анализ) – прогноз (ожидаемое состояние), тем самым реализуя принципиально новый подход – возможность отображения оперативных данных, практически в режиме онлайн.

Наряду с атласами, ЭРСР, ЭМА отдельно публикуется на сайте <http://node/meteo.ru> издание публикуемой части Водного кадастра Российской Федерации ЕМДМ (ежегодные и многолетние данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек), подготовленное при помощи специально разработанного в ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» технологического комплекса подготовки ЕМДМ, обеспечивающего формирование табличного

материала в утвержденной номенклатуре и формах [6, 7], на основе содержательной обработки данных стандартных морских гидрометеорологических и гидрохимических наблюдений на гидрометеостанциях и постах и на станциях стандартных разрезов и океанографических съемок, содержит совмещенные ежегодные и многолетние данные по режиму и качеству поверхностных вод.

Табличный материал ЕМДМ содержит выборочные, осредненные и рассчитанные характеристики гидрометеорологических характеристик (уровень моря, температура воды и воздуха, соленость, волнение, течения, ледовый режим, ветер, давление, облачность) по месяцам и за год за весь период наблюдений и за текущий (расчетный) год.

Типовое представление ЕМДМ в табличном виде по части 1 «Режим и качество морских вод» включает:

- средние и экстремальные уровни моря;
- средние и экстремальные значения температуры воды;
- температуру воды на станциях стандартных разрезов и океанографических съемок;
- средние и экстремальные значения солености;
- соленость на станциях стандартных разрезов и океанографических съемок;
- повторяемость высот волн по направлениям и градациям за год;
- повторяемость, средние и максимальные высоты волн по направлениям за отдельные месяцы;
- повторяемость скоростей течения по направлениям и градациям за год;
- повторяемость, средние и максимальные скорости течения по направлениям за отдельные месяцы;
- сведения об основных элементах ледового режима;
- толщину припая;
- высоту снега на припае;
- средние и экстремальные месячные значения температуры воздуха;
- средние и экстремальные месячные значения парциального давления воздуха;
- средние месячные значения общей и нижней облачности;
- средние и экстремальные месячные значения скорости ветра;

- повторяемость, средние и максимальные скорости ветра по направлениям за отдельные месяцы и год.

Пример выходной продукции ЕМДМ для одного параметра по одной станции показан на рис. 3.

1.1.8 МЕТЕОРОЛОГИЯ												
Таблица 1.1.8.1												
СРЕДНИЕ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ МЕСЯЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА, °С												
Гидрометеорологическая станция 98068 Туапсе												
Значение	М е с я ц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2013 год												
Средн.	7,1	9,3	9	13,8	20,5	22,4	24,3	25	18,2	14,6	12,8	5,1
Макс.	12,5	15,4	17,1	20,8	25,5	27	27,3	27	23,3	23,7	19	10,4
Мин.	0,9	4,7	2,9	9,4	16,7	17,2	20,4	20,8	10,1	8,9	6,1	-4,5
Средние значения за многолетний период (1.1.1977 – 31.12.2013)												
Средн.	5,2	5,1	7,5	12,1	16,8	20,9	24	24,3	20	14,9	10,3	6,6
Макс.	14,7	15,3	18,9	24	28,5	30,1	33,3	34,2	30,9	26	20,7	16,5
Мин.	-6,9	-7	-2,5	3,2	8,4	12,5	15,9	15,7	10,3	4,4	-0,5	-5,3
Абсолютные экстремумы за многолетний период (1.1.1977 – 31.12.2013)												
Макс.	18,3	19,5	22,7	28,5	34,6	35,2	39,6	37	34,6	35	25	20,9
Мин.	-15,7	-10,8	-6,7	-2,8	3	9,4	14,4	11,7	7	-0,4	-5,9	-11,3

Рис. 3. Пример выходной продукции – таблицы ЕМДМ

Необходимо отметить, что созданные варианты ЭРСП пользуются повышенным вниманием пользователей продукции ЕСИМО, находя свои практические применения. Так, например, на основе ЭРСП проводится гидрометеорологическое обслуживание для выполнения научных и практических задач.

Продукция ЭРСП используется на различных стадиях разработки проектов освоения месторождений и транспортировки нефти и газа, при строительстве различных портовых сооружений. Актуальность ЭРСП по морской природной среде подтверждается постоянно приходящими заявками и запросами потребителей на необходимую им режимно-справочную информационную продукцию в таблично-графическом и картографическом виде.

В целом надо отметить, что применение ЭРСП становится одним из важнейших условий успешного выполнения разного рода работ, связанных с использованием данных и информации о состоянии природной среды морей и прилегающих территорий суши.

В подтверждение вышеуказанного отметим, что Распоряжением Правительства РФ № 2205-р от 08.12.2010 г. утверждена Стратегия развития морской деятельности в РФ до 2030 года,

в которой даны стратегические цели, задачи и перспективные пути развития основных видов морской деятельности для обеспечения интересов России в Мировом океане, предусмотренных в Морской доктрине Российской Федерации на период до 2020 года, повышение эффективности основных видов морской деятельности, поддержание сбалансированности специализированного флота, а также развитие морской деятельности в целом. И среди основных проблем и рисков, указанных в Стратегии, – недостаточный уровень развития информационного обеспечения морской деятельности. Применение ЭРСП должно внести свою лепту в практику морской деятельности в части интенсификации освоения месторождений минеральных и энергетических ресурсов на шельфе морей РФ, обеспечения безопасности мореплавания и защиты морской среды от загрязнения с судов; гидрометеорологической безопасности, информационного обеспечения освоения и развития прибрежных акваторий и прилегающих территорий, управления рациональным морским природопользованием, поддержка морских научных исследований и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Единая система информации об обстановке в Мировом океане. Системный проект.* Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2003. 140 с.
2. *Воронцов А. А. и др. / А. А. Воронцов, С. А. Олейников, С. А. Баталкина, Г. И. Нефедова* Создание электронных справочных пособий с помощью технологий Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане для научной и практической деятельности // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 322–329.
3. *Воронцов А. А., Олейников С. А., Плотников В. А.* Создание электронных справочников по морской природной среде с применением ГИС-технологий. 2000. [Электронный ресурс]: URL: http://www.intari.com/im/articles/GIS_review_RU_1_2000/15-Vorontsov_Sozdanie_Electronnich_Spravochnikov.pdf (дата обращения 12.01.2015).
4. *Воронцов А. А.* Новая технология подготовки электронных морских атласов для научной и практической деятельности в Единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане // Успехи современного естествознания. 2009. № 8. С. 82–84.
5. *Воронцов А. А. и др. / А. А. Воронцов, Н. Н. Михайлов, С. А. Олейников, И. Г. Ульянич.* Режимно-справочный банк данных «Океанография-моря СССР», состав, структура и функциональные возможности. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1990. 92 с.
6. *РД 52.10.764–2012. Водный кадастр Российской Федерации.* Методические указания по составлению и подготовке к изданию многолетних данных о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Обнинск: Артифлекс. 2012. 168 с.
7. *Методические указания по ведению Государственного водного кадастра.* Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Раздел 1. Выпуск 3, часть 5. М.: Гидрометеиздат, 1979. 68 с.

УДК 551.583:551.501

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАН, РОСГИДРОМЕТА И ВУЗОВСКОЙ НАУКИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ПЕРСПЕКТИВАХ СОЗДАНИЯ СОВМЕСТНЫХ БАЗ ДАННЫХ

Н. А. Зайцева

*Российская академия наук,
ninaz@ras.ru*

Ученые Российской академии наук (РАН), институтов Росгидромета и ряда ведущих университетов и вузов России традиционно тесно сотрудничают в области изучения климата Земли и его изменений.

Окружающая нас среда определяет возможность выживания и сохранения жизни, и климат является одной из важнейших компонент системы жизнеобеспечения населения Земли. Климатические условия определяют продуктивность сельского хозяйства, производство и потребление энергии, безопасность полетов авиации и эффективность работы наземного транспорта. Отсюда очевидно, что многие области человеческой деятельности в большой степени зависят от резких изменений погоды и колебаний климата.

В последние десятилетия проблема климата волнует общественность в связи с тем, что изменения погодных условия во многих регионах нашей страны и в других странах стали очевидны даже для неспециалистов. В аспекте глобального масштаба климатической проблемы за последние 100 лет температура в Северном полушарии увеличилась на $0,6 \pm 0,2$ °C. Это статистически достоверная цифра, полученная совместными усилиями ученых в рамках деятельности Межправительственной группы экспертов по изменению климата. При этом последнее десятилетие было в прошедшем столетии самым теплым (рис. 1).

Высокая значимость проблемы изменения климата подтверждается фактом присуждения Международной премии Мира 2007 года Межгосударственной группе экспертов по изменению климата и бывшему вице-президенту США А. А. Гору за усилия, направленные на совершенствование и распространение знаний об антропогенном изменении климата и формирование основ для определения мер,

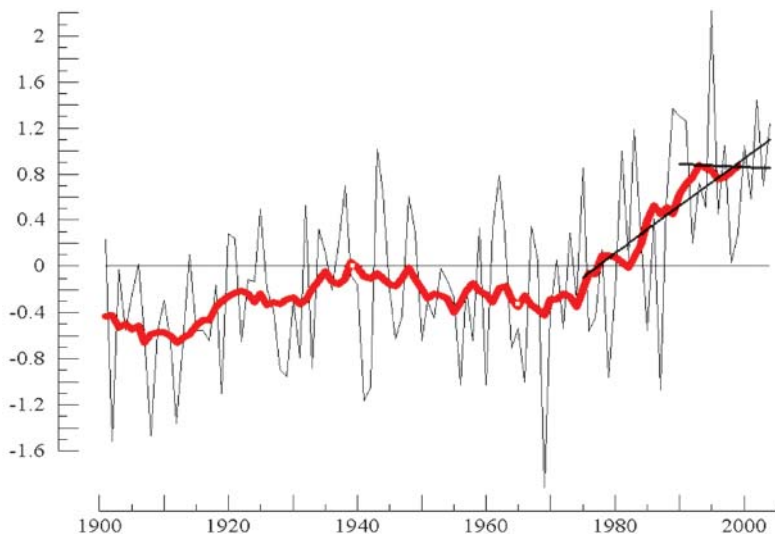


Рис. 1. Изменение климата в России за 100 лет [3].

*Тонкая линия – ход годовых изменений,
толстая линия – ход скользящих 11-летних средних*

необходимых для противостояния этому изменению. В состав экспертов от России входят специалисты РАН и Росгидромета [1].

Как известно, в 1992 г. была разработана и ратифицирована Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК), а в 1997 г. Конференция сторон РКИК приняла Киотский протокол, нацеленный на достижение основной цели Конвенции – «добиться... стабилизации концентрации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который бы не допускал опасного антропогенного воздействия на климатическую систему». Основной целью Киотского протокола было принятие странами обязательств по осуществлению мер для снижения антропогенных выбросов парниковых газов, при этом допускалась возможность переуступки квот на выбросы от одной страны к другой.

В 2003 г. (29 сентября – 3 октября) по инициативе руководства страны и с одобрения совещания Группы Восьми стран («Восьмерки») в Москве была проведена Всемирная конференция по изменению климата. В ее работе участвовали более 2200 делегатов из 86 стран. Конференция позволила всесторонне обсудить проблемы изменения климата, включая понимание роли

антропогенных и природных факторов, формирующих климат; поиск возможных путей снижения антропогенных эмиссий парниковых газов и аэрозолей; оценку воздействия и возможности адаптации к происходящим изменениям климата; и, наконец, достижение взаимопонимания между учеными, правительствами, деловыми кругами и широкой общественностью. В ряде докладов и в дискуссиях неоднократно поднимались вопросы, связанные с проблемами ратификации Киотского протокола, по которым высказывались разные, часто противоположные мнения, поэтому Конференция не смогла прийти к общему мнению по вопросу эффективности Киотского протокола.

Для принятия решения о ратификации Киотского протокола по поручению Правительства РФ в январе 2004 года при Президиуме РАН под председательством академика Ю. А. Израэля был организован Совет-семинар «Возможности предотвращения изменения климата и его последствий. Проблема Киотского протокола (КП)». В состав Совета вошли ведущие специалисты институтов РАН, Росгидромета и МГУ. Семинар не обсуждал политические вопросы, на его заседаниях докладывались и обсуждались научная обоснованность КП и его геофизические, экономические и энергетические аспекты. Активная работа Совета в 2004 году (17 заседаний) увенчалась принятием Суждения, на основе которого в Правительство РФ и Президенту страны были направлены письма с изложением позиции РАН по проблеме КП: Киотский протокол не имеет научного обоснования и неэффективен для достижения окончательной цели РКИК. По отношению к России КП имеет дискриминационный характер, и его ратификация может вызвать существенное юридическое ограничение темпов роста российского ВВП. В 2006 г. вышел в свет сборник докладов и выступлений по материалам Совета-семинара [4], не утративший своей актуальности и в настоящее время.

В 2007 г. Правительство РФ ратифицировало КП, что дало возможность начать реализацию таких мероприятий, как продажа квот на выбросы, но жизнь показала их слабую эффективность, а Россия так ничего и не получила, хотя одним из аргументов в пользу подписания КП была указана возможность вступления во Всемирную торговую палату.

В 2009 г. Копенгагенская конференция сторон РКИК ООН приняла решение считать максимально допустимым антропогенный

рост средней глобальной температуры на 2 °С по сравнению с доиндустриальной эпохой. Однако доказательства реальности такого уровня и его абсолютной величины не существует. Из-за значительных неопределенностей в численных моделях климата нет единого мнения в отношении этого максимально допустимого порога, а прогнозы моделей показывают слишком большой разброс изменений температуры и пока не могут служить основой для принятия решений в отношении необходимости выработки мер для смягчения негативных последствий изменения климата и адаптации к ним. Важно также, что нет обоснованных выводов в отношении антропогенной и естественной составляющих в изменении климата.

Наряду с мнением о неизбежном глобальном потеплении на заседаниях Совета-семинара высказывались иные точки зрения, утверждающие, что современная эпоха – время похолодания, но в масштабах геологического времени [4]. Цикличность природных процессов очевидна, но причины имевших место циклов еще ждут своего объяснения. Что касается микроклиматических характеристик, можно с большой уверенностью полагать, что изменения в масштабах микроклимата происходят в основном по причине антропогенных воздействий, чего пока нельзя утверждать в отношении глобальных изменений. Задача современной науки – найти способ разделения антропогенных и естественных изменений климатической системы Земли и оценить возможности адаптации к фактическим и ожидаемым изменениям климата.

Значительное потепление, безусловно, будет иметь самые серьезные социально-экономические и экологические последствия. По мнению ученых, негативных последствий, которые потребуют значительных расходов, будет больше, чем позитивных, поэтому насущной задачей является выявление возможностей остановить дальнейший рост температуры. Статья 2 Рамочной конвенции ООН об изменении климата призывает не допустить повышения концентрации парниковых газов выше некоего критического уровня, который может быть опасен для климатической системы. В то же время Конвенция не определяет этот уровень. Поскольку понятно, что наряду с очевидным антропогенным воздействием на климатическую систему влияют также и природные процессы, ход которых наука еще до конца не понимает. Возникает задача определения того самого критического порога, который

может быть опасен, при этом опасность может быть разной с разных точек зрения – экологической, экономической и социальной. Академик Ю. А. Израэль неоднократно поднимал этот вопрос и вносил предложение о специальном проекте, направленном на определение опасного антропогенного воздействия на климатическую систему. К сожалению, такой проект пока не нашел поддержки. Однако высказывается мнение, что для предотвращения крупных, вплоть до катастрофических, последствий потепления климата необходимо попытаться остановить рост температуры (по разным оценкам, не более чем на 2–3 °C выше средней современной температуры). В этом случае вопрос о сохранении концентрации парниковых газов на некотором предельном уровне является одним из возможных важнейших путей решения проблемы, но не единственным. Если будет найдено иное средство против потепления, то повышение концентрации парниковых газов (в первую очередь CO₂) не будет опасным [3].

Таким образом, Совет-семинар во главе с академиком Ю. А. Израэлем отчетливо показал, что Киотский протокол и подобные ему соглашения должны прежде всего иметь научное обоснование. Кроме того, была выдвинута очень важная для современного понимания проблемы климата Концепция опасного антропогенного воздействия на климатическую систему, которая требует тщательного научного обоснования.

В связи со все более очевидной несостоятельностью Киотского протокола мировое научное сообщество начало искать альтернативные меры противодействия изменению климата, пока имея в виду его потепление [2, 5, 6]. К традиционным технологиям, часто называемым мерами Киотского протокола, принято относить изменение структуры промышленности, ускоренное развитие ядерной, солнечной, ветровой, геотермальной энергетики и т. п., нацеленное на преимущественное использование низкоуглеродных топлив и биотоплив, т.е. повышение эффективности энергетики и энергосбережения. Под альтернативными технологиями понимаются способы изъятия из атмосферы уже накопленных избыточных количеств CO₂. Появился термин «геоинжиниринг», под которым понимается искусственное воздействие на окружающую среду с целью получения того или иного желаемого эффекта. Разумеется, традиционные и альтернативные методы могут использоваться одновременно, поэтому в 2010–2013 гг.

Совет-семинар сосредоточился на обсуждении, во-первых, результатов исследования климатов прошлого, а также на исследованиях, направленных на лучшее понимание причин изменения климата и поиск наиболее оптимальных методов геоинжиниринга. Информация о сути геоинжиниринга и его методов показана на рис. 2 и 3.



Рис. 2



Рис. 3

Климат России испытывает колебания большие, чем климат многих других регионов Земли. С 1976 г. современный тренд (1976–2008 гг.) составляет $0,51\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ и $0,17\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ для земного шара. При этом наблюдаемые изменения могут иметь как негативные, так и позитивные последствия. В 2009 году распоряжением Президента РФ от 17.12.2009 г. № 861-рп была утверждена «Климатическая доктрина Российской Федерации», в которой изменение климата было признано «одной из важнейших международных проблем XXI века, которая выходит за рамки научной проблемы и представляет собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития Российской Федерации». В разработке Доктрины и последовавшей за ней Национальной программы изучения климата в равной степени принимали участие ученые Росгидромета, РАН и МГУ.

В вопросах анализа реальных трендов температуры и при решении задач о причинах и последствиях изменения климата ключевое значение имеет возможность доступа к базам данных. Разумеется, Росгидромет, обладающий современной и в целом адекватной сетью гидрометеорологических наблюдений, имеет такие базы данных. Однако важные для работы академических институтов материалы часто оказываются недоступными, поскольку требуется оплата для получения данных. Современное состояние науки в России нельзя назвать удовлетворительным в связи с постоянно увеличивающимся сокращением финансирования как для академических, так и для прикладных институтов. При таких условиях тесное сотрудничество ученых академических институтов и институтов Росгидромета становится особенно важным и актуальным просто в силу имеющего место дефицита кадров. Представляется важным и вполне реализуемым порядок использования данных архивов и баз данных Росгидромета для ученых из других ведомств, при котором для исследовательских работ некоммерческого характера допускалась бы возможность доступа к требуемым данным. Кроме того, академические институты имеют полевые базы и стационары, на которых проводятся регулярные или эпизодические гидрометеорологические наблюдения. Объединение материалов таких наблюдений с данными регулярной государственной сети может дать современные и актуальные архивы для совместных исследований погоды и климата.

В целях укрепления сотрудничества ученых Росгидромета и РАН в 2011 году было заключено Соглашение о сотрудничестве между Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академией наук, в котором одним из основных направлений совместной деятельности указано «исследование предсказуемости климатической системы, включая предсказуемость климатических аномалий и климатических экстремумов». Свой вклад во взаимодействие ученых указанных ведомств вносит также научный совет РАН «Исследования по теории климата Земли» (председатель академик Г.С. Голицын). Есть все основания для продолжения плодотворного сотрудничества РАН и Росгидромета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Четвертое* национальное сообщение, представленное в соответствии с Киотским протоколом. Российская Федерация / Ред. коллегия (14 чел.) под председ. Ю. А. Израэля, Росгидромет. М., 2006. 110 с.
2. *Израэль Ю. А.* Эффективный путь сохранения климата на современном уровне – основная цель решения климатической проблемы // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 10. С. 5–9.
3. *Израэль Ю. А., Борзенкова И. И., Северов Д. А.* Роль стратосферных аэрозолей в сохранении современного климата // *Метеорология и гидрология*. 2007. № 1. С. 5–14.
4. *Возможности* предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола. Материалы Совета-семинара при Президенте Российской академии наук / Ред. Ю. А. Израэль. М.: Наука, 2006. 408 с.
5. *McCornick P. M., Thompson J. W., Trepte C. R.* Atmospheric effect of the Mt Pinatubo eruption // *Nature*. 1995. V. 373. P. 399–404.
6. *Crutzen P. J.* Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: a contribution to resolve a policy dilemma? // *Climatic Change*. 2006. N 77. P. 211–219.

УДК 004.432.2

PYTHON: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

П. А. Шабанов

*ФГБУН «Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН»,
pa.shabanov@gmail.com*

Язык программирования python

Python [1] – это высокоуровневый язык программирования, представленный Гвидо ванРоссумом (Guido vanRossum) в 1991 году. Python относится к свободно распространяемому программному обеспечению (СПО) и распространяется под PythonSoftwareFoundationLicense. Это позволяет максимально широко и свободно использовать данный язык программирования в различных проектах, в том числе и научных. Python является мультиплатформенным (Windows/Linux/MacOS) языком программирования, что способствует интеграции как можно большего числа пользователей в единое сообщество. За время своего существования (более 20 лет) в ходе исторического и логического развития в языке python сформировалось две ветви, называемые python2 и python3 соответственно. Последняя является будущим языка, а python2 когда-нибудь исчезнет. Для начинающих пользователей рекомендуется сразу использовать ветвь python3. Для операционных систем семейства Windows разработаны специальные дистрибутивы различного назначения [2]. Большинство предоставляется бесплатно, существуют и коммерческие сборки с расширенной поддержкой.

Python в целом относится к интерпретируемым языкам программирования с динамической типизацией данных, что дает возможность не определять типы данных в момент описания или при первом обращении к ним, а работать более свободно, на ходу меняя тип данных переменных. Классическая первая команда на python выглядит очень минималистично: `print «Hello, World!»`. Python реализует принцип модульного программирования: программа на python состоит из главного модуля и второстепенных, которые можно подключить при выполнении кода главного модуля. Стандартная библиотека языка python богата возможностями

и включает, в частности, модули для работы с сетевыми протоколами, операционной системой и графическую библиотеку Tkinter. Обогащение языка специализированными модулями происходит за счет создания новых модулей и пакетов (объединений модулей). Стандартная библиотека python, дополненная свободно распространяемыми пакетами NumPy [3], SciPy [4], Matplotlib [5] и Basemap [6], позволяет создать универсальную научно-вычислительную среду, практически не уступающую проприетарным продуктам, таким как MatLab© и др. Среди недостатков языка стоит отметить заметно меньшую скорость работы по сравнению с компилируемыми языками программирования (Fortran, C/C++).

Популярность python

Популярность python обеспечивается простым и прозрачным синтаксисом языка, его стабильностью и широкими возможностями. Python одинаково подходит как для обучения школьников и студентов программированию, так и для анализа данных.

Существует индекс популярности языков программирования PyPL [7], который показывает, как часто учебные материалы по конкретному языку программирования искали в поисковой системе Google. На рис. 1 показана динамика индексов PyPL для python и Matlab©. В 2013 году python стал «языком года», показав самый высокий годовой прирост индекса PyPL среди таких языков, как Java, PHP, C++, R и других.

По python существует огромное количество обучающих материалов (как цифровых, так и печатных) как на английском, так и русском языках, что значительно упрощает освоение данного языка программирования. Одной из наиболее популярных книг по обучению основам языка python является свободно распространяемая книга «Укус питона» [8].

Краткий обзор модулей для исследовательской работы

Модульность python позволяет просто и элегантно использовать специальные разработки, выходящие за рамки стандартной библиотеки python. А возможность портирования кода, созданного на других языках программирования, позволяет использовать проверенные и оптимизированные алгоритмы. Это значительно повышает надежность и стабильность кода, написанного на python.

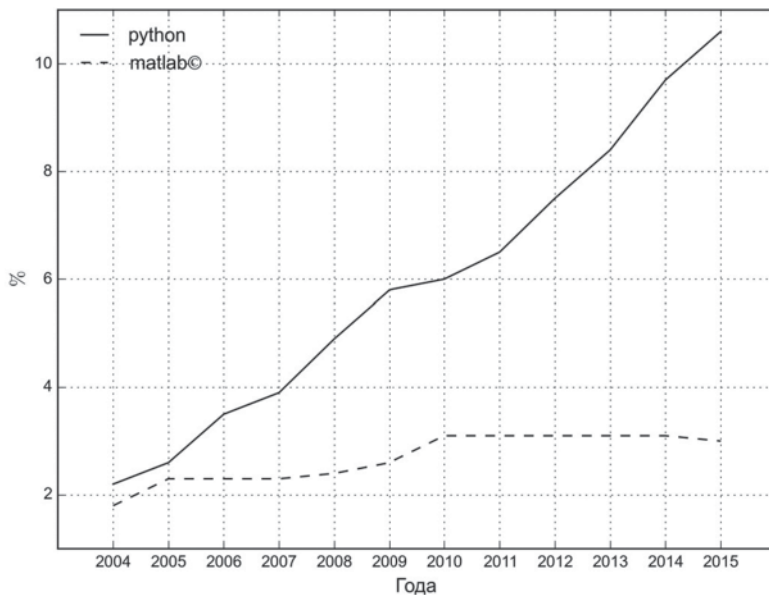


Рис. 1. Динамика индекса PyPL

NumPy и SciPy. Модули научных вычислений

NumPy расширяет стандартную библиотеку python новым типом данных – массивами (тип `numpy.ndarray`) и предоставляет эффективный интерфейс для работы с многомерными массивами (в том числе с векторами и матрицами). Де факто NumPy – это основная математическая библиотека (стандартной является `math`), которая содержит огромное количество математических функций, алгоритмы преобразования Фурье, генерации случайных чисел, вычислительных методов линейной алгебры. Также NumPy позволяет включать код, написанный на C/C++ или Fortran, в программу, созданную на python.

Модуль SciPy опирается на NumPy и расширяет его возможности алгоритмами из разных областей науки, математики и инженерии. В частности, SciPy позволяет проводить статистический анализ данных и их интерполяцию, решать ОДУ, анализировать спектры, работать с разными форматами данных и многое другое.

Matplotlib и Basemap. Модули создания графики

Графическая библиотека Matplotlib позволяет создавать графику публикационного качества: простые графики, гистограммы, круговые диаграммы, «ящики с усами», рисунки в изолиниях с послойной окраской и многие другие. Поддерживается возможность создания рисунка, состоящего из нескольких графиков или диаграмм (поддержка subplots). Все элементы рисунка (толщина и частота делений, их цвет, размер и тип шрифта подписей, прозрачность линий и т.д.) могут быть настроены пользователем. При создании рисунков поддерживаются как форматы растровой графики (jpeg, png, tiff), так и векторной (pdf, eps, svg). Можно задавать параметры размера рисунка и его dpi. Стоит отметить свободное отображение математических формул, представленных в коде системы компьютерной верстки LaTeX.

Так как Matplotlib является python-модулем, то есть частью языка программирования, то это дает возможность автоматизированно создавать большое количество рисунков (а вообще и анимации). Это выгодно отличает его от проприетарных графических пакетов научной и инженерной графики, которые имеют яркий графический интерфейс, но мало приспособлены к поточному созданию рисунков.

Синтаксис Matplotlib может быть легко (интерфейс Matplotlib.pyplot) приближен к стилю графических функций Matlab©, что упрощает переход между ними. Так зачастую можно найти искомое решение в справочнике по Matlab© и применить его в Matplotlib. Скорее всего, синтаксис команд не будет сильно различаться.

Расширение пакета Matplotlib для отображения географической информации Basemap позволяет создавать карты-схемы (требования к созданию действительных карт превосходят возможности данного расширения) в различных картографических проекциях. Существует также альтернативный картографический пакет Cartopy [9], который можно использовать для тех же целей. С помощью картографических пакетов python легко отображать данные как по всему земному шару, так и по конкретному географическому району. Форма их представления может быть самая различная – от простых линий и значков до линий тока и специальных символов. На рис. 2 приведен пример карты-схемы, созданной с помощью пакета Basemap.

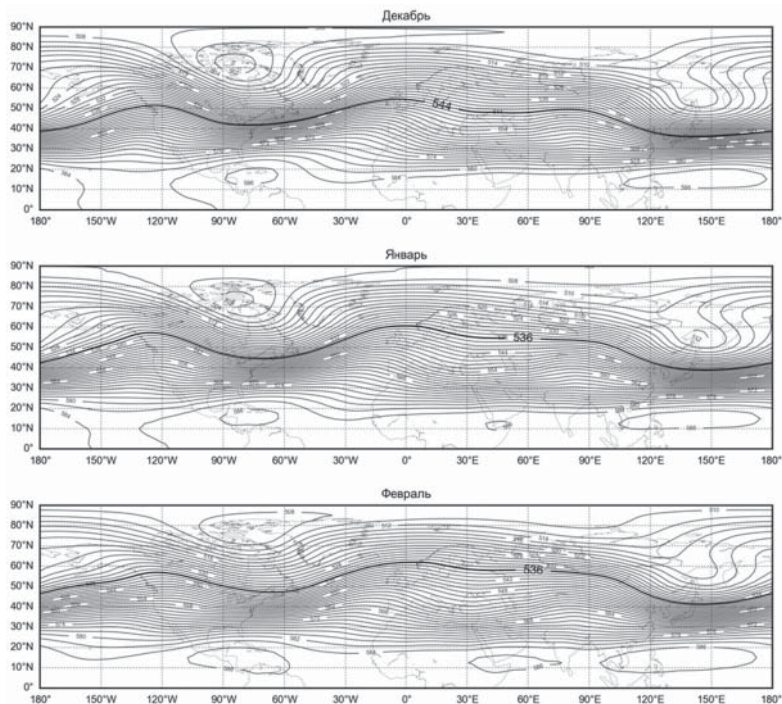


Рис. 2. Среднемноголетнее (1948–2014 гг.) поле высоты геопотенциала на изобарической поверхности 500 мбар в зимние месяцы. Черной линией показана климатическая характерная изогипса планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ)

Возможности python в гидрометеорологии

Python в совокупности с представленными выше модулями может служить основным инструментом анализа и визуализации при работе с гидрометеорологическими данными (гидрология, метеорология, океанология).

Python позволяет напрямую работать как с текстовыми данными (ASCII, HTML, xls/xlsx), так и с данными различных форматов хранения гидрометеорологических данных, таких как BUFR, GRIB, netCDF. Так, например, доступ к файлам формата netCDF осуществляется через модуль netcdf4 пакета SciPy. Через модуль SQLite3 python предоставляет интерфейс для работы с

базой данных SQLite. Поддерживаются и другие базы данных, например MySQL. Причем возможно не только чтение, но и запись данных. Таким образом, созданные пользователем данные могут быть записаны в специфических форматах для хранения или обмена.

Экспериментальные данные, полученные из банков данных, или оригинальные измерения можно анализировать с помощью статистического, спектрального, дисперсионного или другого вида анализов. Для этого не нужно искать специальные подпрограммы или писать оригинальный (часто почти не оптимизированный) код, где велика вероятность возникновения ошибки кодирования. Достаточно воспользоваться пакетами NumPy и SciPy, проверенными сотнями тысяч пользователями.

После проведения анализа или преобразования данных обычно требуется визуализировать результат. Для гидрологических данных с помощью Matplotlib легко представить на одном рисунке временной ряд измерений, гидрограф и несколько теоретических распределений, наиболее близко описывающих эмпирические данные на основе выбранных статистик (хи-квадрат, например). Для метеорологических данных можно построить такие специфические графики, как аэрологическая диаграмма и метеограмма, или построить климатические карты-схемы различного содержания; в океанологии – вертикальные профили температуры и солености, отобразить пространственные поля характеристик Мирового океана (температура, соленость, скорости течений и т.д.).

Пример работы: исходные поля приземной температуры (или температуры поверхности океана), представленные на сайте разработчика в форматах netcdf или grib, могут быть напрямую переданы в массивы, с которыми пользователь может провести анализ, то есть рассчитать эмпирические статистики или построить спектр поля. Выбрав необходимый период или сформировав свой (например, перейдя от месячных к сезонным значениям), можно проанализировать его отдельно, взяв срез от массива, а затем визуализировать. Так, для четырехмерного поля температуры $T(x, y, z, t)$ можно легко построить как карту-схему на выбранном уровне, так и объемную фигуру за один временной промежуток, или создать анимацию вертикального разреза через выбранную долготу/широту.

Заключение

Python предоставляет огромные возможности для решения самых разнообразных задач, возникающих в сфере научного изучения гидрометеорологической информации. Работа с различными форматами данных, обработка данных, их анализ и визуализация, создание автоматизированных технологий – все это может быть сделано при помощи одного языка программирования python. Де-факто python является универсальным языком научных вычислений, он широко распространен в европейских и американских исследовательских институтах и университетах. Простота изучения и широкая поддержка сообществом делает python очень привлекательным для изучения. Распространение и внедрение языка программирования python в повседневную исследовательскую работу позволяет заметно расширить круг задач, сделать исследования более наукоемкими и наглядными, сохранив при этом практичность и читаемость кода. Python – это возможность сделать запутанное сложным, сложное – простым, а неявное – явным.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 14-50-00095).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Официальный сайт языка программирования python* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.python.org/about/>
2. *Бесплатные дистрибутивы python для ОС Windows* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.python.org/download/alternatives/>
3. *Пакет численного анализа NumPy* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.numpy.org/>
4. *Пакет научных вычислений SciPy* [Электронный ресурс]. URL: <http://scipy.org/>
5. *Графическая библиотека Matplotlib* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.matplotlib.org/>
6. *Картографический модуль Basemap* [Электронный ресурс]. URL: <http://matplotlib.org/Basemap/>
7. *Индекс популярности языков программирования PyPL* [Электронный ресурс]. URL: <http://pypl.github.io/PYPL.html>
8. *Swaroop C. H. A Byte of Python* // Enlace Web. – 2003. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.swaroopch.com/notes/python/>
9. *Картографический модуль Cartopy* [Электронный ресурс]. URL: <http://scitools.org.uk/cartopy/docs/latest/index.html>

УДК 551. 501

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИИ И ПРОГНОЗА ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ КАСМЕТЕО

И. А. Тарабукин¹, Е. В. Дорофеев²

ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория имени А.И. Воейкова»

¹ tarabukin@mail.ru, ² zao_lit@rambler.ru

Введение

Метеорологическое обеспечение различных отраслей народного хозяйства и обороноспособности страны направлено на достижение высокого уровня безопасности и эффективности функционирования различных систем жизнедеятельности. К важнейшим требованиям, предъявляемым к метеорологическому обеспечению, относятся своевременность (оперативность) и полнота обеспечения.

Конкретное содержание метеорологического обеспечения и конкретные требования к нему зависят от особенностей объектов метеорологического обеспечения, степени влияния метеоусловий на их применение и использование. По степени влияния метеоусловия принято делить на простые, сложные и опасные. Особое значение в метеообеспечении имеет информация о сложных условиях и опасных явлениях; их своевременный диагноз и прогноз составляет важнейшую задачу систем метеорологического обеспечения.

Автоматизация обработки метеорологической информации, развитие метеорологических информационных систем и технологий позволяет переходить к безбумажной и безлюдной технологии метеообеспечения на основе создания комплексной автоматизированной системы метеообеспечения КАСМЕТЕО.

Автоматизация затрагивает все процедуры получения, обработки, передачи и доведения информации до потребителя.

Одним из вариантов построения КАСМЕТЕО является построение «Комплексной автоматизированной информационно-измерительной системы метеообеспечения авиации и прогноза опасных гидрометеорологических явлений».

В состав такой системы входят ряд автоматизированных рабочих мест, называемых ПАСами (программно-аппаратными средствами), предназначенными для приема, обработки, документирования, визуализации и архивации метеорологической гидрометеорологической и радиометеорологической информации, поступающей и передаваемой по каналам связи, обобщения всей метеорологической информации и ее доведения до широкого круга конечных потребителей [1], включая службы гражданских и военных аэропортов и аэродромов.

Принципы построения и структурная схема КАСМЕТЕО

Сформулируем основные принципы построения КАСМЕТЕО. К ним относятся:

- модульность, позволяющая строить систему в виде логически законченных модулей, основываясь на протоколах информационного взаимодействия между входными и выходными данными каждого модуля;
- целостность, позволяющая осуществлять прием любой геофизической информации, проводить ее обработку, архивацию, визуализацию на единой картографической основе и доведение до потребителя;
- гибкость, позволяющая интегрировать систему или ее отдельные модули в уже существующие крупные комплексные информационные системы, а также адаптировать к условиям функционирования этих систем.

Структурная схема КАСМЕТЕО с учетом ее развития представлена на рис. 1.

КАСМЕТЕО состоит из типовых программно-аппаратных средств (ПАС), ориентированных на решение специализированных гидрометеорологических прикладных задач. Все ПАС, входящие в систему, можно разделить на **три функциональные категории**:

- **прием первичной** гидрометеорологической информации (ПАС «Оператор Метеосвязи», «Метеоспутник», «Оператор МРЛ», Метеонаблюдатель»);
- **обработка информации** (ПАС «Синоптик-Прогнозист», «Синоптик-Консультант»);
- **доведение информации до потребителя** (ПАС «Метео-консультант»).

- радиолокационных метеорологических данных от автоматизированных радиолокаторов в кодах BUFR и RADOB;
- информации от метеорологических спутников после прохождения географической привязки и автоматизированной обработки;
- растровой гидрометеорологической продукции в виде факсимильных карт;
- данных самолетного зондирования в коде AMDAR;
- штормовых сообщений в коде WAREP;
- грозопеленгационных данных.

Принятые и обработанные данные, согласно протоколам информационного взаимодействия, передаются на файл-сервер, где они укладываются либо в файловую структуру архива, либо в SQL базу в соответствии с форматами хранения данных.

Раскодирование и обработка данных в кодах AMDAR и WAREP, а также грозопеленгационных данных, относится к новым элементам информации, обрабатываемым в KASMETEO.

ПАС «Оператор МРЛ»

ПАС «Оператор МРЛ» осуществляет:

- прием и обработку метеорологической радиолокационной информации, поступающей от радиолокационной платформы (РЛП) метеорадиолокатора «Контур-К»;
- хранение первичной и вторичной радиолокационной информации на выделенном файл-сервере;
- представление результатов радиолокационных метеорологических наблюдений с заданным периодом обновления.

ПАС «Оператор МРЛ» выполняет следующие функции:

- автоматическое включение и выключение РЛП метеорологического радиолокатора «Контур-К»;
- контроль работоспособности и технических характеристик в процессе получения радиолокационной отражаемости от облачных образований и местных предметов в полусфере обзора;
- автоматическое управление положением антенны (угол места, азимут), режимами работы приемопередатчика и поворотной платформой метеорологического радиолокатора «Контур-К»;
- прием и обработку первичной информации о радиолокационной отражаемости, поступающей от метеорологического радиолокатора «Контур-К» с учетом сферичности Земли и рефракции радиоволн;

- фильтрацию мешающих отражений от местных предметов;
- прием навигационной информации (широты, долготы, курса, крена, дифферента), используемой при первичной обработке и при построении метеорологических карт погоды, привязанных к единой картографической основе;
- выделение зон опасных метеорологических явлений, связанных с радиолокационной отражаемостью и облачными полями (местоположение, тип, геометрические размеры, направление перемещения);
- построение следующих карт – продуктов вторичной обработки метеорологической радиолокационной информации:
 - карт высоты верхней границы радиоэха (по заданному порогу отражаемости) в проекции на горизонтальную плоскость;
 - карт явлений погоды, связанных с радиолокационной отражаемостью (град, ливень, грозы, осадки и т.п.), в проекции на горизонтальную плоскость;
 - карт отражаемости на различных высотных уровнях;
 - карт интенсивности осадков;
 - карт видимости в осадках;
- архивацию первичной и вторичной метеорологической радиолокационной информации с возможностью последующего поиска и извлечения по запросу оператора;
- визуализацию вторичной метеорологической радиолокационной информации в виде карт с цветовыми градациями, распределенными в ячейках пространства, с возможностью масштабирования;
- гибкую настройку дополнительной картографической информации (полярной палетки, рельефа и названия метеорологических станций штормового кольца) в режиме просмотра полученной метеорологической информации;
- формирование телеграмм в коде RADOB на основании данных обзора;
- формирование пакетов информации в коде BUFR.

Внешний вид ПАС «Оператор МРЛ» представлен на рис. 2.

В последние два года ПАС «Оператор МРЛ» получило значительное развитие. Теперь оно может быть использовано в качестве средства обработки и отображения радиолокационной информации как объемных файлов, так и полученных в коде BUFR [2], для



Рис. 2. Внешний вид рабочего места ПАС «Оператор МРЛ»

доплеровских радиолокаторов WRM-200 (Вайсела, Финляндия) и МРЛ-700С (ВНИИРА, Россия), а также в коде BUFR [2] для российских метеорологических радиолокаторов МРЛ-5 и ДМРЛ-С. В 2013 году МРЛ-700С со специальным программным обеспечением (СПО) ПАС «Оператор МРЛ» успешно прошел сертификационные испытания Международного авиационного комитета (МАК) [3].

Широкий круг вопросов, связанный с получением и обработкой радиолокационной информации, требует более детального рассмотрения.

ПАС «Метеонаблюдатель»

ПАС «Метеонаблюдатель» обеспечивает прием, обработку и хранение на файл-сервере КАСМЕТЕО информации о текущей погоде, получаемой от базовых и удаленных метеорологических станций штормового кольца. ПАС «Метеонаблюдатель» осуществляет подготовку метеорологической информации в формате, ориентированном на дальнейшее использование синоптиком при подготовке диагноза и прогноза погоды (КН-01, METAR, «метеотабло»).

В корабельном исполнении ПАС «Метеонаблюдатель» обеспечивает прием, обработку и архивацию информации от гидрологического зонда.

Прием информации с базовых и удаленных метеостанций в ПАС «Метеонаблюдатель» для последующей обработки

осуществляется через Блок информационного сопряжения (БИС) по последовательным каналам связи (Радиомодем, GSM-модем, выделенная модемная линия и др.).

Внешний вид ПАС «Метеонаблюдатель» аналогичен представленному на рис. 2.

ПАС «Метеоспутник»

ПАС «Метеоспутник» обеспечивает прием, обработку метеорологической спутниковой информации с привязкой к единой картографической основе, хранение ее на файл-сервере в согласованном формате и отображение на экране ПК информации от среднеорбитальных и геостационарных метеорологических искусственных спутников Земли (ИСЗ).

Внешний вид ПАС «Метеоспутник» аналогичен представленному на рис. 2.

ПАС «Синоптик-Прогнозист»

ПАС «Синоптик-Прогнозист» используется в качестве:

- высокоинформативного и наглядного средства обобщения всей гидрометеорологической информации;
- средства проведения синоптического анализа и подготовки прогноза погоды.

ПАС «Синоптик-Прогнозист» обеспечивает обобщение, подготовку и формирование метеорологической продукции в виде:

- синоптических или кольцевых карт, построенных на основе раскодированных сообщений в кодах КН-01, METAR и дополненных изобарами, изотермами, изотенденциями, фактическими и прогностическими положениями фронтов и центров барических образований;
- карт высотной топографии, построенных на основе сообщений в кодах КН-04, GRID, GRIB и дополненных изобарами, изотермами, изотенденциями, фактическими и прогностическими положениями фронтов и центров барических образований;
- фактической и прогностической погоды для аэродрома базирования и запасных аэродромов в текстовой форме в формате METAR и TAF;
- композитных радиолокационных метеорологических карт погоды (карты явлений, высоты радиоэха) по зоне ответственности, дополненных при необходимости изобарами и направлением ветра;

- композитных спутниковых метеорологических карт погоды на единой картографической основе по зоне ответственности, дополненных при необходимости изобарами и направлением ветра.

Внешний вид ПАС «Синоптик-Прогнозист» аналогичен представленному на рис. 2.

Пример синоптической карты погоды, дополненной фронтальным анализом и данными автоматизированных метеорологических радиолокаторов, полученной с помощью ПАС «Синоптик-Прогнозист», представлен на рис. 3.

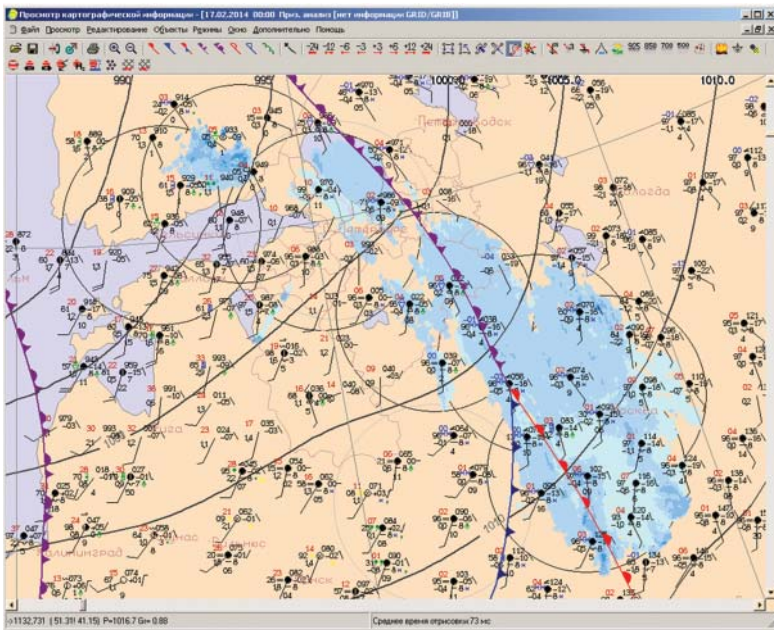


Рис. 3. Синоптическая карта погоды, дополненная фронтальным анализом и данными автоматизированных метеорологических радиолокаторов

ПАС «Синоптик-Консультант»

ПАС «Синоптик-Консультант» обеспечивает обобщение, подготовку и формирование метеорологической продукции в виде:

- фактических и прогностических карт особых явлений погоды в ближней (АКП-1А) и дальней (АКП-1) зонах;
- фактических и прогностических карт абсолютной топографии (АТ) на различных уровнях;

- фактических и прогностических карт погоды на основе сообщений в коде GRID, GRIB и BUFR по дополнительному перечню в соответствии с технологическими особенностями аэропорта базирования;

- фактических данных о текущей погоде, полученных от базовых и штормовых метеостанций аэропорта базирования в виде журнала текущей погоды и в формате «метеотабло».

Все формы представления гидрометеорологической информации могут быть выведены на печатающее устройство и (или) переданы по каналам связи.

Использование ПАС «Синоптик-Консультант» совместно с ПАС «Синоптик-Прогнозист» полностью автоматизирует процесс составления карт особых явлений погоды (АКП), а также делает доступными прогностические методы, встроенные в ПАС «Синоптик-прогнозист».

Внешний вид ПАС «Синоптик-Консультант» аналогичен представленному на рис. 2.

ПАС «Метеоконсультант»

ПАС «Метеоконсультант» представляют собой комплекс средств доведения вторичной специализированной гидрометеорологической продукции до конечного потребителя (руководителя полетов (РП), летного состава и т.д.).

В отличие от других программно-аппаратных средств системы КАСМЕТЕО на рабочее место ПАС «Метеоконсультант» выводится только метеоинформация, необходимая для принятия оперативных решений. Это связано с жесткими требованиями обеспечения безопасности полетов (отсутствие длительного времени на анализ метеоданных). Просмотр метеоинформации не должен мешать руководителю полетов и диспетчерам выполнять основные функции управления воздушным движением.

ПАС «Метеоконсультант» по запросу оператора в режиме реального времени обеспечивает представление на экране монитора ПК следующей информации:

- приземной карты фактической погоды (кольцевой или синоптической), построенной на основании сообщений в кодах КН-01 и METAR;

- прогностической карты особых явлений погоды в ближней зоне (ниже 3000 м) на 24 ч (АКП-1А) и дальней зоне (выше 3000 м) на 24 ч (АКП-1);

- прогностической температурно-ветровой карты АТ-300 и АТ-400, построенной на основании сообщений в кодах GRID и GRIB;
- прогностической карты особых явлений погоды по маршруту полета для малой авиации;
- карты явлений погоды и высоты верхней границы радиозаха по данным метеорадиолокатора с привязкой к единой географической основе;
- информации SIGMET о фактическом или ожидаемом возникновении определенных явлений погоды по маршруту полета;
- информации в кодах METAR и TAF из базы авиаметеорологических данных по основному и запасному аэродромам;
- информации о текущей погоде аэропорта базирования в формате «метеотабло».

Внешний вид ПАС «Метеоконсультант» аналогичен представленному на рис. 2.

Блок мезомасштабного моделирования

Новым элементом КАСМЕТЕО является блок мезомасштабного моделирования, который создан на основе мезомасштабной модели WRF-ARW и служит для краткосрочного и сверхкраткосрочного прогноза погоды. На основе созданной технологии проводится усвоение данных автоматизированных радиолокационных и наземных наблюдений сети Росгидромета, используемых в дальнейшем для численного моделирования и прогноза погоды. Однако этот вопрос требует отдельного и более детального рассмотрения.

Заключение

В работе сформулированы основные принципы построения КАСМЕТЕО, рассмотрена структура системы, ее функционирование и назначение отдельных ее элементов. КАСМЕТЕО, получившая свое развитие в ФГБУ «ГГО», имеет конструкторскую документацию на отдельные модули и систему в целом. Все разработанные СПО и база данных имеют государственную регистрацию. Практическое использование системы в оперативной практике происходит в настоящий момент в Санкт-Петербургском гидрометцентре. Отдельные модули КАСМЕТО (ПАС «Синоптик-Прогнозист» и ПАС «Метеоконсультант») установлены и успешно функционируют на космодроме Байконур в аэропорту «Крайний».

КАСМЕТЕО в полном объеме установлена на тяжелом авианесущем крейсере «Адмирал Кузнецов». Результаты эксплуатации системы наглядно демонстрируют ее надежность, возможность быстрого принятия решений для метеообеспечения авиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дорофеев Е. В., Дроздов А. Е., Тарабукин И. А., Мирончук А. Ф., Шаромов В. Ю.* Особенности комплексирования разнородной метеорологической информации для обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов в комплексной автоматизированной информационно-измерительной системе гидрометеорологического обеспечения безопасности полетов авиации ВМФ КАСМЕТЕО-К // Труды ГГО. 2012. Вып. 565. С. 246–256.
2. *Приказ № 95* о внедрении на радиолокационной сети Росгидромета «Основных технических требований к системе обнаружения опасных атмосферных явлений и штормового оповещения на базе метеорологических радиолокаторов». М., 21.06.2004 г.
3. *Сертификат* типа МАК № 602 от 12.11.2013 г. на доплеровский метеорологический радиолокатор МРЛ-700С с антенной С-диапазона, размещенной в радиопрозрачном ветрозащитном укрытии на контейнере, и программным обеспечением <http://www.mak.ru/russian/kommissions/ksao/certificates/meteo.pdf>.

УДК 551.583.1: 519.254

АНАЛИЗ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ РЯДАХ КОМПОЗИТНЫМ МЕТОДОМ

К. Н. Вишератин

ФГБУ «НПО «Тайфун»

Анализ временных рядов обычно включает выделение трендов, сезонных вариаций, циклических процессов и нерегулярных остатков. Известно, что спектральный состав (фаза, период и амплитуда) многих колебаний, наблюдающихся в геофизических и гелиофизических рядах, с течением времени может значительно меняться. В то же время для некоторых колебаний сохраняется стабильность проявления в определенном интервале периодов, что определяет квазипериодичность таких колебаний. Выделение во временных рядах квазипериодических процессов, например связанных с квазидвухлетними (2–3 года) или квазидесятилетними (8–13 лет) колебаниями, зачастую представляет собой сложную задачу. Фильтрация с помощью полосовых или других фильтров неизбежно приводит к искажению фазы колебаний вблизи частоты среза и укорачиванию ряда, а изменчивость с течением времени периода колебаний затрудняет корреляционный анализ различных временных участков и использование методов линейной множественной регрессии.

В последние десятилетия были развиты новые методы исследования квазипериодических процессов, такие как SSA (singular spectrum analysis [1]) и EMD (empirical mode decomposition [2]), позволяющие выделять наряду с трендом и сезонной компонентой модулированные по амплитуде и частоте сигналы. Оба метода основываются на декомпозиции анализируемого ряда во временной области и последующем выделении и компоновке основных, присущих данному ряду мод колебаний. Получили также распространение модификации вейвлетного анализа [3], которые дают возможность оценивать изменчивость структуры колебаний и фазовых соотношений временных рядов.

Вместе с тем в [4] было отмечено, что сравнительно просто фильтрацию сигналов можно организовать в частотной области.

Примеры использования этого подхода немногочисленны и в основном связаны с фильтрацией акустических (речевых) сигналов с использованием быстрого Фурье-преобразования (БПФ). Однако использование БПФ имеет ряд особенностей, приводящих к неточностям определения, как амплитуды, так и периода колебаний [5]. Поэтому метод фильтрации в частотной области был разработан на основе классического (дискретного) Фурье-преобразования [6, 7]. Достоинство этого метода (метод композитных рядов, МКР) в том, что в отличие от других методов фильтрации не происходит сдвига фазы фильтруемых колебаний, длина ряда не укорачивается, остается ясной смысловая нагрузка композитного ряда как суммы гармонических составляющих в определенном, выбранном заранее, диапазоне частот.

Целью настоящей работы является показать возможности метода композитных рядов для анализа длиннопериодных квазипериодических процессов в типичных геофизических рядах и сопоставить полученные результаты с данными некоторых других методов.

Суть метода композитных рядов состоит в следующем. Чтобы сконструировать композитные временные ряды, содержащие сумму колебаний в интервале периодов от T_1 до T_2 , на первом этапе вычисляются коэффициенты Фурье-преобразования с достаточным разрешением по частоте. На втором этапе коэффициенты Фурье-преобразования для периодов от T_1 до T_2 используются для обратного Фурье-преобразования. В итоге формируется временной ряд, содержащий только сумму гармоник в интервале от T_1 до T_2 . Следует отметить, что метод имеет и недостатки, в основном связанные с особенностями Фурье-преобразования. В частности вычислительные эксперименты показали, что фаза максимума или минимума колебаний определяется с погрешностью 3–5 %, однако на концах композитного ряда может возрастать до 10–20 %.

Рассмотрим примеры использования композитного метода для выделения квазидесятилетних колебаний (КДВ) с периодами 8–13 лет (96–156 мес.), которые часто связываются с вариациями солнечной активности [8]. На рис. 1 показаны временные ряды солнечной активности (числа Вольфа, W) [9] и общего содержания озона (в единицах Добсона (ЕД) [10] на станции «Ароза», Швейцария за 1932–2013 годы, а также приведены амплитудные

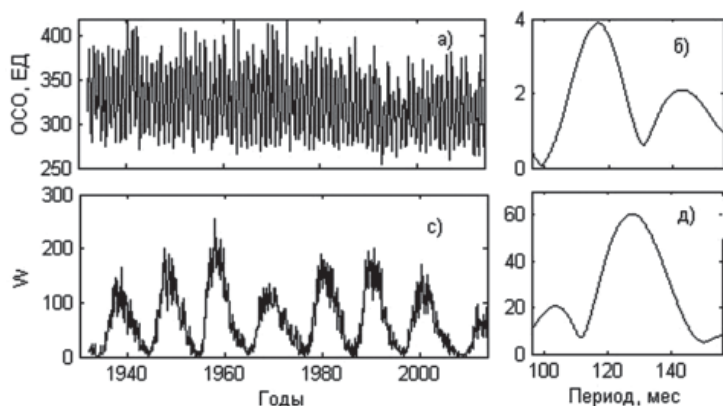


Рис. 1. а) и с) общее содержание озона на станции «Ароза» и вариации солнечной активности, б) и д) амплитудные спектры (в единицах ЕД и W) в области 96–156 мес.

спектры в области 96–156 мес. В этой области имеются два колебания в ряде общего содержания озона (OSO) (приблизительно 116, 143 мес.) и два колебания в ряде W (приблизительно 103, 120 мес.). Обе гармоники ряда OSO при исключении линейного тренда и годовой гармоники значимы на уровне доверительной вероятности, превышающем 95 %. Для чисел Вольфа доверительная вероятность превышает 99 %.

По определению Фурье-анализ дает средние значения наблюдаемых колебаний (амплитуду и частоту) за весь анализируемый период. Для оценки изменчивости периодов колебаний с течением времени можно использовать скользящее Фурье-преобразование. На рис. 2 приведен скользящий спектр чисел Вольфа для окна длиной 26 лет. Спектральный анализ проводился методом максимальной энтропии Берга, имеющим более высокое разрешение [5]. Из рис. 2 следует, что периоды колебаний меняются с течением времени в значительных пределах, определяющих квазидесятилетние колебания солнечной активности – от 8 до 13 лет.

Чтобы сопоставить квазидесятилетние колебания в рядах OSO и W, проведем фильтрацию ряда общего озона для периодов от 8 до 13 лет. Сопоставление отфильтрованного (композитного) ряда с исключенным линейным трендом и солнечной активности за 1932–2013 гг. приведено на рис. 3. На рис. 3 показаны также результаты кросс-вейвлетного преобразования по методике [3] для

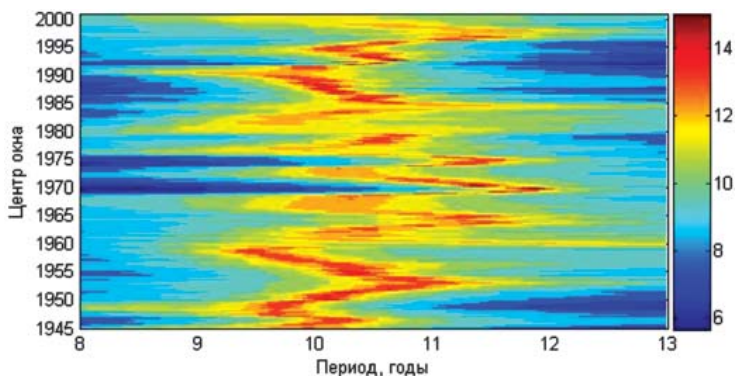


Рис. 2. Изменчивость периодов колебаний солнечной активности. Амплитуда колебаний в относительных единицах

ряда озона (исключен линейный тренд и годовая гармоника) и солнечной активности за 1932–2012 гг. Область высоких значений совместной мощности, обведенная жирной линией, соответствует доверительной вероятности, превышающей 95 %. Эта область охватывает периоды колебаний от 100 до 130 мес. и интервал времени с 1932 по 2003 год. Если рассмотреть фазовые соотношения для периода 120 мес., то направление стрелок (вверх) указывает, что вариации ОСО до 1955–1965 гг. (17–19-й циклы СА) отстают от вариаций СА на 90° , в 1965–1985 гг. вариации близки к синфазным (стрелки направлены вправо), а в дальнейшем (21–23-й циклы СА) вариации ОСО начинают опережать вариации СА (стрелки направлены вниз). Сопоставление приведенных на рис. 3б фазовых соотношений W и ОСО и результатов кросс-вейвлетного анализа на рис. 3а показывает достаточно хорошее согласие, что подтверждает реальность оценок, получаемых методом композитных рядов.

Ранее Camp [11] для анализа межгодовой изменчивости общего озона на станции «Ароза» за период с 1931 по 2002 г. в своей диссертации использовал метод SSA. Сопоставление одной из компонент SSA для ряда озона с индексом СА, приведенное в [11], показало, что соотношения для фаз колебаний близки к соотношениям, показанным на рис. 3б. Вместе с тем, по мнению автора, которое сложилось при обзоре работ в этой области, ряд мод, выделяемых методом SSA и EMD, достаточно сложно проинтерпретировать.

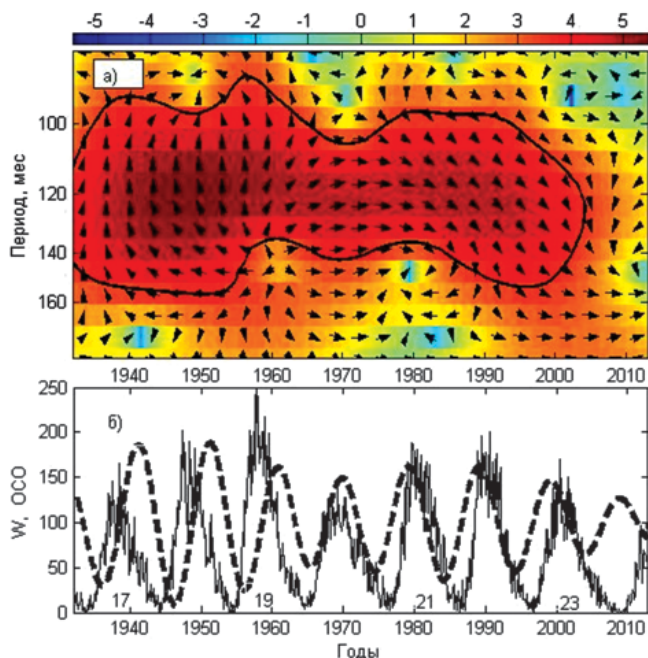


Рис. 3: а) Кросс-вейвлетное преобразование для рядов общего содержания озона и солнечной активности. Стрелками обозначены фазовые соотношения (вправо – колебания происходят в фазе, влево – в противофазе, вверх – озон опережает СА на 90° , вниз – колебания озона отстают от фазы СА на 90°); б) вариации солнечной активности W и КДВ общего содержания озона (штриховая линия). Значения ОСО (в единицах ЕД) умножены на 15 и смещены по оси ординат.

Рассмотрим примеры использования композитного анализа для фильтрации квазидесятилетних вариаций температуры на основе других, часто используемых данных.

1. Среднемесячные глобальные температуры воздуха за 1850–2013 гг. по данным http://berkeleyearth.lbl.gov/auto/Global/Land_and_Ocean_complete.txt – далее Berkeley.

2. Среднегодовые глобальные температуры воздуха за 1880–2013 гг. и средние температуры в широтных поясах 90° с.ш. – $23,6^\circ$ с.ш., $23,6^\circ$ с.ш. – $23,6^\circ$ ю.ш., $23,6^\circ$ ю.ш. – 90° ю.ш. за 1900–2013 гг. по данным NASA GISS <http://cdiac.ornl.gov/trends/temp/hansen/data.html> – далее Hansen.

Сопоставление глобальных температур и их квазидесятилетних вариаций (линейные тренды удалены) приведено на рис. 4.

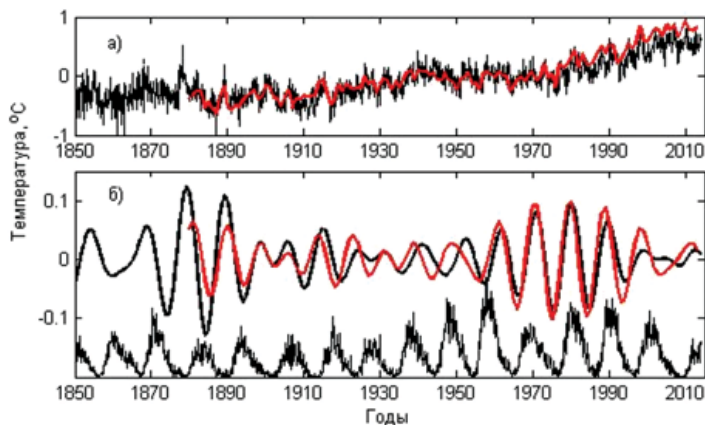


Рис. 4: а) Вариации глобальной температуры воздуха по данным Berkeley (красная линия) и Hansen (черная линия); б) квазидесятилетние вариации температуры по данным Berkeley и Hansen и солнечная активность W

КДВ глобальных температур по данным Berkley и Hansen (рис. 4б) достаточно хорошо согласуются. Обращают внимание периоды повышенной амплитуды вариаций температуры в период 1870–1890 и 1960–2000 гг. Фазовые соотношения между КДВ температуры и солнечной активностью с течением времени меняются от противофазных до синфазных. Это важно учитывать при анализе корреляционных связей между температурой приземного воздуха и вариациями солнечной активности.

На рис. 5 сопоставлены квазидесятилетние вариации температуры в различных широтных поясах: 90° с.ш. – $23,6^\circ$ с.ш., $23,6^\circ$ с.ш. – $23,6^\circ$ ю.ш., $23,6^\circ$ ю.ш. – 90° ю.ш. В первой половине анализируемого периода вариации температуры в северном и тропическом поясах опережают вариации в южных широтах. После 50-х годов прошлого века изменения температуры происходят примерно в одной фазе. Однако характер вариаций температуры для тропического пояса в последнее десятилетие изменился, а начиная с 1995 г. колебания температуры в тропическом поясе происходят в противофазе с колебаниями температуры в северных и южных широтных зонах.

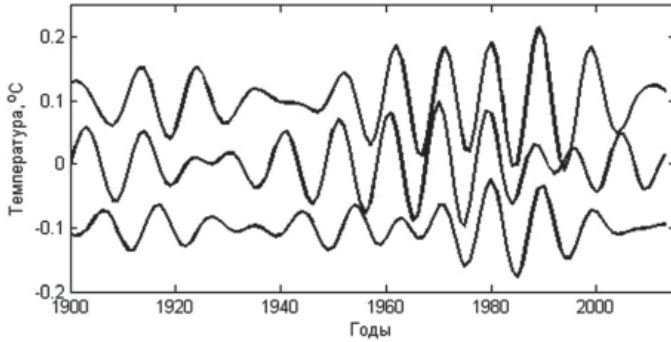


Рис. 5. Квазидесятилетние вариации температуры воздуха (сверху вниз) в широтных зонах 90° с.ш. – $23,6^\circ$ с.ш., $23,6^\circ$ с.ш. – $23,6^\circ$ ю.ш., $23,6^\circ$ ю.ш. – 90° ю.ш. Для различимости кривые смещены на $0,1^\circ\text{C}$.

Наиболее длинный ряд, содержащий данные измерений одного из основных парниковых газов, CO_2 , был получен на станции «Мауна-Лоа» [12]. Временной ряд и выделенные композитным методом квазидесятилетние вариации показаны на рис. 6. Квазидесятилетние вариации углекислого газа составляют около 10 % от годовых вариаций ($6\text{--}7 \text{ млн}^{-1}$), а фаза колебаний достаточно хорошо согласуется с 11-летним циклом солнечной активности.

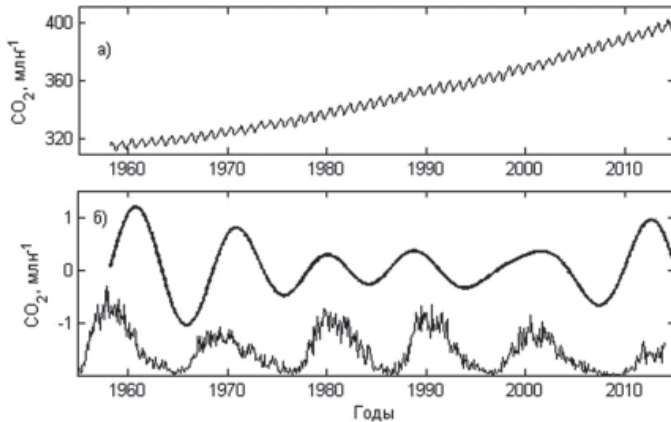


Рис. 6: а) вариации концентрации углекислого газа по данным станции «Мауна-Лоа»; б) сопоставление квазидесятилетних вариаций CO_2 и солнечной активности

Заключение

Композитный метод фильтрации сигналов был применен для сопоставления эволюции во времени амплитуды и фазы квазидесятилетних колебаний солнечной активности и общего содержания озона, а также анализа квазипериодических сигналов в рядах глобальной температуры и содержания углекислого газа. Применение метода позволяет выделять слабые сигналы в квазипериодических процессах и сопоставлять вариации этих сигналов в различных спектральных областях. В частности, сопоставление квазидесятилетних вариаций общего содержания озона и температуры в области 8–13 лет с вариациями солнечной активности показало, что фазовые соотношения с течением времени могут значительно меняться. Сопоставление с методом кросс-вейвлетного анализа показало хорошее согласие при анализе наиболее длинного озонового ряда ОСО. Представляется новым результат, показывающий, что квазидесятилетние колебания углекислого газа в достаточно продолжительный период хорошо согласуются с вариациями солнечной активности. В задачу статьи не входила интерпретация полученных результатов, однако этот вывод достаточно интересен и требует дополнительных исследований.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ, проект №14-05-00127.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Elsner J.B., Tsonis A.A.* Singular Spectral Analysis // A New Tool in Time Series Analysis. Springer, 1996. 164 p.
2. *Huang N.E., Wu Z.* A review on Hilbert-Huang transform: method and its applications to geophysical studies // Rev. Geophys. 2008. V. 46, RG2006, doi:10.1029/2007RG000228.
3. *Grinsted A., Moore J.C., Jevrejeva S.* Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series // Nonlin. Processes Geophys. 2004. N 11. P. 561–566. doi:10.5194/npg-11-561-2004.
4. *Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P.* Numerical recipes in Fortran 77: the art of scientific computing. 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 973 p.
5. *Вишератин К.Н., Карманов Ф.И.* Практические методы оценивания спектральных параметров. Обнинск: ИАТЭ, 2008. 60 с.
6. *Вишератин К.Н.* Межгодовые вариации и тренды среднезональных рядов общего содержания озона, температуры и зонального ветра // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43, № 4. С. 67–85.

7. Вишератин К.Н. Фазовые соотношения между квазидесятилетними колебаниями общего содержания озона и 11-летним циклом солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия. 2012. Т. 52, № 1. С. 99–108.
8. Gray L.J., Beer J., Geller M., et al. Solar influences on climate // Rev. Geophys. 2010. V. 48. RG4001, doi:10.1029/2009RG000282.
9. SIDC-team, 2013. World Data Center for the Sunspot Index, Royal Observatory of Belgium, Monthly Report on the International Sunspot Number (<http://www.sidc.be/sunspot-data>).
10. WOUDC, 2013. World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre operated by Environment Canada, Toronto, under the auspices of the World Meteorological Organization.
11. Camp Ch.D. Temporal and Spatial Patterns of the Interannual Variability of Stratospheric Ozone and Dynamics. Thesis for Degree of Doctor of Philosophy. Pasadena: California Institute of Technology, 2004.
12. Tans P. NOAA Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/).

УДК [556.166+551.577.61]:551.583 (470+571)

ГЕОГРАФИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГЕНЕЗИС КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ, ОПАСНЫХ НАВОДНЕНИЙ И МАЛОВОДИЙ НА РЕКАХ РОССИИ

***В. А. Семенов¹, Е. В. Гниломедов¹, Р. С. Салугашвили¹,
В. Н. Голубев², Д. М. Фролов²***

¹ *ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидро-
метеорологической информации – Мировой центр данных»*

² *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Введение

Для современных изменений климата на территории России характерно увеличение его экстремальности, региональными гидрометеорологическими последствиями которой являются изменения рисков повторяемости опасных наводнений во время весенних половодий (половодные), при дождевых и снегодождевых паводках (паводочные), ледовых заторах (заторные), зажорах (зажорные), а также при селевых потоках на горных реках. Гидрологической основой наиболее распространенных половодных и паводочных наводнений являются максимальные расходы воды рек, устанавливаемые по результатам сетевых наблюдений Росгидромета. Кроме того, изменения климата обуславливают увеличение повторяемости на реках маловодий при экстремально низкой межени, что усложняет эксплуатацию водохозяйственных сооружений, работу речного транспорта. При ожидаемом усилении экстремальности климата возможно усиление негативных последствий этих и других естественных факторов. Основываясь на материалах сетевых наблюдений на реках с наименее нарушенным хозяйственной деятельностью гидрологическим режимом за период 1985–2010 гг. и собранных в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ежегодных сведениях об опасных гидрологических явлениях на реках с учтенным ущербом за 1991–2010 годы, в работе приведены оценки изменений максимальных и минимальных расходов воды, их сравнение с направленностью и частотой наводнений и маловодий на территории России и об их взаимосвязи с климатическими факторами, использование которых позволяет оценить возможные изменения опасных гидрологических явлений на реках в будущем.

Изменения максимального стока воды

Анализ созданных в ФБГУ «ВНИИГМИ-МЦД» баз данных гидрологических наблюдений и опасных гидрологических явлений на реках России за период 80-х годов XX века и начала XXI свидетельствует о том, что последствия изменений климата не однозначно сказались на изменениях максимальных расходов воды на реках разных климатических поясов. На рис. 1 показано деление территории страны по направленности изменения максимальных расходов воды, установленное трендовым анализом наблюдений за 1985–2010 гг. на 80 реках, сток которых не нарушен или мало нарушен хозяйственной деятельностью.

Для большинства рек субполярного пояса на азиатской территории характерны положительные изменения максимальных расходов воды (рис. 2), а на европейской территории преобладает уменьшение максимальных расходов воды и отсутствие их изменений.

В средних широтах азиатской территории тоже преобладало увеличение максимальных расходов воды, а на северных и средних широтах европейской части территории – уменьшение (рис. 3).

На равнинных реках южной территории России (Дальний Восток, Забайкалье, юг ЕТР) преобладало отсутствие изменений и уменьшение максимальных расходов воды (рис. 4).

Стационарные наблюдения на редкой сети гидрологических постов на реках, формирующих сток в высокогорном поясе Алтая и Саян, гор Камчатки, показывают, что их максимальный летний сток в последние 20–30 лет преимущественно уменьшался, а в

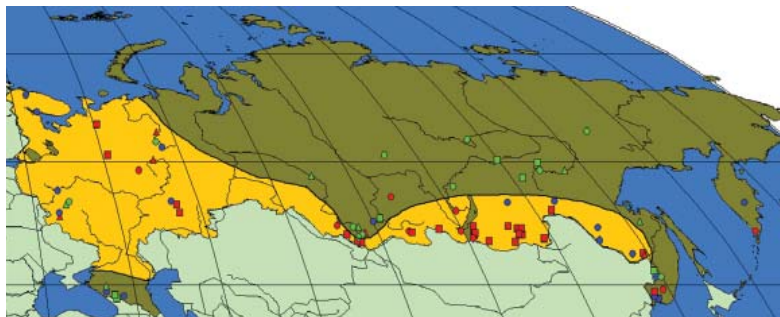


Рис. 1. Зонирование территории по направленности изменений максимальных расходов воды рек за 1985–2010 гг.:
зеленый цвет – увеличение; желтый цвет – уменьшение

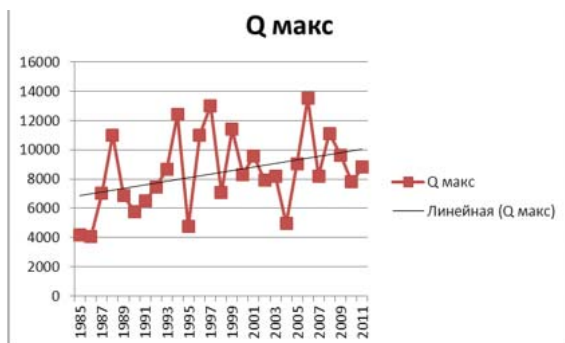


Рис. 2. Изменение максимальных расходов воды р. Олекма – с. Куду-Кюель за 1985–2010 гг.

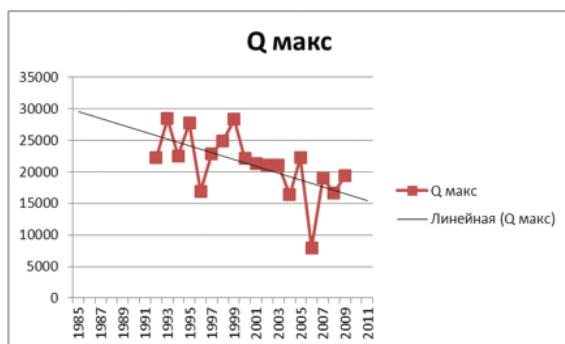


Рис. 3. Изменение максимальных расходов воды р. Северная Двина – с. Усть-Пинега за 1985–2010 гг.

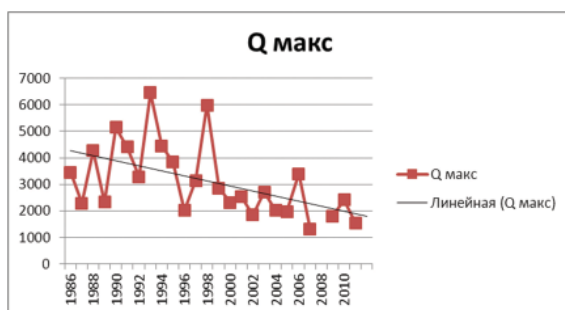


Рис. 4. Изменения максимальных расходов воды р. Селенга – разъезд Мостовой за 1985–2010 гг.

среднегорных и низкогорных частях и реках, формирующих максимальный сток в нескольких высотных поясах, он увеличивался. Для рек Северного Кавказа увеличение максимальных расходов воды особенно характерно в бассейнах Кубани, Терека, в том числе на реках субполярного пояса.

География изменений и генезис опасных наводнений

В [1] приведены сведения о генезисе формирования наводнений и отмечалось, что районами увеличения частоты опасных наводнений являются территория Дальневосточной климатической области с наиболее выраженным повышением частоты и продолжительности опасных наводнений в периоды летне-осенних половодий, дождевых и снежодождевых паводков; горная климатическая область Сибири (Саяны, Алтай и Танну-Ола) с увеличением частоты опасных наводнений при весеннем и весенне-летнем половодье, летних дождевых паводках; Северный Кавказ с увеличением частоты наводнений при высоких дождевых и снежодождевых паводках; Уральская климатическая область с наводнениями в период весеннего половодья и летних дождевых паводков, преимущественно на реках Южного Урала, Предуралья и Зауралья; Северная климатическая область с наводнениями в период весеннего половодья, при заторных наводнениях и нагонах в морских и озерных устьях рек.

Результаты совместного анализа пространственных и временных изменений максимальных расходов воды рек и частоты опасных наводнений показывают, что эти изменения не всегда аналогичны. В субарктическом поясе, на Северо-Востоке страны, наиболее часто опасные наводнения и маловодья стали повторяться в бассейне р. Колыма, где в течение одного года бывают маловодья в первой половине летнего периода, при отсутствии осадков, и опасные наводнения во второй половине лета и осенью – при выпадении обильных и продолжительных осадков.

В субарктических районах и средних широтах азиатской территории, северных широтах европейской части территории частота опасных наводнений возрастает также от ледовых заторов, что обуславливает увеличение частоты опасных наводнений и при отсутствии роста максимальных расходов воды рек.

В горных районах при современном потеплении увеличению частоты наводнений способствует возрастание площади одновременного снеготаяния и выпадения опасных дождей одновременно

на нескольких высотных поясах, что при неизменности максимальных расходов воды малых рек за счет большего количества их суммирования приводит к увеличению максимального стока и высоте наводнения на больших реках. В бассейнах рек Северного Кавказа в рассматриваемый период происходило также увеличение частоты опасных селевых потоков.

На азиатской территории, особенно в южных широтах Дальнего Востока, к увеличению опасности наводнений приводят изменения атмосферной циркуляции, обуславливающие выпадение большого количества атмосферных осадков за продолжительный период времени (например в бассейне Амура в 2013 году).

Гидролого-климатическое районирование территории по изменениям частоты опасных наводнений

Выполненный гидрометеорологический анализ позволяет уточнить гидролого-климатическое районирование территории по изменению опасности наводнений. В результате анализа территориально-временных изменений максимальных расходов воды, опасных наводнений и метеорологических явлений, на взаимосвязи между ними, и основываясь на климатическом районировании территории СССР, предложенном Б.П. Алисовым, на территории России наиболее чувствительными к изменениям климата в части частоты опасных наводнений на реках являются следующие районы (рис. 5):

1. Территория Тихоокеанской и Сибирской климатических областей субарктического пояса. При прогнозируемом дальнейшем повышении температуры воздуха и выпадения количества осадков возможно увеличение частоты половодных и паводочных наводнений, а на реках бассейнов Лены, Яны, Индигирки, Анабар сибирской климатической области возможно увеличение частоты и продолжительности заторных наводнений.

2. Муссонная Дальневосточная область умеренного пояса с наиболее выраженным повышением частоты и продолжительности опасных наводнений в периоды летне-осенних половодий, дождевых и снегодождевых паводков на реках Дальневосточного федерального округа, особенно в бассейне р. Амур.

3. Континентальная восточно-сибирская и западно-сибирская области умеренного пояса, где сохраняется опасность заторных наводнений в половодье и наводнений при дождевых паводках.

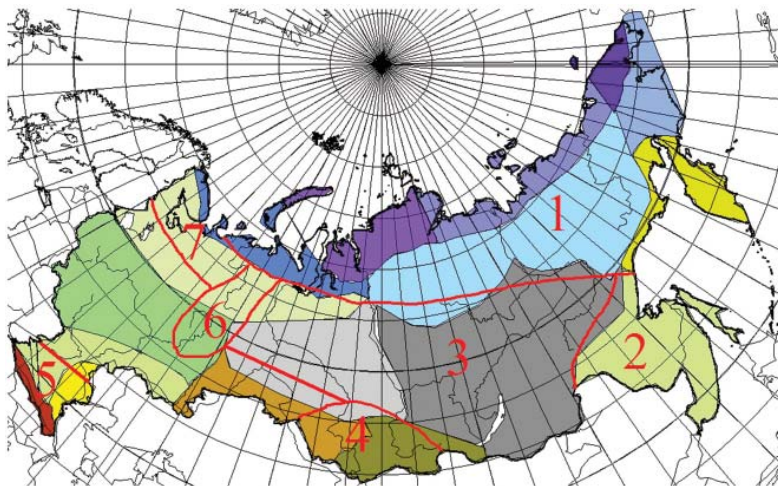


Рис. 5. Карта климатических районов Б. П. Алисова (показаны цветом) и изменений частоты опасных наводнений (цифрами) за период 1991–2010 гг.

4. Высокогорная климатическая область умеренного пояса на юге Сибири (Саяны, Алтай и Танну-Ола) с увеличением частоты опасных наводнений при весеннем и весенне-летнем половодье, летних дождевых паводках, где в отдельные годы может сформироваться половодье, максимум которого в 5 раз превышает средний многолетний максимальный расход, в том числе в предгорьях.

5. Северный Кавказ и Закавказье (русская часть Причерноморья) с увеличением частоты наводнений при высоких дождевых и снегодождевых паводках и с увеличением частоты селевых потоков.

6. Уральская климатическая область с наводнениями в период весеннего половодья и летних дождевых паводков на реках Урала, Предуралья и Зауралья.

7. Северная климатическая область европейской территории с наводнениями в период весеннего половодья, при заторных наводнениях и нагонах в морских и озерных устьях рек.

Изменения минимального стока воды рек в летне-осеннюю межень

В изменениях минимальных летних расходов воды преобладали отрицательные тенденции почти на всей европейской

территории, кроме высокогорных рек Северного Кавказа и рек Кольского полуострова, а на реках азиатской территории уменьшение минимального летнего стока было на реках южных районов Сибири, Дальнего Востока и Камчатки (рис. 6).

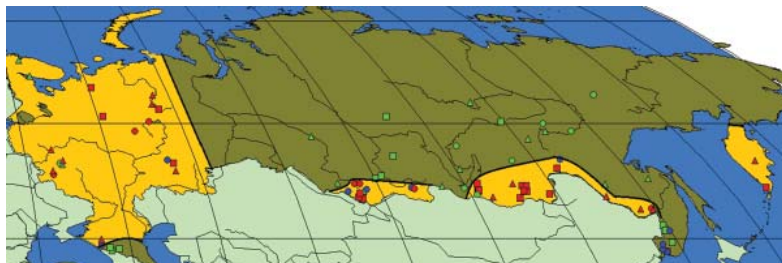


Рис. 6. Изменения минимальных расходов воды рек в летне-осеннюю межень за 1985–2010 гг.

В зимний период преобладало увеличение минимального стока, особенно на реках азиатской территории, но уменьшение на реках Забайкалья, некоторых реках юга Западной Сибири, Приморья. На всей европейской территории России преобладало увеличение минимального стока или отсутствие его изменений (рис. 7).

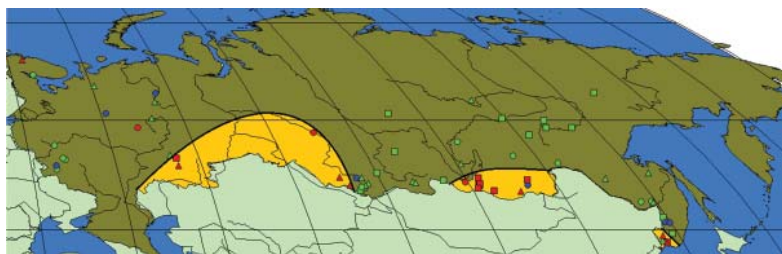


Рис. 7. Изменения минимальных расходов воды в зимнюю межень за 1985–2010 гг.

География и генезис экстремальных маловодий в межень

В [2] приведены сведения о том, что с начала XXI столетия увеличилась частота маловодий на реках, которые приносят значительный материальный ущерб, иногда сопоставимый с ущербом от наводнений.

Количество экстремальных маловодий на реках России с учтенным ущербом за 20-летний период (1991–2010 гг.) было

112, из них в период 1991–1995 гг. – 8, 1996–2000 гг. – 9, 2001–2005 гг. – 51, а за 2006–2010 гг. – 44 (рис. 8).

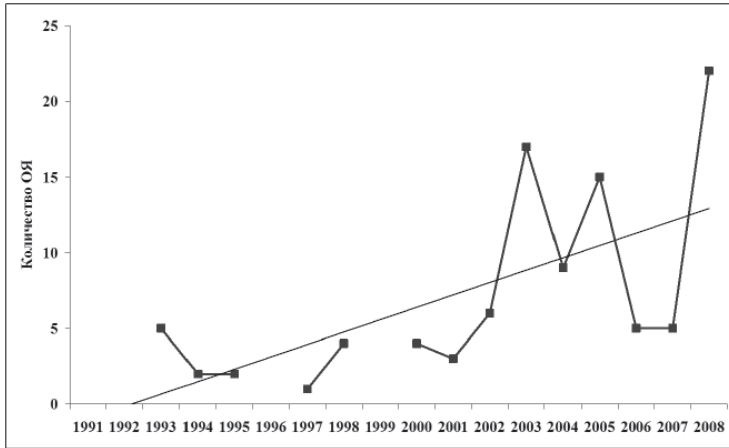


Рис. 8. Изменение числа маловодных периодов с зафиксированным ущербом на территории России за 1991–2008 гг.

Маловодья бывают преимущественно в южной части азиатской территории (юг Западной Сибири, Забайкалье, бассейн р. Амур, реки Камчатки), но в последние годы отмечаются они также и в средних широтах Западной Сибири, в высоких широтах Дальнего Востока. Рост их повторяемости объясняется увеличением континентальности климата, выражающееся в сезонном перераспределении осадков, возрастании продолжительности бездождевых периодов не только летом, но и весной. Увеличение частоты наступления низкой межени обусловлено уменьшением количества осадков преимущественно зимне-весеннего периода и увеличением продолжительности засухливых периодов весной и летом, а на Дальнем Востоке и осенью.

Наметилась тенденция увеличения повторяемости маловодий в первом десятилетии XXI века и на реках некоторых районов Европейской территории России (ЕТР). Наибольшее увеличение маловодий произошло на реках равнинных территорий Южного федерального округа, Поволжья (Адыгея, Астраханская, Самарская, Саратовская области). В 2010 году продолжительное маловодье было также на реках Предуралья (Удмуртская Республика, Татарстан, Кировская область), бассейна р. Дон.

На территории ЕТР зимние оттепели, продолжительное весеннее снеготаяние и малое промерзание почвы способствовали инфильтрации талых вод, повышению уровня подземных вод и стока рек в межень, что уменьшало вероятность маловодий на реках в периоды зимней и частично летней межени.

Изменения климатических условий, обуславливающие формирование опасных гидрологических явлений

Сведения о взаимосвязи опасных наводнений с опасными метеорологическими явлениями приведены в [1]. Важнейшими факторами, обуславливающими формирование опасных наводнений и маловодий, являются изменения атмосферной циркуляции, сезонное выпадение атмосферных осадков, накопление и таяние снежного покрова. Характерной особенностью конца XX и начала XXI вв. является смена зональных типов циркуляции на меридиональные. На азиатской территории при нарушении зональной циркуляции преобладает меридиональный южный тип циркуляции, при котором происходит заток воздуха с юга и океана на территорию Дальнего Востока России. При каждом определенном состоянии атмосферной циркуляции влияние океана на определенные области усиливается либо ослабевает, тем самым создавая большие пространственные различия в аномалиях температуры и осадков прилегающей территории, которые могут распространяться на большие расстояния. На рис. 9 показано, что температура воздуха имеет хорошее согласование с изменениями суммы дней групп северной и южной меридиональной циркуляции.

О тесной связи между осадками и нарушениями зональной циркуляции на Дальнем Востоке свидетельствует, например, то, что коэффициент корреляции между изменениями количества месячных сумм осадков и нарушениями зональной циркуляции за год для станции «Комсомольск-на-Амуре» $r = -0,64$, а изменение их колебаний по годам показано на рис. 10. При нарушении зональной циркуляции в последние годы стал преобладать меридиональный южный тип циркуляции. Коэффициент корреляции суммы меридиональной северной и южной типов циркуляции с количеством осадков в апреле $r = 0,54$.

В ходе исследования выявлены некоторые особенности связи температуры и осадков на территории России с так называемыми циркуляционными индексами. Обнаружена хорошая связь

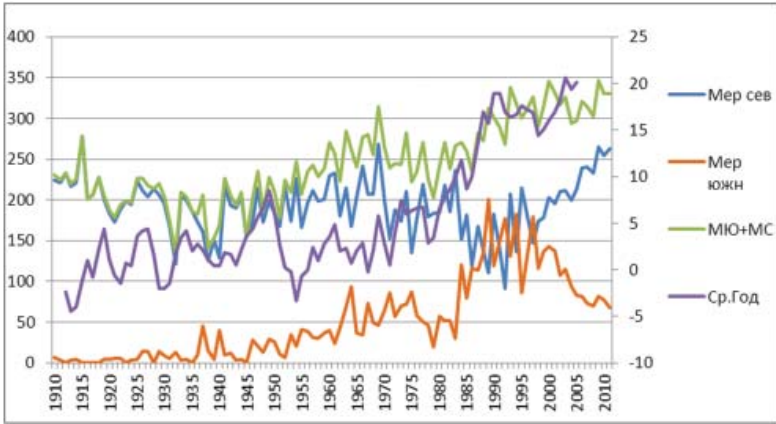


Рис. 9. Продолжительность групп типов атмосферной циркуляции и среднегодовая температура воздуха на метеостанции «Благовещенск» за период 1910–2010 гг.

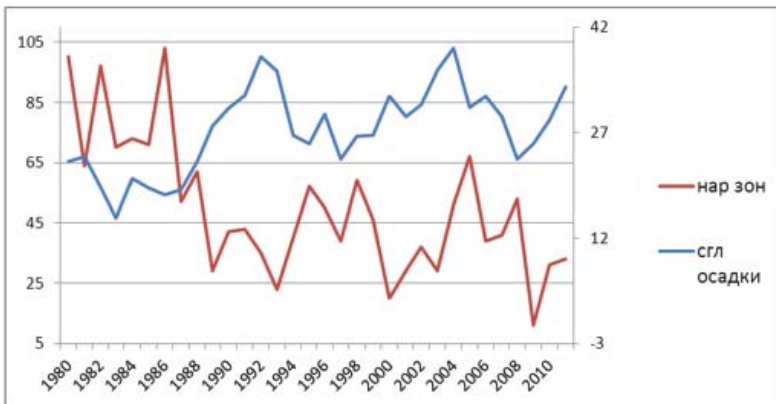


Рис. 10. Среднемесячное количество осадков на станции «Комсомольск-на-Амуре» и среднегодовое количество дней с нарушением зональной циркуляции

температуры воздуха с некоторыми индексами. Так для территории ЕТР, Западной Сибири – это индексы Североатлантического колебания и Скандинавский индекс, для Восточной Сибири – это Полярный индекс (проявляется во все сезоны, кроме лета).

С циркуляционными индексами у атмосферных осадков обнаруживается более слабая связь, чем у температуры воздуха.

Осадки связаны с индексами POL, NAO, PNA и WP. Осадки на юге Сибири и горных районов Прибайкалья и Забайкалья в холодный период связаны с положением и интенсивностью Сибирского антициклона (коэффициент корреляции $r = -0,38$) за период октябрь–март.

Когда западный перенос усиливается, тогда заметно увеличение циркуляции формы W и влияние атлантических индексов доходит до Восточной Сибири.

При восточной форме циркуляции E преобладает меридиональная составляющая. Западный перенос ослабевает, и на территорию Западной и Восточной Сибири влияние Атлантики ослабевает. На Дальний Восток усиливается влияние с Тихого океана. Западно-тихоокеанский индекс в этом случае начинает более сильно влиять на температуру и осадки на юге Дальнего Востока. С полярным индексом связаны осадки на юге Сибири. Изменения месячных сумм атмосферных осадков в холодный период на юге Сибири имеют значимую отрицательную связь с индексом NAO. Летом такая связь отсутствует. Связь осадков с индексом AO в холодный период года подобна связи с NAO. Для территории юга Сибири и Дальнего Востока с индексом PNA у месячных сумм осадков значимая отрицательная корреляция отмечается в феврале, марте, сентябре и декабре, т.е. преимущественно в холодное время года. Связь колебаний атмосферных осадков с индексами циркуляции менее выражена для территории Забайкалья, но лучше проявляется для района Саян и для Дальнего Востока. В целом же для юга Сибири связь осадков и циркуляционных механизмов выражена слабее, чем с температурой воздуха.

Анализ связи изменений температуры воздуха, количества осадков с циркуляцией атмосферы показывает, что при сменах типов циркуляции возникают аномальные метеорологические явления, в том числе возможны явления редкой повторяемости из-за перехода атмосферы в иное состояние.

Изменения количества сезонных осадков анализировались за период 1991–2010 гг. [3]. Для зимнего периода этого 20-летия характерно увеличение на большей территории страны количества осадков и запасов воды в снежном покрове к началу снеготаяния. Наибольшее увеличение толщины снежного покрова на 10–30 см, вплоть до 120 см, было в Восточной Сибири, на Камчатке и юге Западной Сибири. Увеличение количества весенних осадков было

характерно для Дальнего Востока, горных районов юга Сибири, Кавказа.

Для летнего периода с начала XXI столетия изменения климата способствуют сочетанию гидрометеорологических событий с выпадением количества осадков очень редкой повторяемости, которые являются причиной формирования опасных наводнений на реках преимущественно южных районов.

Многолетние изменения климатических условий сопровождаются их межгодовыми вариациями, обусловленными периодической сменой преобладающего типа атмосферных циркуляционных процессов. Трендовые изменения на территории России в этот период были положительными и составили: температуры холодного периода – $0,032\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$, суммы зимних осадков – $0,8\text{ мм}/\text{год}$, толщины снежного покрова – $0,12\text{ см}/\text{год}$. Средние значения межгодовых вариаций температуры были равны $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, осадков – 10 мм , высоты снежного покрова – 2 см , а максимальные достигали $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 мм и 7 см , более чем на порядок превышая величину трендовых изменений. Соотношения между трендовыми изменениями и межгодовыми вариациями температуры воздуха, суммы осадков и высоты снежного покрова имеют один порядок величины. И межгодовые, и трендовые изменения температуры воздуха, суммы осадков предполагают соответствующие вариации частоты снегопадов и сильных ветров, перепадов температуры и оттепелей. Это должно находить свое отражение в изменениях высоты и строения снежного покрова, что сказывается на формировании стока воды и высоте наводнений в весеннее половодье [3].

Заключение

Результаты трендового анализа экстремального стока воды свидетельствуют, что в конце XX – начале XXI столетий на реках азиатской территории России изменения в основном подчинены географо-климатической зональности: максимальные расходы в половодье и минимальные расходы в теплый период года увеличивались в высоких и средних широтах и уменьшались в южных районах. На равнинных реках европейской территории изменения максимальных расходов воды не существенны, а минимальные расходы преимущественно уменьшаются. Увеличение частоты опасных наводнений в половодье и при паводках характерно в основном для рек азиатской территории, в том числе для

горно-предгорных районов юга, а на европейской территории – для горных районов Кавказа, Урала. Частота маловодий с начала XXI столетия увеличивается преимущественно в южных районах, но в последние годы маловодья стали чаще также в средних широтах. При прогнозируемом росте континентальности климата следует ожидать расширения географии опасных наводнений и маловодий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГО и РФФИ, проект №13-05-411-72.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов В. А. География климатообусловленных изменений опасных наводнений на реках России в конце XX – начале XXI столетий // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2014. Вып. 177. С. 160–174.
2. Семенов В. А. Климатообусловленные изменения вклада снега в формирование опасных гидрологических явлений на реках // Лед и снег. 2013. № 3. С. 107–112.
3. Голубев В. Н., Семенов В. А., Фролов Д. М. Вариации водозапаса снежного покрова и интенсивности его таяния как фактор весеннего половодья на реках России // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. Материалы VII Международной научно-практической конференции, Москва, РУДН, 24–27 ноября 2014 года. М.: Российский университет дружбы народов, 2014. С. 365–377.

УДК551.465.7

ОБ УСИЛЕНИИ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ШТОРМОВОЙ АКТИВНОСТИ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ ПО ДАННЫМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕСИМО

Н. А. Вязилова

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
nav@meteo.ru*

Введение

Согласно экспертным оценкам Межправительственной группы по изменению климата, одним из наиболее опасных аспектов глобального изменения современного климата является усиление его экстремальности, что проявляется в учащении аномальных гидрометеорологических явлений, повышении их интенсивности. Изучение и мониторинг циклонической активности во внетропических широтах представляет с этой точки зрения практический интерес для общества, ибо в основном с интенсивными циклонами в умеренных широтах связаны аномально сильные осадки и ураганный ветер. Циклоническая активность в Северной Атлантике оказывает прямое влияние на погоду и климат в странах Европейского региона, в том числе и на европейской части России.

Говоря об интенсивности циклонов и употребляя термин «экстремальные циклоны», важно четко определить значение терминов «интенсивность» и «экстремальность» внетропических циклонов. Во многих исследованиях под термином «интенсивность» понимают значение атмосферного давления или атмосферного вихря в центре циклона. Термином «экстремальные» в таких исследованиях обычно обозначают циклоны с атмосферным давлением в центре менее 980 или 970 гПа [1, 2]. Необходимо отличать значение термина «интенсивность циклонов», о котором говорилось выше, от термина «интенсивность циклонической активности». Первый фактически характеризует глубину развития циклонов и применяется для разделения циклонов на группы по данному признаку, второй термин часто применяется для интегральной оценки циклонической деятельности в регионе в течение какого-либо временного периода. Циклоны, сопровождающиеся

развитием опасных скоростей ветра, обычно называют штормами. Согласно международной шкале Бофорта определению «шторм» соответствуют циклоны со скоростями ветра от 24 м/с и более [3].

Климатическая оценка и анализ характеристик временной изменчивости повторяемости циклонов и штормов для различных регионов Северного полушария, полученные на основе различных данных и методов расчета, представлены в целом ряде работ [1–5]. Однако, несмотря на важность обобщающих климатологических исследований, они, во-первых, получены в основном для зимнего сезона, а во-вторых, не дают возможности получить динамическую оценку экстремальности циклонической активности в исследуемом регионе за последний месяц, сезон, год. В данной работе оценка экстремальности циклонической и штормовой деятельности в Северной Атлантике представлена на основе анализа показателей, рассчитываемых в рамках прикладной задачи ЕСИМО («Мониторинг штормовой активности в Северной Атлантике и отдельных районах региона») и представляемых на портале ЕСИМО (Единой системы информации об обстановке в Мировом океане). В рамках выше указанной прикладной задачи обеспечивается мониторинг циклонической и штормовой активности в Северной Атлантике и Европейском регионе, который заключается прежде всего в регулярном ежемесячном обновлении показателей, представлении характеристик циклонической активности за последний календарный месяц текущего года для любого зарегистрированного пользователя. Обеспечение задачи мониторинга представляет сложную технологическую проблему и стало возможным только в результате разработки и внедрения целого комплекса технологий ЕСИМО, включающего создание и обновление информационных ресурсов со значениями показателей; сопряжения этих ресурсов с аналитическим комплексом ЕСИМО, посредством которого строятся и обновляются графики и карты со значениями показателей; сопряжения аналитического комплекса с Порталом ЕСИМО, где построенные аналитические представления становятся доступными для пользователя [<http://ak.esimo.ru>]. В настоящее время на портале ЕСИМО представлены ежемесячные показатели циклонической активности для региона Северной Атлантики и Европы с координатами (30° с.ш. – 80° с.ш., 50° з.д. – 70° в.д.).

1. Данные и методы расчета показателей

Изучение циклонической и штормовой активности в данной работе включает выделение методом автоматической идентификации центров циклонов по данным атмосферного давления на уровне моря и алгоритм расчета траекторий их смещения, более подробно описанных в более ранней работе автора данной статьи [6], определение атмосферного давления, скорости ветра и интенсивности осадков в центрах циклонов, алгоритм расчета показателей, а также технологии представления значений показателей на портале ЕСИМО.

Для расчета показателей используются 6-часовые данные реанализа Национального метеорологического центра США NCAR-NCEP в узлах сетки $2,5^\circ$ [7]: данные атмосферного давления на уровне моря, составляющих скорости ветра на поверхности 925 гПа, интенсивности осадков в нижнем слое атмосферы. Интенсивность осадков и максимальная скорость ветра в центрах циклонов в каждый срок наблюдения определяются в первом случае как среднее значение, а во втором – как максимальное значение из всех наблюдаемых величин в окружности центра циклона радиусом 5° .

К анализируемым показателям относятся повторяемость циклонов (количество наблюдаемых циклонов за месяц, сезон в выбранном регионе) по градациям атмосферного давления в центрах циклонов, максимальной скорости ветра и интенсивности осадков, а также интегральный индекс циклонической активности – сумма аномалий атмосферного давления в центрах циклонов за календарный месяц, сезон в целом по региону. Методика расчета показателей более подробно представлена в предыдущих работах автора [6, 8, 9]. Аномалии приземного давления в центрах циклонов рассчитываются относительно ежемесячных климатических данных за период 1971–2000 гг.

2. О ежемесячной оценке циклонической и штормовой активности

На портале ЕСИМО показатели представлены в форме аналитических представлений, включающих : а) карты пространственного распределения циклонов и штормов в регионе исследования за последний календарный месяц с индикацией по выделенным градациям (давления, скорости ветра, интенсивности осадков);

б) графики повторяемости циклонов по градациям вышеуказанных параметров.

Карты траекторий циклонов с индикацией атмосферного давления в центрах (рис. 1) позволяют выделить положение (на карте красным цветом) экстремально глубоких циклонов с давлением от 970 гПа и менее. Графики показывают повторяемость циклонов по градациям давления в данный календарный месяц.

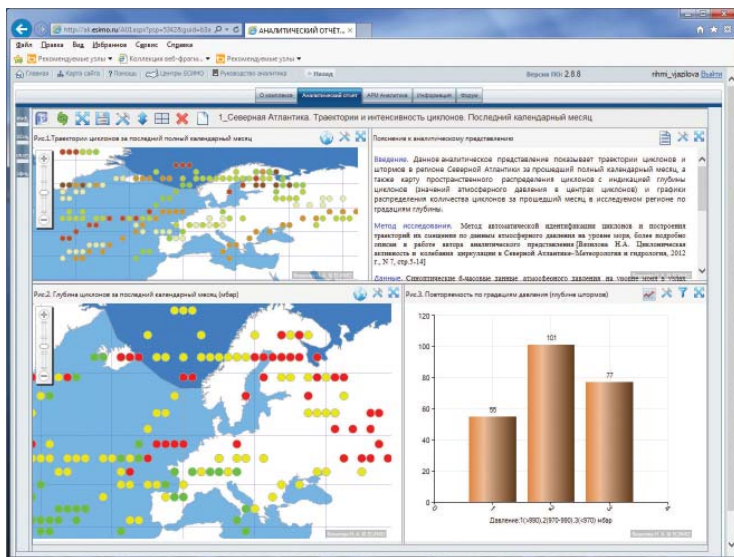
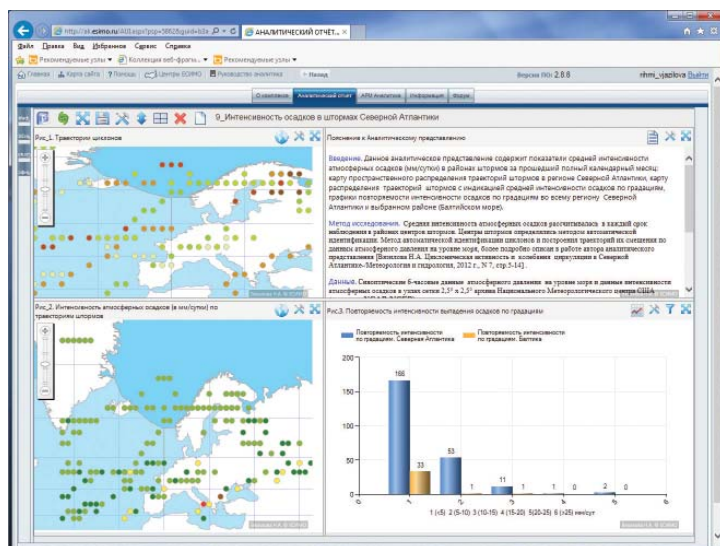
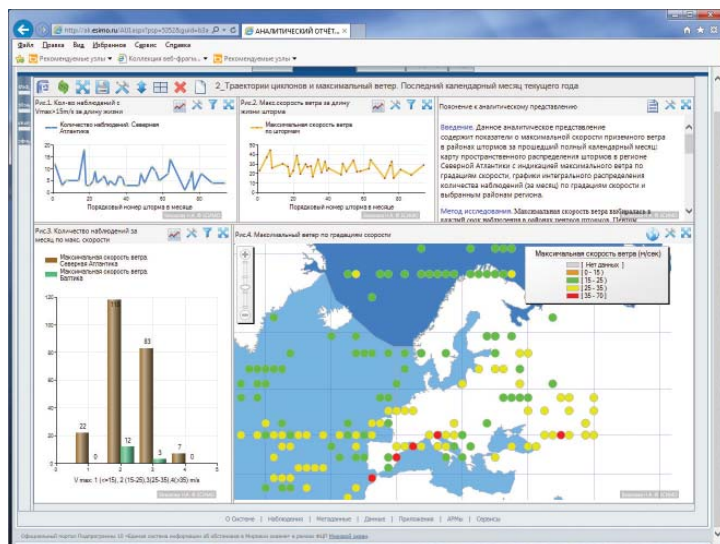


Рис. 1. Аналитическое представление «Траектории и повторяемость циклонов в Северной Атлантике за последний календарный месяц»

Карты максимального ветра в циклонах (рис. 2) дают возможность получить представление о положении штормов, в том числе очень интенсивных. Графики показывают повторяемость циклонов по градациям максимальной скорости приземного ветра как для всего региона Северной Атлантики, так и для выделенного района Балтийского моря.

Карты траекторий циклонов с индикацией интенсивности осадков (рис. 3) позволяют выделить циклоны, сопровождавшиеся интенсивными осадками. Графики показывают повторяемость циклонов по градациям интенсивности осадков.



3. Анализ изменчивости циклонической и штормовой активности

Ежемесячные значения повторяемости циклонов являются основой для исследования ее межгодовой изменчивости в Северной Атлантике для всего периода наблюдений. На портале ЕСИМО в специализированных аналитических представлениях представлены графики межгодовой изменчивости повторяемости циклонов, а также интегрального индекса циклонической активности для всего региона Северной Атлантики и для отдельных выбранных районов (морей) [<http://ak.esimo.ru>].

Экстремальные циклоны. Анализ изменения плотности циклонов и индекса циклонической активности (рис. 4) показывает, что в холодную половину года в северном районе региона на фоне сравнительно небольшого уменьшения общей плотности циклонов выделяется значительное уменьшение плотности умеренных циклонов: с 80 % в 1950-е годы до 50 % – к концу 80-х.

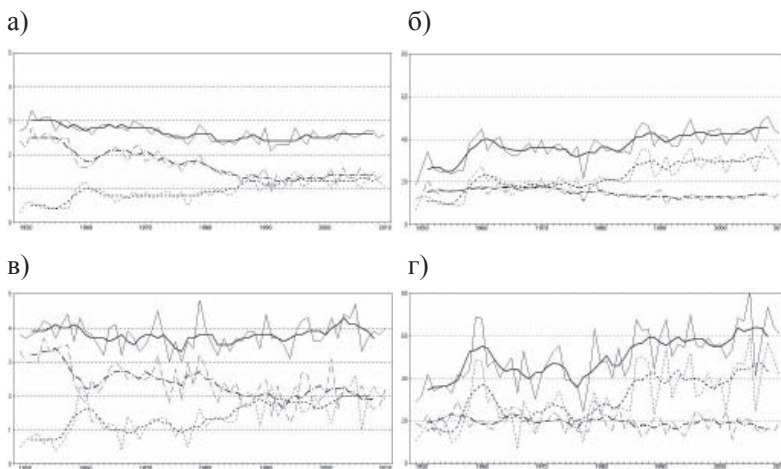


Рис. 4. Межгодовая изменчивость средневзвешенных значений плотности (а, в) и интенсивности (б, г) циклонов в зимний период: (а, б) – для северной широтной зоны Северной Атлантики [55° с.ш. – 80° с.ш., 50° з.д. – 70° в.д.] и (в, г) – района Балтийского моря [52° с.ш. – 68° с.ш., 7° в.д. – 31° в.д.]. Обозначения на рисунках: для общей группы циклонов (сплошная линия), умеренных циклонов (пунктир), экстремальных циклонов с давлением в центре, равным и менее 970 гПа (точки). Жирными линиями обозначены скользящие средние за пять лет.

В то же время количество экстремально глубоких циклонов (циклонов с давлением от 970 гПа и меньше) в этот период увеличилось и практически сравнялось с количеством умеренных циклонов. Статистические оценки показывают, что как уменьшение умеренных, так и увеличение глубоких циклонов статистически значимо. С ростом повторяемости экстремально глубоких циклонов согласуется и рост интегрального индекса циклонической активности, особенно для экстремальных циклонов, который представляет сумму аномалий давления в центрах циклонов в целом по региону. Если до 1980-х годов вклад умеренных и экстремальных циклонов в общую сумму аномалий давления был практически равным, то с конца 1980-х годов вклад экстремальных циклонов в значения индекса циклонической активности вырос до 70–80 %. Район Балтийского моря выделяется более высокими значениями и плотности циклонов, и значений индекса циклонической активности как для умеренных, так и экстремальных циклонов на протяжении всего периода наблюдений. Тенденция к росту активности экстремальных циклонов в данном районе региона выражена наиболее ярко.

Штормовые циклоны. Анализ повторяемости циклонов в северной широтной зоне в зимнюю половину года показывает (рис. 5), что большую часть как в общей группе, так и в группе экстремально глубоких циклонов составляют циклоны с умеренно сильными ветрами (от 17,5 до 24 м/с).

Доля штормов, то есть циклонов со скоростью ветра от 24 м/с и более, в общей группе циклонов увеличилась примерно с 10 % в первой половине периода наблюдений и до 20 % – в последние годы. Увеличение количества штормов приблизительно в два раза наблюдается и в группе глубоких циклонов.

Важный вопрос – это взаимосвязь экстремально глубоких циклонов и штормов. Развивается ли штормовой ветер только в экстремально глубоком циклоне? Каждый ли глубокий циклон сопровождается развитием штормовой скорости ветра?

Известно, что максимальные скорости приземного ветра в циклонах развиваются в момент достижения циклонами максимальной глубины (то есть минимального давления) [1, 10].

Рисунок показывает, что количество штормов в группе экстремально глубоких циклонов оказалось меньше по сравнению с их количеством в общей группе циклонов в течение всего исследуемого

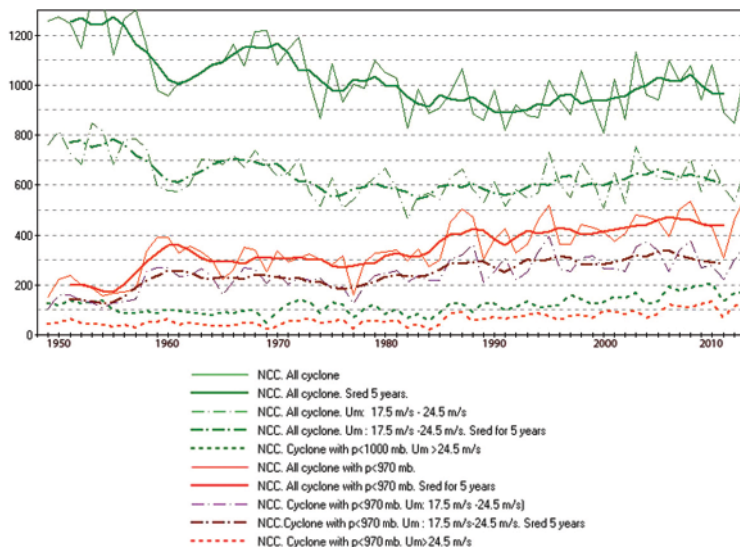


Рис. 5. Повторяемость циклонов по градациям максимальной скорости ветра в северной широтной зоне (55° с.ш. – 80° с.ш., 50° з.д. – 70° в.д.) в зимнюю половину года для общей группы циклонов (зеленый цвет) и отдельно для экстремально глубоких циклонов (красный цвет)

периода. Это означает, что не все случаи экстремальных скоростей ветра, соответствующих определению «шторм» согласно шкале Бо-форта, наблюдаются в районах глубоких циклонов. Таким образом, на первый из двух вопросов можно ответить, что штормовой ветер может наблюдаться как в экстремально глубоком, так и достаточно умеренном циклоне. С другой стороны, рисунок показывает, что и не каждый глубокий циклон сопровождается развитием штормовой скорости ветра, однако количество таких циклонов, то есть экстремально глубоких циклонов, сопровождающихся штормовой скоростью приземного ветра, в настоящее время возрастает.

На примере Балтийского моря, отличающегося повышенной циклонической активностью, видно (рис. 6), что доля глубоких циклонов, соответствующих определению «шторм», в районах повышенной циклонической активности постоянно растет (красная линия) и в последние два десятилетия все чаще составляет от 70 до 80 %.

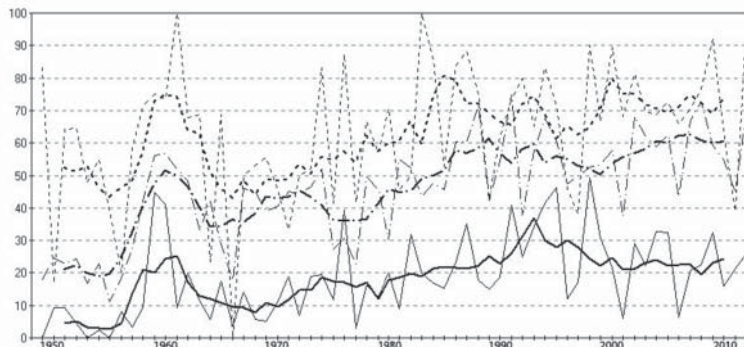


Рис. 6. Доля глубоких циклонов (в процентах) в общем количестве циклонов по градациям максимальной скорости ветра в районе Балтийского моря (52° с.ш. – 68° с.ш., 7° в.д. – 31° в.д.) в зимнюю половину года. Обозначения на рисунке: сплошная линия – циклоны со скоростью ветра менее 17,5 м/с, точка-тире – циклоны со скоростью ветра от 17,5 до 24,5 м/с, точки – циклоны со скоростью ветра более 24,5 м/с. Жирными линиями обозначены скользящие средние за пять лет.

Следует отметить, что и по другим градациям скорости ветра доля экстремально глубоких циклонов увеличивается. Таким образом, увеличение количества штормовых циклонов с экстремальным ветром наблюдается на фоне углубления циклонов. Данный важный вывод согласуется с результатами, полученными в работах исследователей [10] на основе модельных расчетов в условиях потепления климата.

О повторяемости циклонов по градациям интенсивности осадков. Анализ повторяемости циклонов по градациям интенсивности осадков показывает (рис. 7), во-первых, наличие явной тенденции к росту повторяемости циклонов по обоим градациям: как в зимний, так и летний сезон. А во-вторых, повторяемость циклонов по обоим градациям существенно выше в летнюю половину года по сравнению с зимней. Сравнение повторяемости циклонов с интенсивностью осадков от 10 мм/сут и более по широтным 10-градусным зонам (рис. 8) также показывает тенденцию к росту повторяемости циклонов с экстремальной интенсивностью осадков по всем широтным зонам, и также во всех зонах в летнюю половину года повторяемость таких циклонов существенно выше.

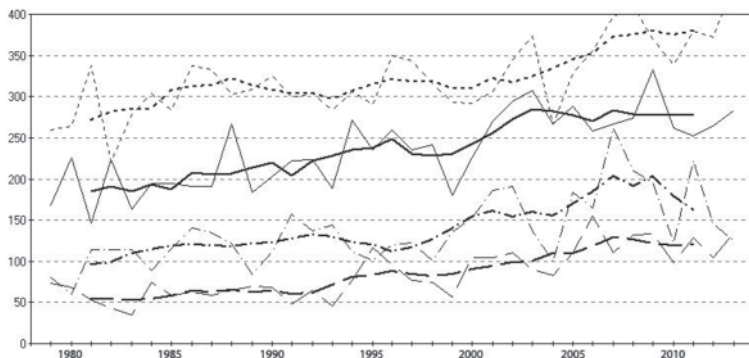


Рис. 7. Повторяемость циклонов по грациям интенсивности осадков: а) от 5 до 10 мм/сут (сплошная линия и точки соответственно для зимней и летней половины года); б) более 10 мм/сут (тире и точка-тире соответственно для зимней и летней половины года). Жирными линиями обозначены скользящие средние за пять лет.



Рис. 8. Средняя повторяемость циклонов с интенсивностью осадков от 10 и более мм/сут по широтным 10-градусным зонам Северной Атлантики от 30° с.ш. до 70° с.ш. Обозначение на рисунке: а) регион 30° с.ш. – 40° с.ш. – сплошная линия; б) регион 40° с.ш. – 50° с.ш. – тире; в) регион 50° с.ш. – 60° с.ш. – точки; г) регион 60° с.ш. – 70° с.ш. – точка-тире. Тонкие линии – зимняя половина года (с октября по март), жирные линии – летний сезон (с апреля по сентябрь)

Максимальная повторяемость как в летнюю, так и зимнюю половину года наблюдается в широтной зоне от 40 до 50°. В летний сезон повышенной повторяемостью циклонов с экстремальной интенсивностью осадков выделяется также и субтропическая широтная зона.

Заключение

1. В основной зоне штормтрека на фоне уменьшения повторяемости умеренных циклонов (с 1948 г. практически в два раза) количество экстремальных циклонов значительно возросло и в процентном отношении достигло 50 % от общего количества циклонов в зимний сезон и 60 % – в летний. Вклад экстремальных циклонов в индекс циклонической активности вырос с 50 до 80 %.

2. Регион Балтийского моря выделяется повышенной циклонической активностью, в том числе и повышенной активностью экстремальных циклонов.

3. В Северной Атлантике постоянно растет доля глубоких циклонов, соответствующих определению «шторм», то есть циклонов, сопровождающихся скоростями ветра от 24 м/с и более.

4. Во всех широтных зонах наблюдается тенденция к повышению количества циклонов, сопровождающихся экстремальной интенсивностью осадков.

Таким образом, рассчитываемые в рамках прикладной задачи и представляемые на портале ЕСИМО показатели дают возможность оценки состояния и экстремальности циклонической и штормовой активности в Северной Атлантике не только за последний календарный месяц, но и получить некоторые важные выводы об ее межгодовой изменчивости.

Эти выводы свидетельствуют об усилении экстремальности циклонической и штормовой активности в Северной Атлантике в последние два–три десятка лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bengtsson L., Hodges K.I., Keenlyside N. Will Extratropical Storms Intensify in a Warmer Climate? // J. of Climate. 2009. V. 22. P. 2276–2301.
2. Paciorek C.J., Risbey J.S., Ventura V., Rosen R.D. Multiple indices of Northern Hemisphere Cyclone Activity, Winters 1949–1999 // J. of Climate. 2002. V. 15. P. 1573–1590.

3. Лукин А. А. Типизация штормовых циклонов, вызывающих опасное волнение в Северной Атлантике // Труды ГУ «ГМЦ» «Гидрометеорологические прогнозы», 2011. Вып. 345. С. 40–55.
4. Gulev S. K., Zolina O., Grigoriev S. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data // *Climate Dynamics*. 2001. V. 17. P. 795–809.
5. Gulev S. K., Jang T., Ruprecht E. Climatology and Interannual Variability in the Intensity of Synoptic-Scale Processes in the North Atlantic from the NCEP-NCAR Reanalyses Data // *J. of Climate*. 2002. V. 15. P. 809–828.
6. Вязилова Н. А. Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 15. С. 5–14.
7. Kalnay E. and Coauthors: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996. V. 77. P. 437–471.
8. Вязилова Н. А., Вязилова А. Е. Об экстремальной циклонической активности в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 11. С. 5–17.
9. Вязилова Н. А., Вязилова А. Е. О штормовых циклонах в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 6. С. 19–27.
10. Leckebusch G. C., Ulbrich U. On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change // *Global Planet Change*. 2004. V. 44. P. 181–193.

УДК 551.46.06

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАРТФОНОВ И ПЛАНШЕТОВ ДЛЯ ЭКСТРЕННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ОБ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЯХ

Е. Д. Вязилов¹, Н. В. Чуняев²

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ vjaz@meteo.ru, ² chunyaev@meteo.ru*

Введение

В последние десятилетия значительно увеличилось число опасных явлений (ОЯ) и, соответственно, ущерб от них. Ущерб от ОЯ связан с плохой информированностью лиц, принимающих решения (ЛПР), и недостаточным учетом имеющейся информации. Очень часто ЛПР используют информацию по интуиции или в зависимости от своего опыта. Из-за большого объема информации ЛПР не в состоянии с достаточной быстротой реагировать на постоянные изменения условий среды. Требуемая информация иногда не наблюдается (не регистрируется), или не доводится до ЛПР, или не используется, или просто игнорируется. ЛПР не всегда точно знает, как правильно и когда использовать текущую, прогностическую и климатическую (фоновую) информации. Отсутствуют правовые нормы ответственности ЛПР за неиспользование информации или непринятие мер по предотвращению ущерба. Не разработаны типовые схемы использования информационной продукции, подготавливаемой Росгидрометом для поддержки решений.

Всемирная метеорологическая организация одним из главных принципов развития обслуживания прогнозами опасных явлений с учетом воздействий и предупреждениями о них предлагает прогноз воздействий [1].

Работы по автоматизации поддержки решений начались еще в 90-х годах прошлого века [2–5]. Но из-за отсутствия доступа к данным, поступающим по каналам Глобальной сети телесвязи (ГСТ), собранных и формализованных сведений о воздействиях и рекомендациях, организовать их использование было достаточно трудно.

Существующие технологии информационного обслуживания с использованием персональных компьютеров требуют от

пользователей проявления инициативы по доступу к гидрометеорологической информации. Большинство пользователей не могут себе позволить из-за дефицита времени постоянно сидеть у компьютера и анализировать сложившуюся гидрометеорологическую обстановку. Процесс анализа обстановки – выявление ОЯ на основе гидрометеорологических данных – можно произвести с помощью средств Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [6]. Одной из задач ЕСИМО является упрощение работы с веб-порталом путем предоставления автоматизированных рабочих мест (АРМ), которые создаются без программирования и позволяют быстро подключить существующие сервисы и ресурсы, необходимые пользователю на постоянной основе.

В последние годы резко увеличилась широта использования мобильных интернет-средств для доведения информации о гидрометеорологических условиях, включая опасные явления, и обеспечения безопасности населения.

Выполняя решение Коллегии Росгидромета № 16/2 от 13 ноября 2013 г., в котором указано о «расширении работ по созданию общедоступных интернет-ресурсов для мобильных устройств и планшетов», разработчики сайта Росгидромета поместили нативное приложение, позволяющее получить данные о погоде на мобильных устройствах (<http://www.meteorf.ru/product/Mobile/>). Компания «СИНОП» объявила о выводе на рынок первой российской автоматизированной информационной системы метеорологического мониторинга и прогноза погоды для бизнеса (<http://www.pcweek.ru/idea/news-company/detail.php?ID=173024>). Система автоматически в соответствии с индивидуальными настройками направляет пользователю предупреждения об опасных погодных явлениях, в том числе на мобильные устройства. В МЧС России разработано приложение для смартфонов «Мобильный спасатель», с помощью которого можно получить информацию о возможных воздействиях и рекомендации для принятия решений. Компания «ВымпелКом» разработала средство «Умное оповещение», позволяющее отправлять SMS-уведомление о чрезвычайной ситуации (ЧС) не только тем людям, которые в момент ЧС реально находятся в ее зоне, но и предупреждать тех, кто намерен прибыть в данную зону. В отличие от ранее созданных систем «точно-го» SMS-информирования абонентов, это решение позволяет

отслеживать количество граждан, уже находящихся в зоне ЧС (например, рыбаки на льду во время зимней рыбалки) [<http://www.cnews.ru/news/line/index.shtml?2014/05/22/572960>]. Программный продукт «БАРС: Ситуационный центр» позволяет прогнозировать возникновение ЧС, оперативно реагировать на происшествия и принимать управленческие решения в режиме реального времени. Для повышения эффективности и удобства работы с системой разработано мобильное приложение, которое позволяет фиксировать ЧС и оперативно направлять фото-, видео- и аудиоинформацию в диспетчерскую, а также использовать накопленную «базу знаний» по объектам, инфраструктуре и статистике для работы на месте ЧС при проведении превентивных мероприятий. Министерство внутренних дел Японии планирует в 2016 г. применять аналитику больших данных для того, чтобы своевременно предоставлять информацию об эвакуации во время катастроф. Во время крупных катастроф (цунами и землетрясения) спасатели в ходе эвакуации будут использовать геолокационную информацию со смартфонов и других мобильных устройств. Распространять информацию правительство будет как через традиционные каналы оповещения (радио и ТВ), так и через Интернет, мобильные сети.

Анализ рассмотренных подходов позволяет сделать следующие выводы. Мобильные приложения развиваются в сторону упрощения действий. В мобильных решениях уделяется больше внимания пользовательскому интерфейсу и удобству его использования, чем в настольных системах. Еще не выстроилась единая схема использования мобильных интернет-средств. Нет комплексности решений по источникам данных, а также выполняемым функциям. То есть фактически ведутся первые экспериментальные работы. Наиболее эффективное применение мобильных устройств можно ожидать при их использовании руководителями органов государственной власти, руководителями предприятий, населением. Разработчики систем должны избавлять пользователя от лишней информации.

Для повышения эффективности использования гидрометеорологической информации необходимо развивать такие сервисы, как интерактивные карты; комплексные представления в виде карт, таблиц и графиков; доступ к метаданным, данным и документам; аналитические панели, визуализирующие заранее подготовленные показатели; регламентные электронные отчеты

(бюллетени, ежемесячники, ежегодники); экспресс-отчеты, метеомонитор обстановки, позволяющий в наглядном и компактном виде визуализировать данные (рис. 1).



Рис. 1. Схема развития информационного обслуживания на основе интегрированных данных

Для уменьшения времени реакции пользователя на сложившуюся гидрометеорологическую обстановку требуется автоматическая инициализация программного средства на интернет-устройстве пользователя. Руководителям нужны сообщения с предупреждением о превышении критических значений параметров, информация о вероятности явления (риске), а также информация о возможных убытках, сведения о возможных опасных воздействиях, рекомендации для принятия решений.

1. Как это должно работать

Особенностями задач учета состояния природной среды являются:

- разнообразие способов возможного использования данных;
- одинаковые условия среды повторяются очень редко, это приводит к тому, что знания, приобретенные ЛПР в процессе своей деятельности, через некоторое время утрачиваются;
- входные данные характеризуются большим объемом, нуждаются в прикладной обработке и не обладают свойствами абсолютной полноты, достоверности и своевременности;
- возможный ущерб от плохого учета гидрометеорологических условий достаточно велик, а следовательно и велика цена ошибки от неправильного использования информации;

- число возможных ситуаций огромно, а число правил конечно. ЛПР необходимы:
- сообщения с предупреждением о превышении критических значений для конкретного объекта и даже технологического процесса с учетом сезона и климатической зоны;
- информация о риске (вероятности явления и вероятности ущерба от него);
- сведения об опасных воздействиях (последствиях), которые сейчас находятся в различных публикациях [7–11];
- информация о возможных убытках;
- рекомендации для принятия решений;
- стоимость превентивных мероприятий.

ЛПР не по своей инициативе должен заходить на интернет-ресурс, а система сама должна автоматически доводить ему информацию о сложившихся условиях, особенно об ОЯ. При этом необходимо повысить скорость доведения такой информации. Например, при управлении воздушным движением опоздание с доведением сведений об ОЯ на 20 мин уже критично.

Для повышения полноты сообщений об ОЯ необходимо использовать различные источники таких сведений. Это штормовые предупреждения, сообщения, SIGMET, WAREP, а также выявленные автоматическим способом в базах исходных данных телеграмм (СИНОП, ШИП, МОРЕ, ГИДРА, БУЙ и др.) критические значения параметров гидрометеорологической обстановки. При этом повышается своевременность выявления ОЯ, т.к. если штормовое предупреждение еще не получено, оно может быть выявлено по исходным данным. С достоверностью доставляемых штормовых предупреждений ситуация сложнее: во-первых, необходимо подключение аналитиков и экспертов для контроля информации об ОЯ перед отправкой ЛПР; во-вторых, – применять современные методы контроля данных, поступающих по каналам ГСТ.

Развитие новых форм информационного обслуживания позволит увеличить оперативность доведения информации до всех ЛПР и населения, информативность ЛПР (по любому району проявления ОЯ, в любой момент, на любое интернет-устройство сведений об ОЯ) для быстрого ознакомления со сложившейся обстановкой, что обеспечивается:

- индикацией показателей среды на основе мониторинга обстановки в виде светофора;

- объединением на одной карте наблюдаемых, аналитических, прогностических и климатических данных;
- автоматически пополняющимися графиками изменения показателей во времени;
- предоставлением сведений о воздействиях и рекомендаций для поддержки решений;
- оценкой возможного ущерба и стоимости превентивных мероприятий;
- отображением при помощи общепризнанных стандартизованных иконок приборов на Мониторе обстановки.

2. Примеры реализации перспективных сервисов

Программа Метеоагент предназначена для автоматического информирования ЛПР о критических значениях показателей гидрометеорологической обстановки (рис. 2). Задачами Метеоагента являются:

- усвоение имеющихся штормовых предупреждений;
- выявление ОЯ на основе наблюдаемых, аналитических и прогностических данных;
- передача сообщения в программу Метеоагент, работающую на компьютере ЛПР (персональный компьютер, смартфон, iPad);
- создание средств перехода на аналитические представления и картографические сервисы для более детального ознакомления с обстановкой вокруг объекта ЛПР.

ЛПР уделяет внимание обстановке только тогда, когда объект находится в опасности. Метеоагент уведомляет пользователей об

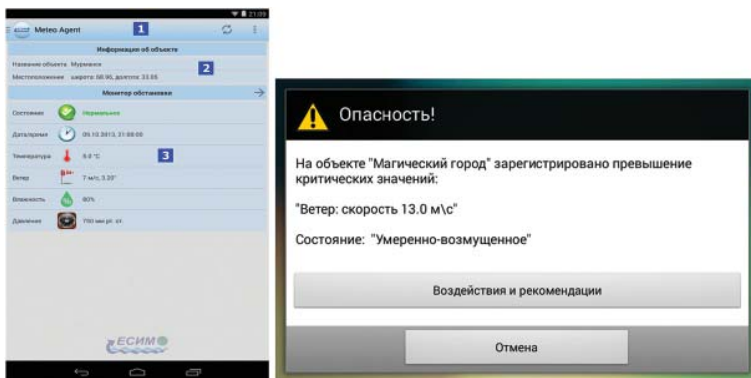


Рис. 2. Экранные формы для Метеоагента:
1 – обновление данных, 2 – название объекта, 3 – параметры гидрометеорологической обстановки

ОЯ; дает ЛПР дополнительную информацию о гидрометеорологической обстановке; предоставляет сведения о воздействиях ОЯ и рекомендации для принятия решений; пересылает выбранные рекомендации по SMS или E-mail доверенному лицу.

Программа Метеомонитор (рис. 3 а) предназначена для компактного представления гидрометеорологической обстановки на смартфоне в точке или для района. На Метеомониторе отражаются основные параметры гидрометеорологической обстановки, которые задал руководитель предприятия, в виде иконок гидрометеорологических приборов (термометр, anerоид, гигрометр и др.) с индикацией уровня опасности значений параметров в виде зеленого, желтого, оранжевого и красного цветов.

Системы поддержки принятия решений (рис. 3 б). Зная условия среды, можно заранее определить перечень возможных воздействий среды на объекты экономики; зная воздействия, можно заранее определить рекомендации для принятия превентивных мер на различных уровнях управления. Для создания СППР необходимо:

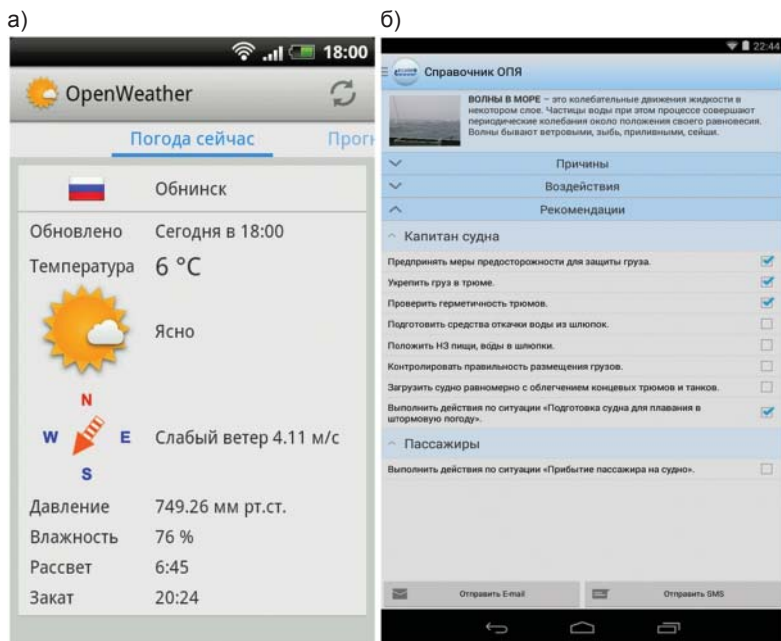


Рис. 3. Экраны Метеомонитора (а) и поддержки решений (б)

- собрать и формализовать информацию о возможных воздействиях и рекомендациях;
- развить БД пороговых значений параметров среды для отдельных объектов экономики и технологических процессов;
- разработать средства выделения ситуаций по индикаторам состояния для различных объектов экономики;
- создать экономико-математические модели для оценки воздействий и возможного ущерба, уточнения затрат на превентивные мероприятия.

База знаний – это свод правил, записанных в формализованном виде: **if ..., than ..., else ...** Примеры правил представлены ниже.

Rule 1. If: Температура воздуха ниже -30°C . Than: для объекта НАСЕЛЕНИЕ Выдать список опасностей: Возможно обморожение. Список рекомендации: Школьникам отменить занятия.

Rule 2. If: Уровень воды в районе Горного университета в Санкт-Петербурге больше 150 см. Than: для объектов ЖКХ Выдать список опасностей: Возможно заливание подвалов в зданиях на набережных р. Невы. Список рекомендаций: Перенести из подвалов материальные ценности на второй и третий этажи.

Rule 3. If: Высота волны $>5\text{ m}$. Than: для объекта СУДНО Выдать список опасностей: Возможен риск для небольших судов. Список рекомендаций: Всем судам уйти в небольшие бухты, заливы, порты.

3. Принципиально новые задачи, которые можно решать с помощью мобильных средств

Можно предложить несколько задач использования мобильных средств с применением гидрометеорологической информации:

- автоматическая доставка гидрометеорологической информации на мобильные устройства руководителям предприятий;
- автоматическое доведение наблюдаемой и прогностической информации об ОЯ до водителей автотранспорта;
- автоматическое информирование администраций субъектов РФ и органов муниципального управления об ОЯ;
- автоматическое оповещение населения о грозящем ОЯ и выдача информации о возможных воздействиях и рекомендаций для проведения превентивных мероприятий.

Мобильная работа руководителей различного ранга. Задача предназначена для обеспечения безопасности населения и промышленных предприятий. Основными требованиями являются:

- гидрометеорологическая информация должна быть доступна на мобильных интернет-устройствах;
- руководители предприятий смогут получать оперативный доступ к текущей, прогностической и климатической информации, иметь возможность оценить опасность явлений, быстро принять управленческие решения на основе этих данных;
- необходимые данные в системе будут автоматически обновляться, подгружаясь из интегрированной системы;
- после получения данных система должна работать и при отсутствии Интернета;
- при работе с системой руководитель определяет тип объекта, технологический процесс, район интересов или фиксированную точку, для которой нужна гидрометеорологическая информация;
- по каждому району или точке будут доступны значения показателей, которые руководитель определил как опасные для его объекта, представленные в виде наблюдаемых и прогностических показателей.

За счет применения мобильных средств значительно улучшится информационно-аналитическая поддержка руководителей.

Информирование администраций субъектов РФ и органов муниципального управления. Задача предназначена для автоматического доведения значений показателей, превысивших критические значения, которые руководитель определил как опасные, представленные в виде наблюдаемых и прогностических значений для субъектов Российской Федерации или муниципального населенного пункта. После получения сведений об опасном явлении руководители администраций смогут без посредников принять решение о проведении превентивных мероприятий.

Водители автотранспорта. До 30 % аварий происходит при неблагоприятных погодных явлениях. Задача предназначена для доведения наблюдаемой и прогностической информации об ОЯ до водителей, находящихся на автомобильных трассах. При этом производится:

- обработка наблюдаемых и прогностических данных по параметрам (температура воздуха, температура подстилающей

поверхности, скорость и направление ветра, осадки, давление, влажность) и выделение районов с критическими значениями параметров вдоль автодорог;

- автоматическая инициализация программы-агента на мобильном интернет-устройстве водителя при получении информации об ОЯ;

- индикация значений параметра в виде уровня опасности явления «светофора» на мониторе гидрометеорологической обстановки;

- выдача сведений о воздействиях и последствиях, которые могут произойти, если водитель не выполнит рекомендации для принятия решения при различных уровнях опасности ОЯ;

Водитель может более подробно ознакомиться со сложившейся гидрометеорологической обстановкой на интерактивной карте.

Население. Задача предназначена для обеспечения безопасности людей, находящихся в районах, подверженных ОЯ. Для этого необходимо организовать подписку на обслуживание и автоматически доводить на каждый телефон информацию об ОЯ. В случае нахождения владельца мобильного интернет-устройства в зоне ОЯ на его устройстве автоматически срабатывает программа-агент, которая показывает владельцу не только информацию об ОЯ, но и какому риску он подвергается (что может произойти) и что надо делать, чтобы спасти свою жизнь и имущество.

4. Заключение

Разработан демонстрационный вариант программы-агента для мобильного интернет-устройства в операционной системе Андроид. Созданный прототип системы – программа Метеоагент – позволяет автоматически информировать руководителя об ОЯ. Прототипы усваивают имеющиеся штормовые сообщения и предупреждения с использованием Web-сервиса, а также выявленные опасные ситуации на основе критических значений в наблюдаемых, аналитических и прогностических данных; визуализирует сведения об опасном природном явлении; дает возможность перейти на аналитические представления и картографические сервисы ЕСИМО для более детального ознакомления с гидрометеорологической обстановкой. Кроме того, приложение Метеоагент предоставит сведения о воздействиях опасных явлений на объект и рекомендации для принятия решений. С помощью этого приложения можно

переслать выбранные рекомендации по SMS или электронной почте доверенному лицу для выполнения превентивных мероприятий.

Таким образом, руководитель будет уделять внимание гидрометеорологической обстановке только тогда, когда объект находится в опасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Руководящие принципы ВМО обслуживания прогнозами опасных явлений с учетом воздействий и предупреждениями о них* // ВМО. Комиссия по основным системам. Внеочередная сессия. Асунсьон, Парагвай, 8–12 сентября 2014 г. Дополнение к проекту резолюции 2.1 (1)/1. 27 с.
2. *Вязилов Е.Д., Башлыков А.А. Кислов Г.И.* Система поддержки принятия решений для выдачи рекомендаций в случае стихийных гидрометеорологических явлений // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1991. Вып. 7. С. 16–34.
3. *Вязилов Е.Д., Бритков В.Б., Башлыков А.А.* Создание систем поддержки принятия решений в гидрометеорологии // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1996. Вып. 160, С. 124–135.
4. *Геловани В.А., Бритков В.Б. Башлыков А.А., Вязилов Е.Д.* Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. М.: ИСА РАН, УРСС. 2001. 304 с.
5. *Вязилов Е.Д.* Development of knowledge bases for decision support at economic entities using environmental information. International Conference 50 Years of Education and Awareness Raising for Shaping the Future of the Oceans and Coasts. 27–30 April 2010, St.-Petersburg, Russian Federation. RSHU. P. 107–111.
6. *Михайлов Н.Н., Вязилов Е.Д., Воронцов А.А., Белов С.В.* Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане и ее применение для информационной поддержки морской деятельности Российской Федерации. Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2014. Вып.177. С. 95–118.
7. *Оценка макроэкономических последствий изменений климата Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу* / В.М. Катцов, Н.В. Кобышева, В.П. Мелешко и др.; под ред. д.ф.-м.н. В.М. Катцова, д.э.н., проф. Б.Н. Порфирьева; Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М.: Д'АРТ. Главная геофизическая обсерватория. 2011. 252 с.
8. *Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций*/ Под ред. С.К. Шойгу. М.: Феория, ВНИИГОЧС. 2011 (CD-ROM).
9. *Управление рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата: резюме для политиков. Специальный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата. ВМО, ЮНЕП. Доклад Рабочих групп I и II МГЭИК.* 2012. 32 с.
10. *Хандожко Л.А.* Экономическая метеорология. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 490 с.
11. *Хомяков П.М. и др.* Влияние глобальных изменений климата на функционирование экономики и здоровье населения России. М.: «Ленанд», 2005. 424 с.

УДК 551.501.81

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЛОЩАДОК ЗАСЕВА ГРАДОВЫХ ОБЛАКОВ ДЛЯ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

М. В. Жарашуев

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик,
mgk777@mail.ru

Введение

В связи с тем, что градобития наносят большой урон народному хозяйству, еще в СССР с 1956 г. под руководством профессора Г. К. Сулаквелидзе начались вести интенсивные исследования в области изучения механизмов образования осадков, изучались процессы кристаллизации переохлажденных облаков, обосновывались методы внесения реагентов, проводились радиолокационные исследования облачности. В результате многолетних исследований было предложено несколько физических концепций активного воздействия на градовые процессы [2]:

1. **Полная кристаллизация** переохлажденной части облака.
2. **Теория конкуренции**, предусматривающая увеличение концентрации зародышей града с целью замедления роста града за счет конкуренции за жидкокапельную влагу (Сулаквелидзе, 1963).
3. **Укрупнение капель с последующим их замораживанием** с целью создания большой концентрации конкурирующих зародышей града (Бартишвили, Ломинадзе и др., 1964).
4. **Понижение траектории градин** с целью ухудшения условий для их роста (Browning and Foote, 1977).
5. **Динамическое воздействие** с целью подавления восходящего потока (Вульфсон и Левин, 1967; Серегин, 1981).
6. **Ускорение осадкообразования** из областей будущего градообразования (Абшаев, 1966).

На сегодняшний день физической основой современной российской технологии противогорадовой защиты является концепция ускорения осадкообразования из областей будущего градообразования [2].

Эта концепция предусматривает стимулирование более раннего и быстрого осадкообразования в областях будущего

градообразования, чем при естественном ходе процесса, так как сокращение времени формирования осадков нарушает баланс скоростей, необходимый для поддержания зародышей града в зоне роста. Это достигается путем создания в областях нового роста начальной концентрации льдообразующих частиц $10^{10} - 10^{11} \text{ м}^{-3}$, приводящей к высокой концентрации ледяных кристаллов, их агрегации, обзёрнению за счет захвата облачных капель и образованию снежной крупы через 6–8 минут после засева. Преждевременное выпадение этой крупы в областях слабых восходящих потоков может оказать серьезное микрофизическое и динамическое воздействие на облако, включая вымывание облачной воды, ослабление слабых восходящих потоков и их выхолаживание при таянии крупы ниже изотермы 0°C .

На сегодняшний день существует множество автоматизированных систем, ведущих наблюдения за метеорологическими процессами. Но все же до сих пор воздействие на градовые процессы осуществляется в полуавтоматическом режиме [3]. Главной проблемой, стоящей перед разработчиками программного обеспечения, является отсутствие возможности автоматического определения и выделения области засева. На основе метода автоматической идентификации конвективных ячеек [2] и физической концепции воздействия на градовые процессы мною была разработана методика автоматического выделения и измерения параметров непосредственно области воздействия. Данная концепция позволит в дальнейшем не только существенно продвинуться на пути к полной автоматизации воздействия на градовые процессы, но и существенно подкорректировать существующую методику оценки эффективности воздействия.

Оборудование, программа и методика проведения исследований

Исследования проводились на метеорологическом радиолокаторе МРЛ-5, работающем на длине волны 10,15 см с несущей частотой $2950 \pm 15 \text{ МГц}$, расположенном в пригороде Ставрополя (45,11 с.ш., 42,106 в.д., высота над уровнем моря 453 м). При работе радиолокатора применялось программное обеспечение АСУ-МРЛ [6], которое формирует объемный файл обзора с шагом по азимуту 1 градус, по углу места 0,52 км и 18 углам места. Основное количество исследуемых случаев активного воздействия на градовые

процессы фиксировались системой АСУ-МРЛ. Под объемным файлом обзора понимаются первичные данные, полученные в результате сканирования локатором пространства с определенным шагом по азимуту, углу места и дальности. В различных автоматизированных системах используются различные шаг сканирования, алгоритмы и методики расчета радиолокационной отражаемости, которые учитывают поправки на ослабление сигнала, кривизну земли, потерю сигнала в волновом тракте локатора и т.д. [6]. Каждая автоматизированная радиолокационная система имеет собственный формат первичных данных, которые не воспринимаются другими системами без конвертера. Как следствие, каждая автоматизированная система использует собственный алгоритм обработки и визуализации радиолокационной информации, предлагая пользователю определенный стандартный набор карт и опций. Пользователь не имеет доступа к первичным данным, а пользуется переработанной информацией, при этом не обладая возможностью вводить изменения в алгоритмы расчета или формировать новые карты. Главным инструментом исследования в данной работе является новый программный комплекс АСУ-ГРАД, представляющий собой мощный инструмент исследования макро- и микроструктуры облаков. Данный комплекс осуществляет считывание и обработку данных различных автоматизированных систем, таких как АСУ-МРЛ, АСУ-Антиград, Мерком. Целью создания данной системы являются экспериментальные исследования метеообъектов, внедрение новых, нестандартных методик и технологий в противоградовых системах и сравнение данных с различных автоматизированных систем. Для этого мною разработаны конвертеры форматов объемных (первичных) файлов обзора от систем АСУ-МРЛ, АСУ-Антиград и Мерком и реализована методика автоматической идентификации конвективных ячеек [4]. На рис. 1 представлена карта максимальной отражаемости в системе АСУ-ГРАД с выделенными на ней красным цветом и пронумерованными областями зарождения града.

Любая карта представляет собой отображение земной поверхности в радиусе 208 км от места расположения локатора с нанесенными на нее населенными пунктами с указанием радиусов полета ракет из пунктов воздействия (красные окружности, рис. 1), границ районов и т.д., на которую нанесены различные параметры, полученные в результате обработки объемного файла обзора [1], в частности максимальная отражаемость.

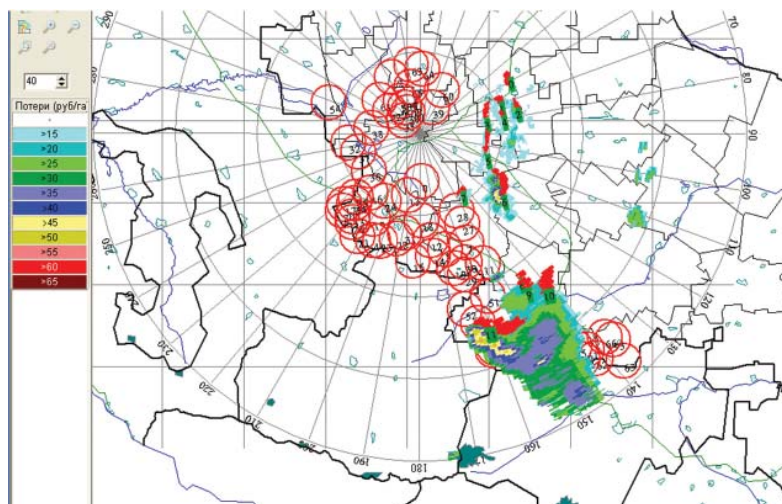


Рис.1. Карта максимальной отражаемости

Задача распознавания области засева, по существу, является задачей распознавания образов и анализа сцен. Учитывая сложность этой задачи, идентификацию площадки засева в облачной системе предлагается осуществлять по следующему алгоритму [4]:

- считывание данных с МРЛ;
- получение 40 матриц 800×800 значений, соответствующих горизонтальным сечениям с шагом 0,5 км;
- расчет матрицы 800×800 значений, соответствующей высотам максимальной отражаемости в столбе;
- выделение в поле значений максимальной отражаемости радиоэха точек, ограничивающих замкнутые изолинии высот максимальной радиолокационной отражаемости;
- упорядочение полученных точек, т. е. получение составных частей облаков;
- объединение составных частей в единые поля замкнутых изолиний H ;
- определение категории объекта воздействия [2];
- фильтрация конвективных ячеек, не подлежащих воздействию;
- идентификация областей воздействия, их нумерация в пространстве и в хронологическом порядке зарождения.

Физическая основа методики выделения области засева

Как показывает практика, по ходу перемещения градового облака на более низкой высоте, чем само градовое облако, сосредоточены так называемые фидерные облака, имеющие достаточно высокий водозапас [5], которые, подпадая в восходящие потоки движущегося градового облака, затягиваются в верхнюю его часть, где формируется град, и постоянно подпитывают его. Вследствие такой подпитки градовое облако начинает быстро расти в размерах.

Согласно концепции ускорения осадкообразования [2], являющейся физической основой современной российской технологии воздействия на градовые процессы, необходимо стимулирование более раннего и быстрого осадкообразования в областях будущего градообразования, чем при естественном ходе процесса. Сокращение времени формирования осадков нарушает баланс скоростей, необходимый для поддержания зародышей града в зоне роста. Зоной формирования условий для зарождения града является переохлажденная часть области нового роста, где происходит формирование условий для зарождения града (преимущественно конденсационный и зарождающийся коагуляционный рост облачных частиц). Она расположена в фидерных облаках несимметричных градовых ячеек и во вновь развивающихся конвективных ячейках одноячейковых процессов в интервале температур $-5 \div -20$ °C и имеет отражаемость $Z_{10} < 15$ dBZ. Однако мои исследования показывают, что в зоне формирования отражаемости достигают 20 dBZ.

Стадия формирования условий для зарождения града, на которые направлено воздействие с целью нарушения баланса скоростей, необходимых для поддержания зародышей града в зоне роста, является длительной (20–30 мин) [2]. При этом сила восходящего потока фидерных облаков зависит от силы главного восходящего потока, так как является его составной частью. Логично было бы предположить, что максимальная отражаемость в столбе зоны формирования естественных зародышей будет стремиться к увеличению по мере роста частиц. В результате, чем длиннее путь частицы до слияния с главной конвективной ячейкой, тем больше она произвела столкновений. В исследованиях менялись пороговые значения высот и пороговые значения отражаемостей.

При значениях высот 5–6 км и отражаемости менее 20 dBz наблюдалось 87 %-ное совпадение с месторасположением площадок, выделенных в ручном режиме. При этом в подавляющем большинстве случаев площадь, выделенная в автоматическом режиме, превышала площадь, выделенную в ручном режиме, не более чем на 30 %.

Сравнительный анализ ручного и автоматического выделения области засева

Используя метод автоматической идентификации [4], было проанализировано 173 случая воздействия на градовые процессы, развивавшиеся на территории Ставропольского края. В 141 случае область автоматически выделенных конвективных ячеек более чем на 80 % соответствовала выделенным в ручном режиме. При этом эффективность воздействия Ставропольской ВС в периоды, из которых выбирались исследуемые случаи воздействия, а именно с 2007 по 2011 г., не опускалась ниже 95 %. Анализ этих процессов позволил выявить оптимальную формулу для автоматического выделения области засева. Область засева можно считать оптимальной при высоте максимальной отражаемости в столбе выше 5–6 км. В целом данная методика показала, что в подавляющем большинстве случаев наблюдается почти полное сходство результатов (рис. 2).

На данном рисунке слева приводится картинка автоматического выделения красными полосами области воздействия, а справа – реально проведенное воздействие за тот же цикл обзора в ручном режиме Ставропольской ВС.

Также бывают случаи, когда данные ручного выделения области воздействия (рис. 3а справа) существенно отличаются от данных автоматического выделения (рис. 3а слева). В большинстве случаев расхождение являлось следствием ошибочного выделения области воздействия именно в ручном режиме. Как показано на рис. 3а, область засева захватила и левую часть верхнего облака. На рис. 3б, в видно, что зона навеса радиозах находится не слева, а между облаками, что и распознал автоматический метод. Ввиду того, что облако находилось на выходе защищаемой зоны, то воздействующим не оставалось ничего, кроме обстрела, насколько это возможно для зоны, близкой к реальной зоне воздействия.

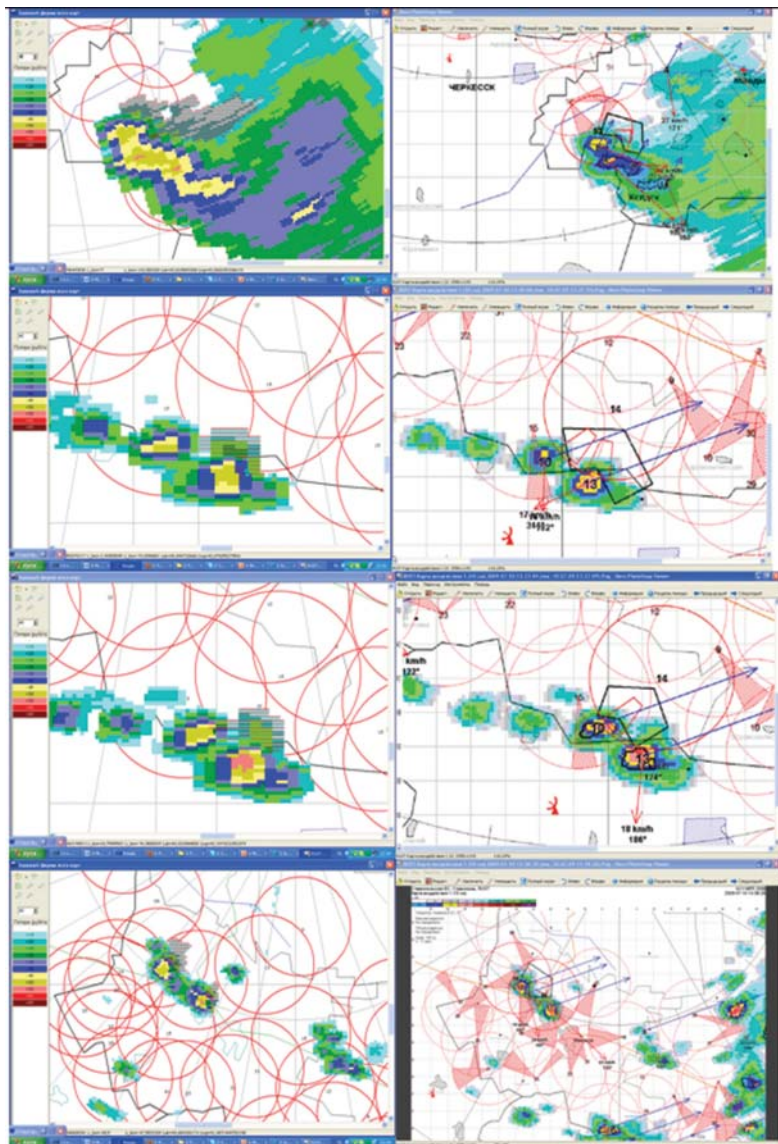
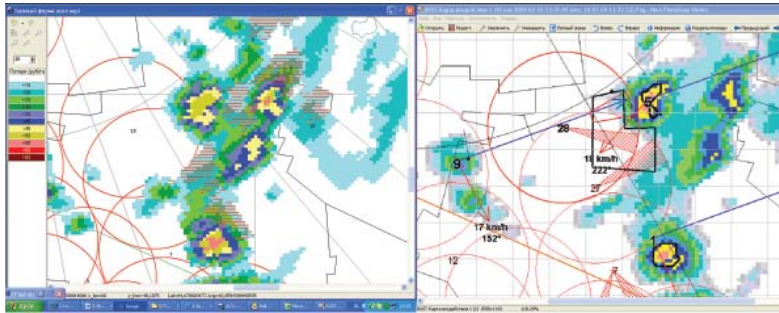
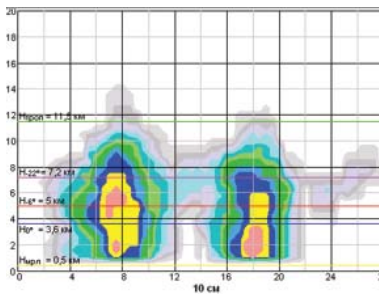


Рис. 2. Автоматически выделенные области засева (слева);
ручное реальное воздействие на эти же ячейки (справа)

а)



б)



в)

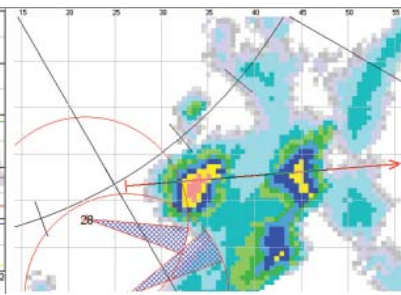


Рис. 3. Реальное воздействие (а, справа), автоматическое выделение (а, слева), вертикальный разрез по высоте (б), вертикальный разрез на плоскости (в)

Выводы

С использованием радиолокационной информации на основе метода автоматической идентификации конвективных ячеек был разработан новый метод обнаружения и распознавания фидерных облаков, которые являются объектами воздействия. В основе метода лежит карта высот максимальной отражаемости и рассчитанные на ее основе параметры. Выведено оптимальное значение определения площадки засева для Ставропольского края (высота максимальной отражаемости более 5 км при отражаемости менее 20 dBz). Данная методика применима для корректировки существующей оценки физической эффективности и автоматизации воздействия на градовые процессы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абшаев М. Т.* Автоматизированные противорадовые комплексы // Труды конф. стран СНГ. Т. 5. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. С. 15–18.
2. *Абшаев М. Т.* Основные положения автоматизированной технологии противорадовой защиты и перспективы ее развития // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 14–26.
3. *Абшаев М. Т.* Радиолокационное обнаружение града // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1982. Т. 18, № 5. С. 483–494.
4. *Абшаев М. Т., Абшаев А. М., Малкарова А. М., Жарашуев М. В.* Автоматизированная радиолокационная идентификация, измерение параметров и классификация конвективных ячеек для целей защиты от града и штормоповещения // Метеорология и гидрология. 2010. № 3. С. 36–45.
5. *Синькевич А. А., Краус Т. В., Гхулам А. С., Куров А. Б.* Исследование характеристик кучево-дождевых облаков большой мощности после воздействия с целью увеличения осадков // Метеорология и гидрология. 2013. № 9. С. 5–20.
6. *Тебуев А. Д.* Автоматизированная система обработки радиолокационной информации и управления активным воздействием на радарные процессы / Автореф. дис. на соиск. степени канд. физ.-мат. наук: 25.00.30. Нальчик, 2003. 124 с.

УДК 551.501.7

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО «АЭРОЛОГИЯ-ПРОФИЛЬ» ДЛЯ ВЫБОРКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ИЗ БАНКА ДАННЫХ «АЭРОЛОГИЯ»

А. В. Никишин

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
alexey1944@yandex.ru*

Постановка задачи

В настоящее время в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» поступает большое количество запросов на аэрологическую информацию. Запросы требуют обработки глобальных массивов аэрологических данных, что в свою очередь зачастую требует анализа данных за отдельные сроки сравнения срочных данных с данными из других массивов или с аэроклиматическими данными. Сравнение срочных данных с другими массивами или со статистическими характеристиками позволяет принять решение об ошибочности или истинности значения метеоэлемента в сомнительных случаях. Поиск данных за определенный срок приходилось осуществлять вручную. С учетом большого объема исторических аэрологических массивов это является трудоемким и длительным процессом.

Базовым массивом аэрологической информации в Госфонде является массив Аэростас [1–3]. Кроме него в фонде имеется массив CARDS [4]. В открытом доступе находится массив аэрологических данных IGRA [5]. Для возможности сравнения с аэроклиматическими величинами в рабочем массиве имеются статистики метеоэлементов по ряду станций Северного полушария.

Для возможности быстрого представления данных за отдельные сроки и сравнения данных из разных массивов было разработано программное средство «Аэрология-профиль», которое позволяет автоматизировать процесс поиска, выборки, обработки и визуализации аэрологических данных из разных массивов и из файлов со статистическими характеристиками. Для представления данных из массива IGRA соответствующие файлы должны быть размещены на жестком диске. Следует также отметить, что во всех массивах значения метеоэлементов сопровождаются признаками качества.

Функционал программы

Программное средство «Аэрология-профиль» выполняет следующие функции:

- поиск файлов с данными массивов CARDS, Аэростас и IGRA, а также с массивом статистик в указанной пользователем директории;
- выборку данных по заданным пользователем индексу станций и дате или по заданным координатам широт и долгот в случае, если пользователь не знает конкретный индекс станции;
- обработку найденных аэрологических и статистических данных;
- чтение данных и их преобразование из формата массивов в формат, пригодный для дальнейшей обработки;
- автоматическое выполнение расчета необходимых метеорологических данных;
- табличное представление преобразованных и рассчитанных данных как по отдельному массиву CARDS, Аэростас и IGRA, так и совместное представление данных Аэростас и IGRA.
- сохранение таблицы в текстовом файле;
- графическое представление табличных данных как по отдельному массиву CARDS, Аэростас и IGRA, так и совместное представление данных Аэростас и IGRA (происходит путем наложения графиков один на другой);
- сохранение построенных графиков.

На рисунке показан пример графического представления вертикальных профилей метеоэлементов из массива CARDS. В нижней части рисунка показан срок и индекс станции. В верхней части рисунка показано, что обозначают различные цвета квадратов. Цветом квадратов обозначено, является ли данное значение измеренным или расчетным и является ли оно правильным.

Заключение

Разработанный программный продукт дает возможность работать с несколькими источниками данных, рассчитывать дополнительные параметры и сохранять данные в табличном и графическом виде.

Важной особенностью является то, что программа имеет пользовательский интерфейс, что позволяет устанавливать ее для использования в разных подразделениях института, работающих с аэрологическими данными.

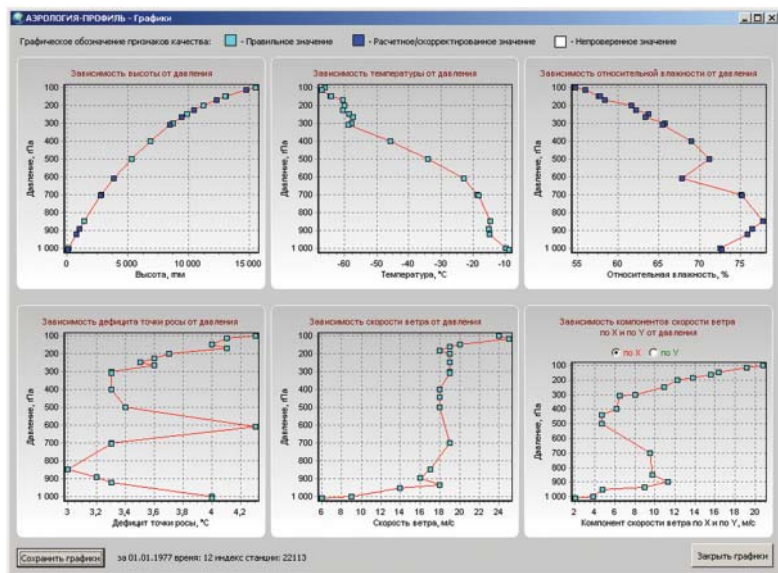


Рис. Вертикальные профили метеозлементов за срок 01.01.1977 (время 12) по станции 22113 (массив CARDS). Метеозлементы обозначены на панелях.

Программа «Аэрология-профиль» зарегистрирована в Роспатенте [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казначеева В.Д., Коротков А.П., Нагорная Т.С., Руденкова Т.В. Организация информационной базы данных аэрологических наблюдений (ГМБД «АЭРОЛОГИЯ») // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 1980. Вып. 81. С. 3–42.
2. Казначеева В.Д., Руденкова Т.В. Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 1985. Вып. 115. С. 91–108.
3. Руденкова Т.В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
4. CARDS National Climatic Data Center. www1.ncdc.noaa.gov/pub/data.
5. IGRA [ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/igra](http://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/igra).
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617088 «Аэрология-профиль».

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 179

Подписано к печати 23.06.2015 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 10. Тираж 300 экз. Заказ № 14.

Отпечатано в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, ул. Королева, 6.

УДК 551.583

Оценочные доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК): исходная информация и технология оценки. Семенов С. М., Гладильщикова А. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 5–13.

В 2014 г. закончился цикл Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Доклад состоит из трех частей, содержащих основные результаты работы трех Рабочих групп МГЭИК. В основе создания этих информационных продуктов лежит определенная технология, которая вырабатывалась и совершенствовалась в течение всего существования МГЭИК – с 1988 года. Важной частью методологии МГЭИК являются обнаружение климатообусловленных изменений в состоянии объектов различной природы, а также отнесение определенной части наблюдаемого изменения на счет воздействия меняющегося климата. В последних оценочных докладах МГЭИК ясно прослеживается тенденция все более широкого использования данных спутниковых наблюдений за состоянием атмосферы и земной поверхности, а также информации о состоянии Мирового океана, получаемой с помощью автоматических датчиков.

Ключевые слова: МГЭИК, оценочный доклад, изменения климата, последствия, исходная информация, технология оценки.

Ил. 2. Библиогр. 8.

УДК 551.501.7:551.587

Базовый массив аэрологических данных «Аэростас» и его производные продукты для нужд прикладной аэроклиматологии. Хохлова А. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 14–25.

Приведена общая информация о базовом аэрологическом массиве, создаваемом в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» из аэрологических данных, поступающих с сети ГСТ, а также о прикладной аэроклиматической продукции, получаемой на основе этого массива по запросам потребителей.

Ключевые слова: аэрологические наблюдения, архивы, аэроклиматическая продукция.

Ил. 6. Табл. 2. Библиогр. 17.

УДК [551.501.724+551.501.771]:551.501.86

Архивация спутниковых данных вертикального зондирования атмосферы из сети ГСТ. Хохлова А.В., Руденкова Т.В., Агуренко А.О., Георгиева Л.А., Тимофеев А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 26–32.

Приведено описание технологии получения, обработки и архивации спутниковых данных по температурно-влажностному зондированию атмосферы, поступающих по каналам связи из Глобальной системы телесвязи. Данные поступают в кодовых формах SATEM, имеют глобальное покрытие. Приведено описание структуры массива спутниковых данных SATEM по температурно-влажностному зондированию атмосферы.

Ключевые слова: спутниковые данные, атмосфера, температурно-влажностное зондирование, архивация.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 8.

УДК 551.509.3:631.554/559

Оперативное информационно-прогностическое обеспечение потребителей агрометеорологической продукции. Клещенко А.Д., Лебедева В.М., Найдина Т.А., Гончарова Т.А., Шкляева Н.М. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 33–43.

Рассмотрены разработанные в ФГБУ «ВНИИСХМ» методы и технологии оценки условий вегетации и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с заблаговременностью от 1 до 5 месяцев, используемые в настоящее время в оперативной практике Росгидромета для обслуживания сельскохозяйственных производителей различных уровней.

Представлена информационно-прогностическая система, позволяющая автоматизировать обработку оперативной информации, расчеты оценки условий вегетации и прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур по субъектам Российской Федерации, федеральным округам, России в целом и составление информационных таблиц.

Ключевые слова: Оперативная метеорологическая информация, спутниковые данные, оценка условий вегетации, прогноз урожайности, динамико-статистический метод, синоптико-статистический метод, информационно-прогностическая система.

Ил. 9. Библиогр. 13.

УДК 551.46:002

Топологические методы обработки геопространственной информации.
Гасников О. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 44–50.

В статье представлены топологические методы описания непрерывных полей пространственных данных. Делается вывод, что использование элементов дифференциальной и алгебраической топологии позволяет осуществить единый подход к обработке геопространственной информации.

Ключевые слова: топология, геопространственная информация, функция Морса, граф Кронрода–Риба, клетка Морса–Смейла.

Ил. 6. Библиогр. 5.

УДК 551.466.3

Использование вероятностного моделирования штормов и окон погоды.
Мастрюков С. И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 51–61.

Описан подход к построению вероятностной модели временных рядов штормов и окон погоды, основанный на результатах реанализа полей ветра и волнения. Изложены результаты ретроспективного анализа операции по буксировке самоподъемной буровой установки (СПБУ) «Кольская» в декабре 2011 года с применением вероятностной модели штормов.

Ключевые слова: морские операции с ограничениями по погоде, вероятностная модель для расчета временной структуры штормов и окон погоды, планирование буксировки самоподъемной буровой установки «Кольская».

Ил. 6. Библиогр. 11.

УДК 551.46.06:681.3.06

Использование современных режимно-справочных пособий по морской природной среде для информационного обеспечения морской деятельности. Воронцов А.А., Нефедова Г.И., Баталкина С.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 62–72.

Рассмотрены вопросы технологии создания современных режимно-справочных пособий по морской природной среде, состав этих электронных изданий, схемы их использования потребителями информационной продукции для обеспечения морской деятельности.

Ключевые слова: режимно-справочные пособия, информационная технология, ГИС, обработка данных, обслуживание морской деятельности.

Ил. 3. Библиогр. 7.

УДК 551.583:551.501

О взаимодействии РАН, Росгидромета и вузовской науки в решении проблемы изменения климата и перспективах создания совместных баз данных. Зайцева Н.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 73–80.

Дана информация о работе межведомственного Совета-семинара при Президиуме РАН по проблемам Киотского протокола, в работе которого участвовали ученые РАН, Росгидромета и МГУ. Важным шагом к укреплению взаимодействия специалистов Росгидромета и РАН стало заключение Соглашения о сотрудничестве по проблемам гидрометеорологии, в частности по проблеме современного климата. Поднят вопрос о доступе специалистов РАН к базам данных Росгидромета.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, геоинжиниринг, изменение климата, климатическое моделирование, обмен данными.

Ил. 3. Библиогр. 6.

УДК 004.432.2

Python: возможности и перспективы в гидрометеорологии. Ш а б а н о в П. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 81–87.

В качестве универсального инструмента для решения самого широкого круга задач в области гидрометеорологии предлагается язык программирования python. Современные возможности python позволяют работать со всеми видами данных, проводить их анализ с использованием самого передового математического аппарата, создавать научную графику публикационного качества. Являясь мультиплатформенным, свободно распространяемым программным обеспечением python – это реальная альтернатива проприетарным продуктам в сфере научного программирования. В работе рассматриваются возможности python при работе с гидрометеорологической информацией в науке и образовании.

Ключевые слова: python, гидрометеорология, науки о Земле.

Ил. 2. Библиогр. 9.

УДК 551. 501

Комплексная автоматизированная информационно-измерительная система метеообеспечения авиации и прогноза опасных гидрометеорологических явлений КАСМЕТЕО. Т а р а б у к и н И. А., Д о р о ф е е в Е. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 88–98.

В статье рассматривается создание и развитие комплексной автоматизированной информационно-измерительной системы метеообеспечения авиации и прогноза опасных гидрометеорологических явлений КАСМЕТЕО.

Ключевые слова: метеообеспечение авиации, прогноз опасных гидрометеорологических явлений, программно-аппаратное средство.

Ил. 3. Библиогр. 3.

УДК 551.583.1: 519.254

Анализ квазипериодических колебаний в климатических рядах композитным методом. Вишерагин К.Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 99–107.

Приведены примеры применения композитного метода для сопоставления эволюции во времени амплитуды и фазы квазидесятилетних колебаний солнечной активности, общего озона, углекислого газа, а также анализа квазипериодичностей в некоторых других климатических рядах.

Ключевые слова: композитный метод, квазидесятилетние колебания, солнечная активность, общий озон, углекислый газ.

Ил. 6. Библиогр. 12.

УДК [556.166+551.577.61]:551.583 (470+571)

География распределения и генезис климатообусловленных изменений экстремальных расходов воды, опасных наводнений и маловодий на реках России. Семёнов В.А., Гниломедов Е.В., Салугашвили Р.С., Голубев В.Н., Фролов Д.М. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 108–120.

Рассматриваются пространственные и временные закономерности распределения и изменения максимальных расходов воды рек с неизменным или мало затронутым хозяйственной деятельностью гидрологическим режимом, изменений частоты опасных наводнений в половодье, паводки, при заторах льда на реках разных природно-климатических зон территории России в конце XX–начале XXI столетий. Приводится трендовая оценка изменений минимальных расходов воды рек и характеристика изменений частоты маловодий на реках в тот же период.

Ключевые слова: максимальный расход воды, наводнение, минимальный расход воды, маловодье.

Ил. 10. Библиогр. 3.

УДК 551.465.7

Об усилении экстремальности штормовой активности в Северной Атлантике по данным показателей ЕСИМО. Вязилова Н. А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 121–132.

В работе представлена оценка экстремальности циклонической и штормовой деятельности в Северной Атлантике на основе анализа показателей, рассчитываемых в рамках прикладной задачи ЕСИМО (Единой системы информации об обстановке в Мировом океане) и представляемых на портале ЕСИМО. Оценка экстремальности циклонической деятельности включает анализ повторяемости глубоких циклонов, интенсивности осадков и максимальной скорости ветра, наблюдаемых в циклонах, ежемесячный мониторинг показателей и анализ их временной изменчивости.

Ключевые слова: внутропический циклон, экстремальный шторм, штормовой ветер, мониторинг.

Ил. 8. Библиогр. 10.

УДК 551.46.06

Использование смартфонов и планшетов для экстренного информационного обеспечения пользователей об опасных явлениях. Вязилов Е. Д., Чуняев Н. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 133–143.

Рассмотрены подходы по использованию смартфонов и планшетов для экстренного информационного обеспечения пользователей об опасных явлениях. Разработан демонстрационный вариант программы-агента для мобильного интернет-устройства в операционной системе Андроид и метеомонитор для оценки гидрометеорологической обстановки. Приложение Метеоагент предоставит не только сведения об опасных явлениях, но и информацию о воздействиях опасных явлений на промышленные предприятия и рекомендации для принятия решений. Даны направления возможного использования предложенных подходов.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления, мобильные интернет-средства, метеагент, метеомонитор, поддержка решений.

Ил. 3. Библиогр. 11.

УДК 551.501.81

Автоматизация идентификации площадок засева градовых облаков для Северном Кавказа. Ж а р а ш у е в М. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 144–152.

Рассматриваются методика, алгоритмы и программы автоматизированной радиолокационной идентификации области восходящего потока конвективных ячеек в кучево-дождевых облаках, что обеспечивает возможность измерения параметров конвективных ячеек, построения графиков временного хода параметров, области, на которые проводилось активное воздействие. Исследования показали, что область в конвективной ячейке являющейся объектом воздействия от второй до четвертой категории, где наблюдается нахождение максимальной отражаемости менее 20 Dbz на высоте более 5 километров, является областью воздействия.

Ключевые слова: автоматический, радар, идентификация, град, отражаемость, алгоритм, облака.

Ил. 3. Библиогр. 6.

УДК 551.501.7

Программное средство «Аэрология-профиль» для выборки и представления аэрологических данных из банка данных «Аэрология». Н и к и ш и н А. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 153–155.

Программное средство «Аэрология-профиль» предназначено для выборки, обработки и представления данных из массивов многолетних глобальных аэрологических наблюдений, которые являются составной частью Единого фонда гидрометеорологических данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Программа выполняет поиск по заданному индексу станции и по заданному сроку, преобразует данные из формата массивов, рассчитывает дополнительные метеорологические параметры и сохраняет выбранные и рассчитанные данные в табличном виде. Предусмотрена возможность построения графиков вертикальных профилей срочных аэрологических данных, а также аэроклиматических характеристик, рассчитанных ранее.

Ключевые слова: аэрология, данные, Аэростас, IGRA, CARDS, метеорологические элементы, вертикальные профили.

Ил. 1. Библиогр. 6.

UDC 551.583

Assessment Reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): input information and assessment technologies. Semenov S. M., Гладильщикова А. А. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 5–13.

Recent cycle of the preparation of the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was completed in 2014.

The report consists of three parts containing the main results of three IPCC Working Groups. The preparation of these information products is based on a specific technology, which was developing and improving throughout the existence of the IPCC, from 1988. An important part of the IPCC methodology is detection of climate-driven changes in objects of different nature, as well as attribution of a certain amount of observed change to the impacts of changing climate. In the recent IPCC assessment reports, one can see a clear tendency towards expanding the use of satellite observations' data on the atmosphere and the earth's surface, as well as of the information about the World Ocean state obtained with automatic sensors.

Keywords: IPCC, assessment report, climate change, consequences, input information, assessment technology.

Fig. 2. Ref. 8.

UDC 551.501.7:551.587

The basic archive of aerological data Aerostas and its products for applied aeroclimatology. Khokhlova A. V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 14–25.

The general information is presented on basic aerological archive Aerostas which is created in RIHMI-WDC from radionsonde data coming from Global system of telecommunication (GST). The products obtained from the archive on users requests are discussed and demonstrated.

Keywords: radiosonde observations, archive, aeroclimatology products.

Fig. 6. Tab. 2. Ref. 17.

UDC [551.501.724+551.501.771]:551.501.86

Archiving of satellite data of vertical sounding of the atmosphere from GST. Khokhlova A.V., Rudenkova T.V., Agurenko A.O., Georgieva L.A., Timofeev A.A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 26–32.

The technology of receiving, processing and archiving of satellite data of temperature-humidity sounding of the atmosphere which come from the Global System of Telecommunication (GST) is described. The data are in SATEM code form and are of global recovering. The describing of the structure of dataset SATEM of atmosphere temperature-humidity sounding is presented.

Keywords: satellite data, the atmosphere, temperature-humidity sounding, archiving.

Fig. 1. Tab. 1. Ref. 8.

UDC 551.509.3:631.554/.559

Operational information and forecasting support of agrometeorological products users. Kleshchenko A.D., Lebedeva V.M., Naidina T.A., Goncharova T.A., Shklyayeva N.M. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 33–43.

Developed by NRIAM, methods and procedures of vegetation condition assessment and crop yield forecasting with lead time from 1 to 5 months are considered, which are used in Roshydromet operational practice at present time to service agricultural producers of different levels.

Information-prediction system, allowing to automate the operational information processing, the informational table drafting, the vegetation condition assessment and the agricultural crop yield forecasting on the subjects of the Russian Federation, on the Federal District, on the whole Russian territory, is presented.

Keywords: Operational meteorological information, satellite data, assessment of vegetation conditions, crop yield forecast, dynamic-statistical method, synoptic-statistical method, information and forecast system.

Fig. 9. Ref. 13.

UDC 551.46:002

Topological methods for processing geospatial information. Gasnikov O. A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 44–50.

The article describes the topological approach to the description of continuous fields of spatial data. It is concluded that the use of elements of differential and algebraic topology allows for a unified approach to the processing of geospatial information.

Keywords: topology, geospatial information, Morse function, Kronrod–Rib graph, Morse–Smale complexes.

Fig. 6. Ref. 5.

UDC 551.466.3

Using the probabilistic modeling time structure of storms and weather windows. Mastrjukov S. I. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 51–61.

Stated is an approach to construction of a probabilistic model of time series of storms and weather windows, based on the results of the reanalysis fields of wind and waves. Presents the results a retrospective analysis of towing operations jack-up rig (SFAS) «Kolskaya» in December 2011, using a probabilistic model of storms.

Keywords: weather restricted operations, probabilistic simulation of time series of storms and weather windows, planning towing jack-rig «Kolskaya».

Fig. 6. Ref. 11.

UDC 551.46.06:681.3.06

Using modern reference books on marine environment for information support of marine activities. Vorontsov A.A., Nefedova G.I., Bataalkina S.A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 62–72.

The problems of the technology of the modern reference books on marine environment, the structure of these electronic publications, schemes of their use by users of information products for marine activities.

Keywords: reference books, information technology, GIS, data processing, information services of marine activities.

Fig. 3. Ref. 7.

UDC 551.583:551.501

On cooperation between scientists of RAS, Roshydromet and universities for solution of the present-day climate and prospects for creation of joint data bases. Zaytseva N.A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 73–80.

The paper informs about activity of the Council-workshop under the Russian Academy of Sciences (RAS) on possible anthropogenic climate change and on the issue of Kyoto Protocol. Scientists from RAS, Roshydromet and Lomonosov Moscow University participated in discussions. Important step for strengthening the cooperation of specialists from RAS and Roshydromet was signing of Agreement on Cooperation between these two organizations for joint solution of problem in hydrometeorology, and in particular, of the present climate changes. The issue of access of the RAS scientists to the Roshydromet data bases is raised.

Keywords: anthropogenic effects, climate change, climate modeling, data exchange, geoeengineering.

Fig. 3. Ref. 6.

UDC 004.432.2

Python in hydrometeorology: state & prospects. Shabanov P. A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 81–87.

The python programming language is a universal tool for scientific computations in hydrometeorology. Python allows you to work with different data types, analyze them using the most advanced mathematical tools and produce publication-quality scientific graphics. As multi-platform, open-source software, python is a real alternative to proprietary scientific programming products. In this paper the opportunities for working with hydrometeorological information using python for science and education are presented.

Keywords: python, hydrometeorology, Earth sciences.

Fig. 2. Ref. 9.

UDC 551. 501

Complex Automated Informative-Measuring System KASMETEO for dangerous hydro meteorological weather events forecasting and aviation meteorological support. Tarabukin I. A., Dorofeev E. V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 88–98.

In this article is considered a question of creation and development of Complex Automated Informative-Measuring System KASMETEO for dangerous hydro meteorological weather events forecast and aviation meteorological support.

Keywords: aviation meteorological support, dangerous weather phenomena forecasting, firmware.

Fig. 3. Ref. 3.

UDC 551.583.1: 519.254

The analysis of quasiperiodical variations in climatic time series by composite method. Visheratin K.N. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 99–107.

Examples of application of composite method for comparison of evolution in time of amplitude and phase of quasidecadal variations of solar activity, total ozone, carbon dioxide, and some other climatic time series are presented.

Keywords: acomposite method, quasiperiodical variations, solar activity, total ozone, carbon dioxide.

Fig. 6. Ref. 12.

UDC [556.166+551.577.61]:551.583 (470+571)

Geography of distribution and genesis climatechanges of extreme water flow, dangerous flooding and low water periods on rivers of Russia. Semyonov V.A., Gniledov E.V., Salugashvili R.S., Golubev V.N., Frolov D.M. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 108–120.

We consider the spatial and temporal patterns of distribution and change the maximum water flow of rivers with no or little affected by the changed economic activity hydrological regime, changes in the frequency of dangerous flooding in flood, floods, when ice jams on rivers of different climatic zones in Russia in the late twentieth and early XXI centuries. Given the trend assessment of changes in the minimum water flow of rivers and changes the frequency characteristic low water periods in the same period.

Keywords: maximum water flow, flood, minimal water flow, low water period.

Fig. 10. Ref. 3.

UDC 551.465.7

Extreme Storms Activity Intensification in the North Atlantic based on ESIMO indicators. Viazilova N.A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 121–132.

Cyclone multiple indices, calculated during project ESIMO, are used to estimate extremes of storms activity in the North Atlantic. The indices are counts of cyclones and extreme storms, cyclone frequencies with extreme wind and extreme precipitation. The extremes estimation includes the monthly monitoring and the analyses of cyclone inter-annual variability.

Keywords: extratropical cyclone, extreme storm, wind storm, monitoring.

Fig. 8. Ref. 10.

UDC 551.46.06

Use of smartphones and Ipad for the emergency information of users about a dangerous phenomenon. Viazilov E.D., Chunyaev N.V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 133–143.

Approaches on use of smartphones and Ipad for the emergency information of users about the dangerous phenomena are considered. The demonstration version of the program-agent for the mobile Internet-device in the Android operating system and the meteomonitor is developed for an assessment of a hydrometeorological situation. The Meteoagent application provide not only the information on the dangerous phenomena, but also information on impacts of the dangerous phenomena on the industrial enterprises and recommendations for decision-making. The directions of possible use of the offered approaches are given.

Keywords: dangerous phenomenon, mobile Internet-tools, meteomonitor, support of decisions.

Fig. 3. Ref. 11.

UDC 551.501.81

Automated radar identification, field inoculation hail convective cells.

Zharashuev M. V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 144–152.

The technique, algorithms and automated radar identification of the upstream region of convective cells in the cumulonimbus cloud that provides the ability to measure the parameters of the convective cells, charting the time course of the parameters for which the area was conducted active influence. Studies have shown that, in the region of the cloud, where there is finding the maximum reflectivity at a height of more than 5 miles is an area of future hail.

Keywords: automated, radar, identification, hail, reflectivity, algorithms, cloud.

Fig. 3. Ref. 6.

UDC 551.501.7

The software tool «Aerology-profile» for sampling and reporting upper-air data from the database «Aerology». Nikishin A. V. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2015. N 179. P. 153–155.

The software tool «Aerology-profile» is intended for sampling, processing and presentation of data from arrays of long-term global upper-air observations, which are an integral part of the Unified hydrometeorological RIHMI-WDC. The program searches for the specified index station and for a given deadline, converts data from the format arrays expects additional meteorological parameters and stores selected and calculated data in tabular form. The possibility of plotting the vertical profiles of term upper-air data, as well as aeroclimatic characteristics previously calculated.

Keywords: aerology, data Aerostas, IGRA, CARDS, meteorological elements, vertical profiles.

Fig. 1. Ref. 6.