

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

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



*Под редакцией
кандидата технических наук В. С. Косых,
доктора физико-математических наук А. М. Стерина*

ОБНИНСК
2020

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

Редакционная коллегия

Главный редактор к.т.н. В. С. Косых

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, д.т.н. Е. Д. Вязилов,

к.г.н. Е. Д. Гниломедов, к.г.н. Н. Н. Коршунова, к.ф.-м.н. С. Г. Сивачок,

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

В сборнике представлены статьи, излагающие результаты исследований в области анализа климата и климатического обслуживания, информационных технологий сбора и обработки данных. Излагаются особенности проявления процессов изменения климата в последние годы. Значительное внимание уделено представлению новых и усовершенствованных массивов данных высокого качества и баз данных, которые используются для научных исследований и для решения прикладных задач. Рассматриваются различные технологии управления данными Госфонда, технологии взаимной конвертации данных, обеспечения веб-доступа к данным.

Сборник будет полезен сотрудникам Росгидромета, широкому кругу специалистов, заинтересованных в использовании гидрометеорологической и климатической информации.

This issue contains articles presenting the results of research in the field of climate analysis and climate services, information technologies for data collection and processing. The features of manifestation of climate change processes in recent years are described. Considerable attention is paid to the presentation of new and improved high quality data sets and databases that are used for scientific research and in numerous applications. Several essential technologies of data management of the State Fund of Environmental Data. Technologies of mutual data conversion, and of providing web access to data are considered.

The collection will be useful for the staff of Roshydromet, as well as for a wide range of specialists interested in using hydrometeorological and climatic information.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Коршунова Н. Н., Давлетшин С. Г.</i> Климатические характеристики заморозков на территории России	5
<i>Черных И. В., Алдухов О. А.</i> Описание базы данных «Срочные данные о границах облачных слоёв, восстановленных по результатам радиозондовых наблюдений температуры и влажности на 58 станциях территории Российской Федерации и соседних регионов»	21
<i>Колкер А. Б., Гочаков А. В., Воронина Л. А., Белая Н. И., Брусенко Е. А.</i> Специализированные электронные климатические информационные продукты для адресного обслуживания пользователей	35
<i>Шерстюков Б. Г.</i> Создание массивов данных о среднесуточной и средне-месячной температуре воздуха на метеорологических станциях мира на основе источников открытого доступа	46
<i>Финаев А. Ф., Разуваев В. Н.</i> Гомогенизация климатических рядов на примере среднемесячной температуры воздуха	57
<i>Швец Н. В.</i> Интенсивность осадков: методы измерений, базы данных наблюдений, использование данных интенсивности осадков в исследовании климата и для решения прикладных задач	69
<i>Вязилова Н. А., Вязилов А. Е.</i> О климатологии штормовых циклонов, выходящих на европейскую территорию России из различных районов генезиса	90
<i>Клещенко Л. К.</i> Региональные особенности режима солнечного сияния на территории России в 2019 году	101
<i>Клещенко Л. К.</i> Оценки межгодовой изменчивости продолжительности солнечного сияния на территории России	118
<i>Степаненко С. Р., Шаймарданов М. З., Шевченко А. И.</i> Метод автоматического выявления систематических ошибок в системе обработки метеорологических данных	126
<i>Сенова Л. Н.</i> Обработка системой OMEGA данных, поступающих по каналам связи в коде BUFR	142
<i>Колесников А. Е., Лобачев П. С., Колесникова А. В.</i> Система контроля целостности массивов гидрометеорологических данных	156
<i>Перетягко Л. О., Кофтан Ю. Р.</i> Система взаимной конвертации данных различной структуры для обслуживания потребителей ЕГФД	163
<i>Зверева Г. Н., Мирзеабасов О. А.</i> Web-технологии доступа к ЯОД-архивам	176
<i>Романенко Л. И., Зура А. Ю., Амельченко Е. В., Шевченко А. И.</i> Программно-технологический комплекс АГРО-ЕЖЕГОДНИК	186

CONTENTS

<i>Korshunova N. N., Davletshin S. G.</i> Providing services for different economic sectors and users of climate information	5
<i>Chernykh I. V., Aldukhov O. A.</i> Description of database «Hourly data on cloud-layer boundaries reconstructed from temperature and humidity radiosonde observations at 58 stations of the Russian Federation and the neighboring regions».....	21
<i>Kolker A. B., Gochakov A. V., Voronina L. A., Belaya N. I., Brusenko E. A.</i> Specialized electronic climate information products for user-targeted service.....	35
<i>Sherstyukov B. G.</i> Creation of data sets on mean daily and mean monthly air temperature at meteorological stations of the world based on open access sources....	46
<i>Finaev A. F., Razuvayev V. N.</i> Homogenization of climate data series with average monthly air temperature taken as an example.....	57
<i>Shvets N. V.</i> Precipitation intensity: measurement techniques, observation databases, use of precipitation intensity data in climate research and in solving application problems	69
<i>Vyazilova N. A., Vyazilov A. E.</i> On climatology of storm cyclones entering European Russia from different genesis regions	90
<i>Kleschenko L. K.</i> Regional features of the sunshine regime on the territory of Russia in 2019	101
<i>Kleschenko L. K.</i> Estimating interannual variability of sunshine duration over the Russian territory.....	118
<i>Stepanenko S. R., Shaimardanov M. Z., Shevchenko A. I.</i> Method of detection of coarse systematic errors in the meteorological data processing system.....	126
<i>Senova L. N.</i> Processing of data arriving via communication channels in the BUFR code by using OMEGA system.....	142
<i>Kolesnikov A. E., Lobachev P. S., Kolesnikova A. V.</i> Hydrometeorological data sets integrity monitoring system of.....	156
<i>Peretyatko L. O., Koftan Yu. R.</i> The system of mutual conversion of data of different structure for providing service to the Unified State Data Fund users.....	163
<i>Zvereva G. N., Mirzeabasov O. A.</i> Web Access to DDL-Archive.....	176
<i>Romanenko L. I., Zgura A. Yu., Amelchenko E. V., Shevchenko A. I.</i> Software complex AGROMETEOROLOGIST-OBSERVER	186

УДК 551.524.3 (470+571)

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАМОРОЗКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Н. Н. Коршунова¹, С. Г. Давлетшин²

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

¹ nnk@meteo.ru, ² sdavletshin@meteo.ru

Введение

С изменением температуры воздуха, наряду с оттепелями, связано и такое явление, как заморозки. Заморозком называется понижение температуры воздуха или деятельной поверхности до 0 °С и ниже на фоне положительной средней суточной температуры воздуха. Заморозки наблюдаются на территории России повсеместно, но значительный ущерб наносят в сельскохозяйственных зонах, т. к. приводят к повреждению и даже гибели сельскохозяйственных культур на значительных площадях. В связи с этим большинство работ по изучению заморозков носило агрометеорологический характер с целью минимизировать потери и выработать эффективные методы защиты сельскохозяйственных культур от заморозков. Фундаментальными в этом направлении можно считать работы И. А. Гольцберг [1 – 4]. Проблема заморозков привлекала внимание учёных и ранее. Ещё в XIX веке в одном из первых трудов по климатологии К. С. Веселовского «О климате России» заморозкам посвящён отдельный раздел [5].

И. А. Гольцберг в своих работах, обобщив исследования советских метеорологов в 30 – 40-е годы прошлого столетия, выделила три типа заморозков в зависимости от их происхождения – адвективные, радиационные и адвективно-радиационные.

Адвективные заморозки случаются при наступлении холодной воздушной массы с температурой ниже 0 °С. Эти заморозки обусловлены крупномасштабными циркуляционными процессами, поэтому охватывают большие территории и обычно наблюдаются в течение нескольких суток.

Радиационные заморозки возникают в безветренные ясные ночи за счёт суточного хода температуры при интенсивном ночном излучении. Носят локальный характер, поскольку обусловлены неровностями рельефа, наблюдаются в отрицательных формах рельефа (долинах, котловинах, поймах малых рек и т. д.). В [1] приводится схематическая оценка в баллах морозостойкости в условиях холмистого рельефа, основанная на доступных к тому времени исследованиях отечественных и зарубежных учёных. Как показали исследования И. А. Гольцберг [2], на степень морозоопасности вогнутых форм рельефа, кроме стока и подтока холодного воздуха, влияет площадь воздухообора: чем больше площадь склонов, с которых спускается в долину охлаждённый воздух, тем чаще и интенсивней случаются в ней заморозки. Длительность радиационных заморозков обычно ограничивается одной ночью, но при установлении антициклонального характера погоды такие заморозки могут наблюдаться каждую ночь в течение длительного периода.

Третий тип заморозков – *адвективно-радиационные* – представляют собой комбинацию первых двух и наблюдаются, как правило, в предутренние часы. Обычно продолжительность таких заморозков составляет 3 – 4 часа.

В [6] проанализированы типы погоды, при которых наблюдаются заморозки. Рассматривался комплекс нижняя облачность – скорость ветра, поскольку по сочетанию этих параметров можно судить о типе заморозка.

Многие исследования посвящены анализу режима заморозков в отдельных регионах [7 – 9]. Однако в последние годы научный интерес к этой проблеме значительно уменьшился. Возможно, это связано с улучшением агротехники, появлением новых морозостойких сортов, улучшением прогнозов и предупредительных мер. Но и в настоящее время заморозки наносят значительный ущерб сельскому хозяйству. Так, 10 – 16 мая 2017 года заморозки в воздухе $-1...-5^{\circ}\text{C}$ привели к повреждению в Орловской области посевов рапса на площади 200 га, сахарной свёклы – 1 500 га, гречихи – 400 га; в Тамбовской области погибло 1 700 га яровых культур, из которых около 1 200 га сахарной

свёклы; в Брянской области в 7 районах на площади 2 711 га отмечены погибшие посевы кукурузы, подсолнечника, сои, рапса, люпина, гречихи.

Целью данной работы является анализ климатических характеристик заморозков для территории России, полученных по актуальным данным большого количества станций за длительный период, исследование их изменений на фоне наблюдающихся в последние годы изменений климата.

Данные и методика

В работе использовались ежедневные данные специализированного массива «Температура воздуха и количество осадков (ежедневные данные)», который доступен на сайте ВНИИГМИ-МЦД [10]. Массив регулярно пополняется, что позволяет проводить исследования по актуальным данным. Массив содержит данные 600 метеорологических станций РФ и бывших республик СССР. Со времени создания специализированного массива некоторые российские станции, входящие в данный массив, были закрыты или законсервированы, поэтому расчёты проводились по данным 488 метеорологических станций России, действующих в настоящее время. Климатические характеристики заморозков рассчитывались за период от начала работы станции до 2018 года.

Днём с заморозком считается такой день, в который средне-суточная температура воздуха превышала 0 °С в предыдущий, текущий и следующий дни, а минимальная температура воздуха в текущий день опускалась ниже 0 °С. В течение каждого года рассматривается период, ограниченный средними датами положительного перехода температуры через 0 градусов.

Результаты представлены в виде карт, подготовленных с помощью ГИС в регулярной стереографической проекции, в которой используется стандартный метод обратных взвешенных расстояний с коэффициентами, обратно пропорциональными квадрату расстояния.

Тренд, представленный на графиках, рассчитывался методом наименьших квадратов, уровень статистической значимости тренда определялся с помощью критерия Стьюдента.

Пространственное распределение климатических характеристик заморозков

Заморозки наблюдаются на всей территории России с марта по октябрь. На рисунке 1 представлено число дней с заморозками на территории страны за каждый месяц этого периода.

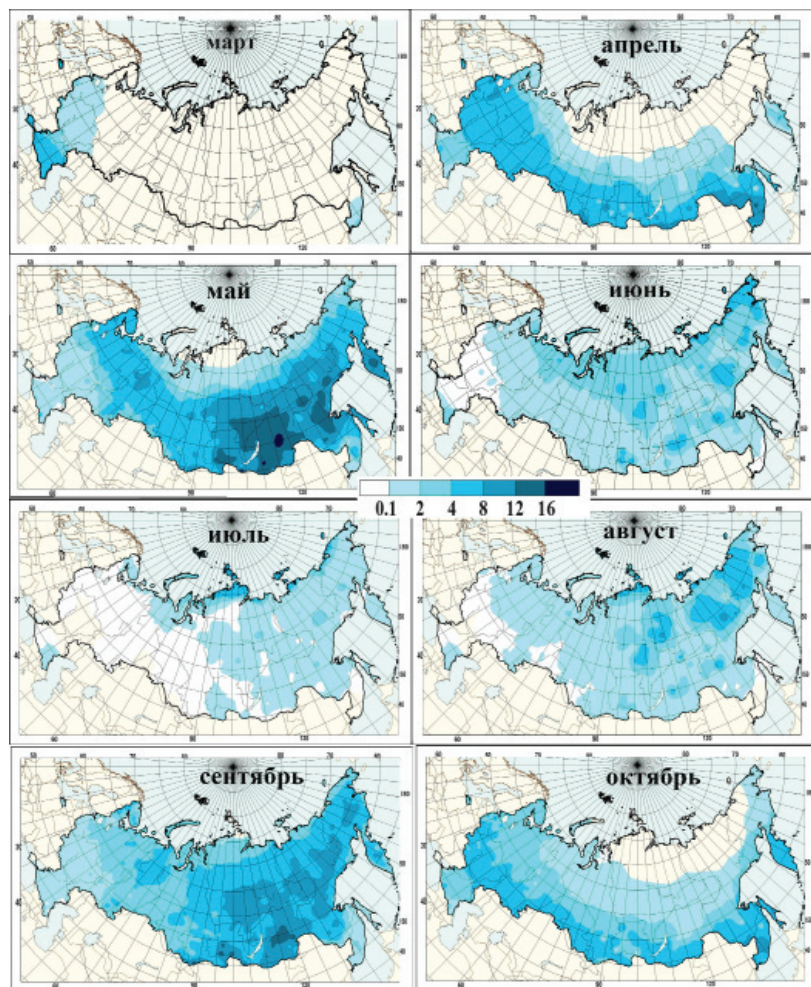


Рис. 1. Среднее многолетнее число дней с заморозками на территории РФ

В марте наибольшее число дней с заморозками (5 – 9 дней) отмечается в южных районах европейской территории (ЕТР) и в Крыму, где среднесуточная температура уже во второй половине февраля устойчиво переходит через 0 °С. На юго-западе ЕТР и в Приморье переход среднесуточной температуры через 0 °С случается почти на месяц позже, в третьей декаде марта, поэтому и заморозков значительно меньше: 3 – 5 дней и 1 – 3 дня соответственно. На остальной территории страны март ещё по-настоящему зимний месяц, среднесуточная температура воздуха остаётся отрицательной.

В апреле зона заморозков уже охватывает значительную территорию страны, за исключением северных районов азиатской территории (АТР). Наибольшее число дней с заморозками (5 – 10 дней) отмечается в средней полосе ЕТР (широтная зона 50 – 60° с. ш.), в южных районах Сибири и Дальнего Востока. В северных районах Приморского края наблюдается более 12 дней с заморозками. Значительно уменьшается число дней с заморозками на юге ЕТР и в Крыму, в большинстве случаев это адвективные заморозки, т. е. связанные с холодными вторжениями.

Пик весенних заморозков в России приходится на май. Особенно часто заморозки отмечаются на азиатской территории страны. Зона максимальных значений числа дней с заморозками охватывает Верхнеленские районы Иркутской области, юго-запад Республики Саха (Якутия) и большую часть Забайкалья. В этих районах наблюдаются 15 – 17 дней с заморозками. Вне зоны заморозков остаются Таймыр, арктическое побережье Ямала и арктические острова, где в мае ещё сохраняется зимний характер погоды.

В июне на ЕТР заморозки отмечаются только в северной половине региона и горных районах Северного Кавказа. На АТР заморозки наблюдаются повсеместно. Наибольшее число заморозков отмечается на Чукотке, в отдельных районах сибирских нагорий и межгорных котловин, где вероятность заморозков увеличивает стоковый приток холодного воздуха. В июле число дней с заморозками минимально на территории всей страны. В последний месяц лета с понижением температуры увеличивается

число дней с заморозками на северо-востоке АТР. Редкие заморозки отмечаются в северной половине ЕТР, на Урале и большей части Западной Сибири.

Максимум осенних заморозков приходится на сентябрь. На большей части АТР отмечается от 4 до 10 дней с заморозками, а на севере Забайкалья и в Тыве – более 12 дней. На ЕТР наибольшее число дней с заморозками фиксируется в северо-восточных районах (4 – 8 дней). В Центрально-Чернозёмных областях, Поволжье и Южном федеральном округе заморозки в сентябре случаются не ежегодно, поэтому среднее многолетнее число не превышает 1. В октябре число дней с заморозками уменьшается на всей территории страны, а на севере АТР отсутствуют из-за установления зимнего характера погоды. Наибольшее число дней с заморозками (4 – 8 дней) наблюдается в средней полосе ЕТР (широтная зона 50 – 55° с. ш.) на юге Сибири и Дальнего Востока, а также на Камчатке.

Карты дат наступления и прекращения заморозков в воздухе не только показывают географическое распределение данных характеристик, но и дают определённую характеристику температурного режима переходных периодов – весны и осени. На рисунке 2 показано распределение средних (а) и крайних (б, в) дат наступления последнего заморозка весной. Распределение в основном соответствует общему нарастанию температуры весной. Самое раннее прекращение заморозков отмечается на Черноморском побережье Кавказа, средние даты окончания заморозков – конец февраля, а в отдельные годы температура воздуха и вовсе не опускается ниже 0 °С. В предгорных районах Кавказа из-за естественной преграды для холодных вторжений наблюдается застой холодных воздушных масс, в результате заморозки в этих районах случаются в более поздние сроки (рис. 2 в). В западных районах ЕТР из-за влияния тёплых и влажных масс, перемещающихся с Атлантики и Средиземноморья, заморозки прекращаются раньше, чем в более континентальных районах. Следует также отметить обогревающее влияние Балтийского моря, на всём побережье которого, включая Финский залив, заморозки заканчиваются

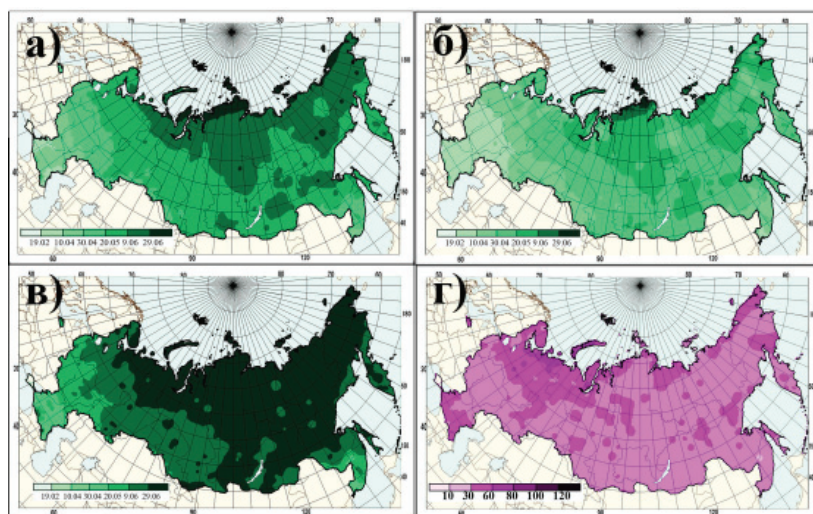


Рис. 2. Средние (а), самые ранние (б) и самые поздние (в) даты наступления последнего заморозка весной, разность между крайними датами (г) на территории России

на 5 – 10 дней раньше. В северо-восточных районах европейской территории весенние заморозки наблюдаются до конца июня, а в отдельные годы могут отмечаться и в начале июля.

На арктическом побережье азиатской территории и арктических островах в течение всего летнего периода возможны заморозки. В муниципальных районах Красноярского края, восточных районах Якутии, континентальных районах Магаданской области и Чукотского АО, северных районах Забайкалья заморозки в среднем (рис. 2 а) прекращаются в последних числах июня. В Забайкалье с разрушением Сибирского антициклона и понижением атмосферного давления устремляется холодный воздух с северных широт, что в сочетании с горным рельефом местности отодвигает средние даты прекращения заморозков. Значительно раньше, в первой – второй декадах мая, заморозки прекращаются в южных районах Хабаровского края и Приморье. Опеляющее влияние океана сказывается на прибрежных районах Дальнего Востока, хотя в отдельные годы в центральных районах Камчатки

заморозки могут наблюдаться до конца июня. Опеляющее влияние Байкала наиболее наглядно проявляется на распределении наиболее поздних дат прекращения заморозков (рис. 2 в).

По разности между крайними датами (рис. 2 г) можно судить о потенциально возможном периоде с заморозками. Наиболее продолжительный период с заморозками наблюдается в северных районах Архангельской области, Ненецком автономном округе и на Новой Земле (более 80 дней). В северных областях ЕТР и на Урале период заморозков менее растянут и составляет 40–65 дней. Интересно, что такая же продолжительность периода с заморозками характерна не только для горных районов Кавказа, но и для прибрежных районов Краснодарского края и Дагестана. На большей части АТР разность между крайними датами весенних заморозков колеблется от 30 до 60 дней.

Распределение средних дат наступления заморозков осенью также следует за общим понижением температуры с севера на юг (рис. 3 а), хотя это более справедливо для европейской территории страны. Наиболее ранние заморозки наблюдаются в восточных районах Ненецкого АО и Республике Коми. Самые поздние

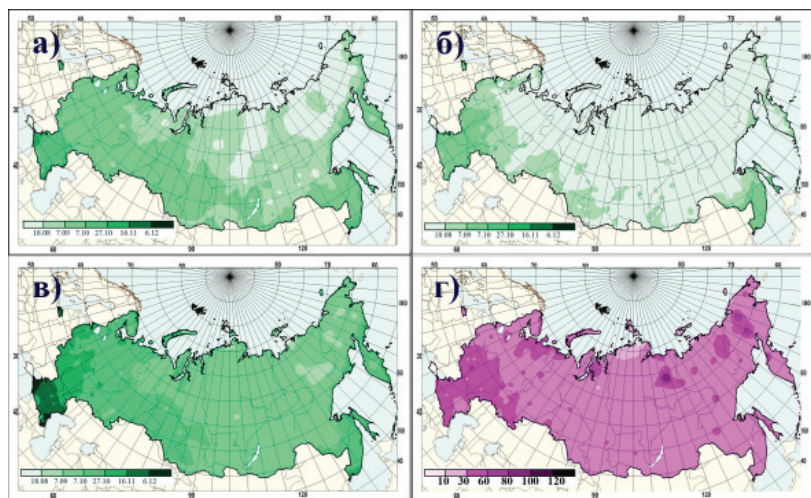


Рис. 3. Средние (а), самые ранние (б) и самые поздние (в) даты наступления первого заморозка осенью на территории России

осенние заморозки отмечаются на Черноморском побережье и в прибрежных районах Дагестана. Средние даты наступления осенних заморозков в этих районах – конец октября – первая половина ноября, но в отдельные годы температура воздуха не опускается ниже 0° до конца декабря (рис. 3 в).

На большей части азиатской территории страны, за исключением южных районов Хабаровского края и Приморья, самые ранние осенние заморозки фиксируются уже во второй половине августа (рис. 3 б). В северных, северо-западных и восточных районах Якутии, северных и континентальных районах Чукотского АО и Магаданской области, на арктическом побережье Таймыра на это время приходится средние даты наступления первых осенних заморозков (рис. 3 а).

Период осенних заморозков, т. е. разность между крайними датами заморозков осенью (рис. 3 г), меньше, чем весенних, и на большей части страны составляет 30 – 60 дней. В южной половине ЕТР из-за более продолжительного периода неустойчивой погоды с частой сменой воздушных масс период осенних заморозков растягивается и составляет 50 – 80 дней.

Продолжительность безморозного периода зависит от дат наступления последнего заморозка весной и первого заморозка осенью по определению. На рисунке 4 показано распределение климатических характеристик продолжительности безморозного периода

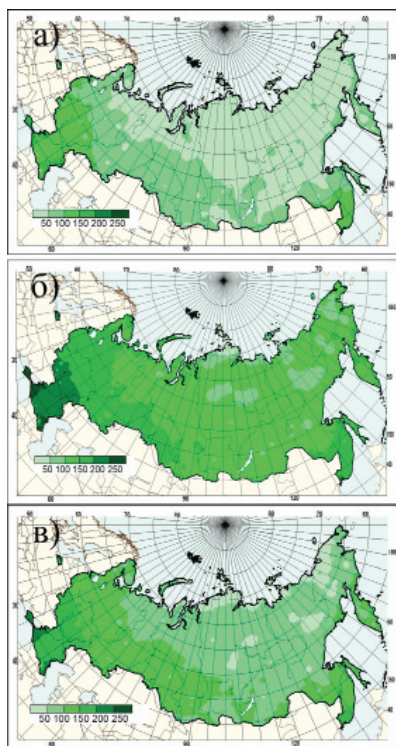


Рис. 4. Минимальная (а), максимальная (б) и средняя (в) продолжительность безморозного периода на территории России

на территории России. Данные характеристики имеют огромное практическое значение, особенно для сельского хозяйства.

На европейской территории пространственное изменение минимальной (рис. 4 а), максимальной (рис. 4 б) и средней (рис. 4 в) продолжительности безморозного периода носит практически широтный характер, за исключением горных районов Северного Кавказа. Средняя продолжительность изменяется от 50 – 100 дней в северо-восточных районах до 230 – 280 дней на Черноморском и Каспийском побережьях Кавказа, а также в Крыму, где сказывается отепляющее влияние больших водоёмов. На азиатской территории распределение продолжительности безморозного периода в большей степени зависит от рельефа и носит более сложный характер. Влияние форм рельефа на продолжительность безморозного периода подробно описано в [1], где отмечается, что в горной местности в зависимости от формы рельефа (плато, котловина, горная долина, вершина) продолжительность безморозного периода может отличаться на 1,5 – 2 месяца. На азиатской территории средняя продолжительность безморозного периода на арктических островах и побережье Таймыра составляет всего несколько дней, а наибольших значений (150 – 200 дней) достигает в южных районах Приморского края и Сахалина.

Изменение характеристик заморозков

Для оценки средних изменений климатических характеристик режима заморозков выбраны несколько длиннорядных метеорологических станций, расположенных в разных климатических зонах (согласно классификации Алисова [11]). На фоне глобального потепления в режиме заморозков выявлены региональные особенности.

На рисунке 5 представлено изменение средних дат последних весенних и первых осенних заморозков. В северных районах ЕТР (Архангельск) позже стали заканчиваться весенние заморозки, но раньше наступать осенние, что ведёт к уменьшению безморозного периода. Противоположная ситуация наблюдается в центральных областях ЕТР (Москва), где весенние заморозки в последние годы прекращаются раньше, а осенние случаются позже. К такому же

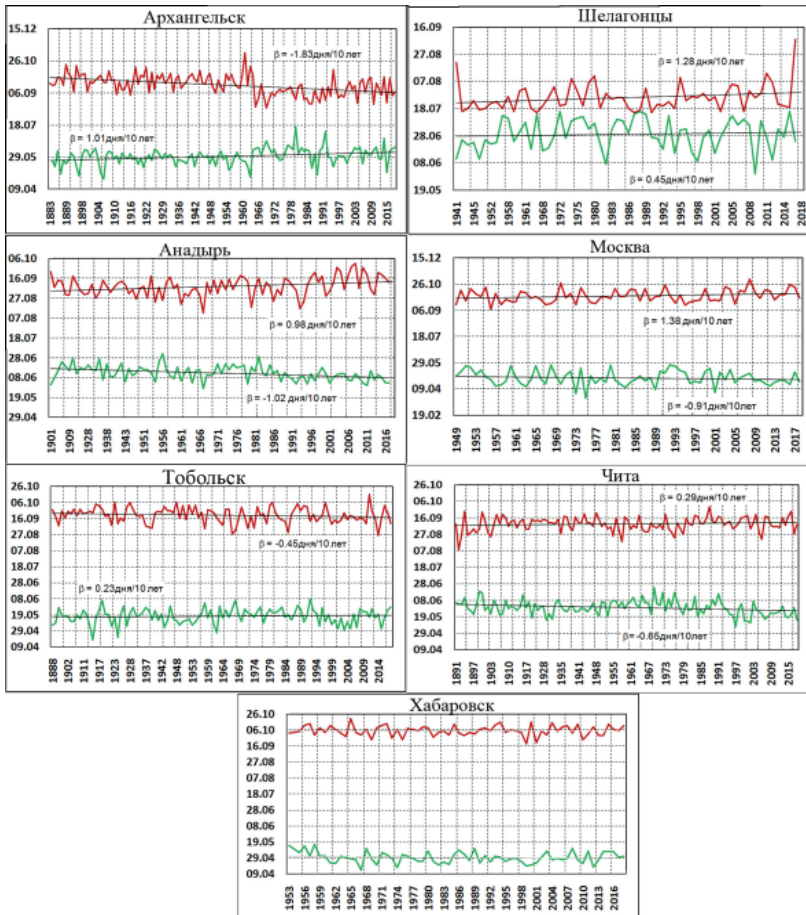


Рис. 5. Средние даты наступления последнего заморозка весной (зелёная линия) и первого заморозка осенью (коричневая линия) на отдельных метеорологических станциях России

эффекту привели очень тёплые зимы в северо-восточных районах АТР (Анадырь). В южной половине Западной Сибири (Тобольск) заметнее тенденция к более раннему наступлению осенних заморозков, а в Забайкалье (Чита) – к более раннему прекращению весенних заморозков. Температурный режим переходных сезонов дальневосточного юга (Хабаровск) не изменился, хотя

незначительное увеличение продолжительности безморозного периода всё же наблюдается (рис. 6).

На фоне глобального потепления уменьшение продолжительности безморозного периода отмечается в Архангельске и Тобольске (рис. 6), причём в Архангельске уменьшение довольно значительное – почти 3 дня за 10 лет. На остальных

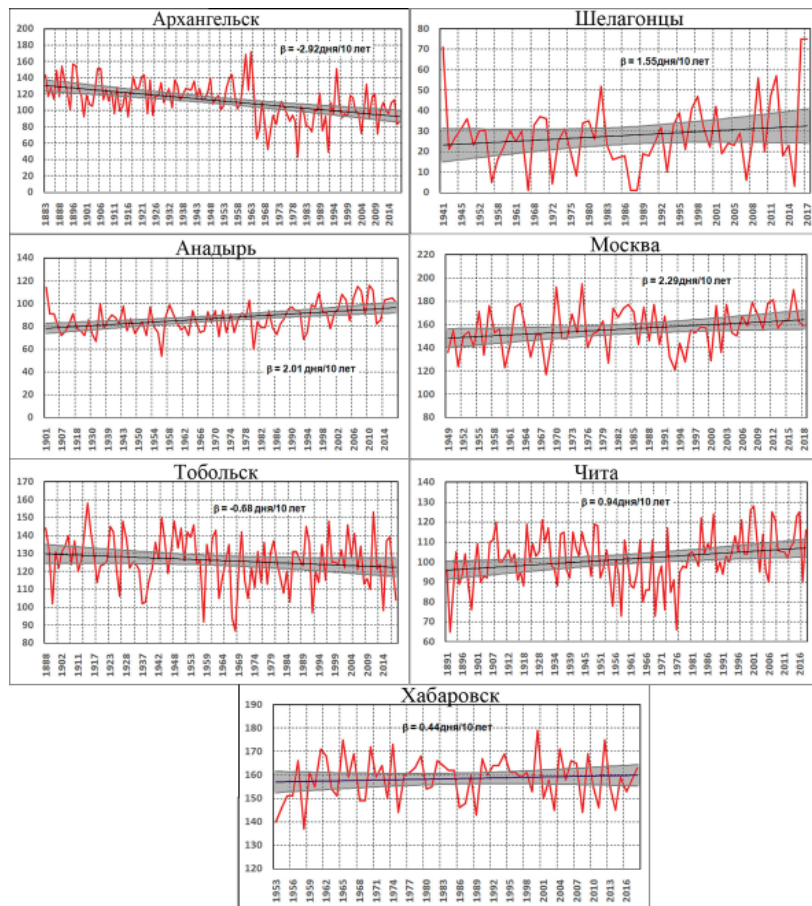


Рис. 6. Средняя продолжительность безморозного периода на отдельных метеорологических станциях России. Показан линейный тренд за весь период наблюдения на станции с 95 %-ной доверительной полосой.

метеорологических станциях продолжительность безморозного периода увеличивается, наиболее значительно в Анадыре и Москве – более чем на 2 дня за 10 лет.

В изменении числа дней с заморозками весной и осенью также выявлены региональные особенности. На рисунке 7 показано изменение числа дней с весенними и осенними заморозками.

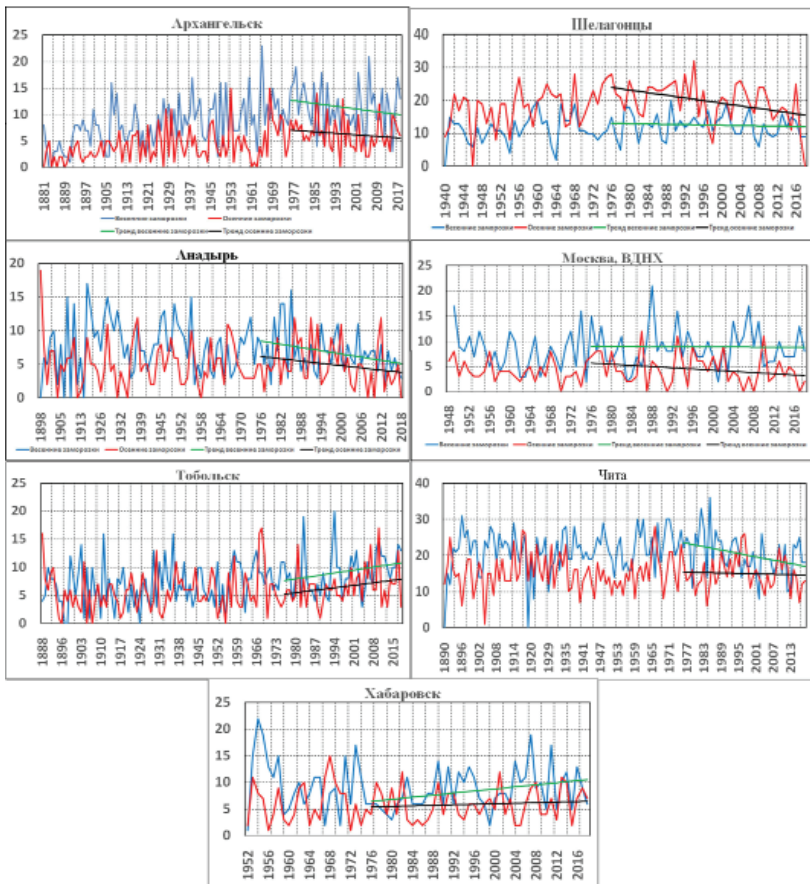


Рис. 7. Число дней с весенними (синяя линия) и осенними (красная линия) заморозками. Линии тренда (зелёная для весенних заморозков, чёрная – для осенних) показаны с 1976 года, который условно считается началом глобального потепления.

Весенними считались заморозки, которые наблюдались с марта по июнь, а осенними – с июля по октябрь. Во-первых, следует отметить, что на всех выбранных метеорологических станциях число весенних заморозков больше, чем осенних, хотя и в разной степени. Исключение составляет метеорологическая станция Шелагонцы (Якутия), где заморозки осенью случаются чаще, но с 1976 года, который условно считается началом глобального потепления, наметилась явная тенденция их уменьшения при практически неизменном числе весенних заморозков. Аналогичная тенденция изменения числа дней с заморозками наблюдается и в Москве. В Архангельске и Анадыре уменьшается число дней как с весенними, так и с осенними заморозками, что обусловлено ростом среднесезонной температуры весной и осенью в этих районах [12] и увеличением числа дней с экстремально высокими температурами в переходные сезоны [13]. В Тобольске, где выявлена летом тенденция увеличения числа дней с аномально низкими температурами воздуха [13], растёт и число дней с весенними и осенними заморозками. В Чите и Хабаровске, несмотря на аналогичные изменения температурного режима, наблюдается соответственно уменьшение и увеличение числа дней с весенними заморозками. Можно предположить, что в этих районах весной преобладают радиационные заморозки, которые носят локальный характер и обусловлены в значительной степени особенностями рельефа.

Выводы

В результате проведённых исследований впервые по данным большого количества метеорологических станций получены климатические характеристики заморозков – число дней с заморозками, средние и крайние даты последнего заморозка весной и первого заморозка осенью, продолжительность безморозного периода. Анализ полученных результатов позволил выявить региональные особенности распределения данных характеристик на территории РФ. Пик весенних заморозков в России приходится на май, максимальное число дней с заморозками наблюдается в Верхнеленских районах Иркутской области и на большей части Забайкалья. Максимум осенних заморозков приходится

на сентябрь. На большей части АТР отмечается от 4 до 10 дней с заморозками, а на севере Забайкалья и в Тыве – более 12 дней. Распределение средних дат прекращения заморозков весной и наступления осенью следует за общим понижением температуры с севера на юг, отклонения вызывают близость крупных водоёмов или горных хребтов.

Распределение средней продолжительности безморозного периода на ЕТР носит практически широтный характер, за исключением горных районов Северного Кавказа, и изменяется от 50 – 100 дней в северо-восточных районах до 230 – 280 дней на Черноморском и Каспийском побережьях Кавказа. На азиатской территории распределение продолжительности безморозного периода более сложное, поскольку в значительной степени зависит от рельефа местности.

В изменении характеристик заморозков также выявлены региональные особенности. На фоне глобального потепления уменьшение безморозного периода наблюдается в северных областях ЕТР и центральных районах Западной Сибири, а наиболее значительное увеличение безморозного периода отмечается в центральных областях ЕТР и на Чукотке.

Полученные данные о климатологии заморозков, выявленные региональные особенности пространственного распределения и изменения их характеристик могут быть использованы в агропромышленном комплексе для рационального размещения сельскохозяйственных культур, выработки эффективных и своевременных адаптационных мер от неблагоприятных погодных условий и изменений климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольцберг И. А. Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 197 с.
2. Гольцберг И. А. Географическое распространение опасных заморозков // Труды ГГО. 1948. Вып. 12(74).
3. Гольцберг И. А. Районирование территории СССР по основным факторам, определяющим особенности микроклимата // Микроклимат СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1962. С. 263 – 278.

4. Гольцберг И. А. Вероятность наступления заморозков // Труды ГГО. 1969. Вып. 248.
5. Веселовский К. С. О последних весной и первых осенью ночных морозах в России // О климате России. СПб, 1857. 327 с.
6. Васильева Л. Г., Голубова Т. А. Повторяемость типов погоды при заморозках // Труды ГГО. 1972. Вып. 288. С. 155 – 168.
7. Дмитриева Г. В. Последние весенние и первые осенние заморозки в Московской области // Труды ЦИП. 1954. Вып. 31(58).
8. Копачевская М. Н. Поздние весенние и ранние осенние заморозки на Украине // Труды УкрНИГМИ. 1958. Вып. 14.
9. Кан К. А. Статистические особенности количества дней с заморозками в Казахстане // Труды Гидрометцентра СССР. 1983. Вып. 254. С. 90 – 102.
10. Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Александрова Т. М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего (ТТТР) // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942.
11. Алисов Б. П. 1956. Климат СССР. М.: Московский университет. 127 с.
12. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. М., 2019. 79 с.
13. Коршунова Н. Н., Булыгина О. Н., Разуваев В. Н., Давлетшин С. Г. Оценки экстремальности температурного режима и режима осадков на территории РФ и её регионов // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 20 – 30.

УДК 551.576.1 : 551.58

ОПИСАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ «СРОЧНЫЕ ДАННЫЕ О ГРАНИЦАХ ОБЛАЧНЫХ СЛОЁВ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАДИОЗОНДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ НА 58 СТАНЦИЯХ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СОСЕДНИХ РЕГИОНОВ»

И. В. Черных¹, О. А. Алдухов²

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

Введение

Важной характеристикой радиационного, гидрологического, циркуляционного режимов атмосферы является облачность, она оказывает влияние на видимость на поверхности земли и в атмосфере [1 – 4].

Для определения характеристик облачности используются наземные визуальные наблюдения и аппаратурные измерения со спутника, самолёта, с поверхности земли [1, 2, 5 – 7]. При этом следует отметить, что все методы наблюдений имеют особенности, в частности, в связи с различной чувствительностью приборов к параметрам элементов облака, например к фазовому состоянию, размерам кристаллов или капель [5, 7].

Долгопериодные оценки параметров вертикальной макроструктуры облачности, таких как её толщина, верхняя граница, число слоёв, невозможно определить по результатам визуальных наземных наблюдений за облаками, данные наземных инструментальных наблюдений и с борта самолёта имеют локальный характер [2, 5, 7, 8]; информация о вертикальной макроструктуре облаков, полученная с помощью аппаратуры, установленной на спутниках, появилась только в последние десятилетия [5, 6, 8, 9].

Большой интерес вызывает исследование вертикальной макроструктуры облачности, восстановленной по радиозондовым

профилям, для определения её климатических характеристик, так как данные радиозондовых наблюдений собраны за достаточно длинный период и плотно покрывают территорию земного шара (особенно Северное полушарие) [3 – 5, 7 – 17].

В базу данных «AEROCLOUDS» включены данные о границах облачных слоёв с указанием количества облачности в каждом слое. Они восстановлены по вертикальным профилям температуры и влажности с помощью СЕ-метода, разработанного И. В. Черных (ВНИИГМИ-МЦД) и Р. Ескриджем (Национальный климатический центр данных США) для определения границ и количества облачности по результатам измерения температуры и влажности при радиозондировании атмосферы [5, 7, 12 – 14].

База данных «AEROCLOUDS» организована в символьном формате постанционно, т. е. состоит из семейства файлов, в каждом из которых собраны данные для одной станции за период 1964 – 2018 годов.

1. Исходные данные и метод расчёта параметров облачных слоёв

Радиозондовые данные на протяжении нескольких десятилетий были и остаются одним из важнейших источников информации о состоянии атмосферы [18].

Специализированная база данных «Срочные данные о границах облачных слоёв, восстановленных по результатам радиозондирования над территорией Российской Федерации и соседних регионов за период наблюдений 1964 – 2018 г.», далее – база данных «AEROCLOUDS», создана на основе массива радиозондовых наблюдений CARDS (Comprehensive Aerological Reference Dataset) [15, 19, 20], пополненного текущими наблюдениями из массивов ВНИИГМИ-МЦД АЭРОСТАБ [19, 21, 22] и АЭРОСТАС [23]. Эти исходные массивы организованы в виде семейства файлов, в каждом из которых собраны глобальные данные за один месяц.

Содержанием исходных массивов являются значения основных метеовеличин: давления, геопотенциальной высоты, температуры воздуха, дефицита точки росы, скалярной скорости ветра и его направления на уровне подстилающей поверхности,

на стандартных изобарических поверхностях и на уровнях особых точек по давлению или высоте, температуре, влажности и ветру.

На стадии формирования массивов исходные данные проходят процедуру комплексного контроля качества [15, 19, 24, 20], в результате работы процедуры контроля каждому значению метеовеличины присваивается признак качества. Для расчётов параметров облачных слоёв использованы правильные, исправленные и восстановленные после контроля значения метеозлементов.

Основная идея СЕ-метода, использованного для восстановления границ и количества облачности по радиозондовым профилям температуры и влажности, состоит в определении таких интервалов, где на профили воздействуют облачные слои. Вследствие инерционности реакция датчиков температуры и влажности на их прохождение может практически не отражаться на абсолютных значениях измеряемых величин, но почти всегда проявляется в относительных изменениях (производных вдоль профиля) [3, 5, 7, 10]. Аппроксимация результатов измерений температуры и влажности с использованием кубических сплайнов с гладким изменением производных вдоль профиля даёт более правдоподобную картину изменения метеорологических параметров с высотой, чем аппроксимация ломаной линией. Значения производных вдоль вертикального профиля, которые отражают воздействие внешних сил, при сплайновой аппроксимации определяются наблюдениями не только в ближайших точках профиля, но и в следующих по близости точках, что позволяет уменьшить влияние инерционности датчиков температуры и влажности при анализе изучаемого отрезка вертикального профиля.

Определение облачных слоёв по СЕ-методу проводится в два этапа. На первом – определяются их границы по вторым производным температуры и относительной влажности по высоте вдоль профилей. Особенности скоростей изменения этих параметров с высотой могут быть обусловлены их изменениями при пересечении радиозондом границ облачных слоёв. За критерий существования облачного слоя приняты условия

$$T''(h) \geq 0 \text{ и } R''(h) \leq 0 \text{ для } h_1 \leq h \leq h_2$$

при требовании изменения знака второй производной на противоположный в граничных точках h_1 и h_2 . Это означает: h_1 и h_2 являются точками перегиба профилей T и R и локальных экстремумов первых производных T' и R' (максимума R' и минимума T' в точке h_1 и, наоборот, минимума R' и максимума T' в точке h_2). Эти условия были найдены в результате сравнения профилей температуры и относительной влажности и их вторых производных с результатами наземных наблюдений за облаками [3, 5, 7, 10, 14]. Для получения непрерывных вторых производных по всему вертикальному профилю используется аппроксимация наблюдаемых значений температуры и влажности кубическими сплайнами Акимы с нулевыми граничными условиями для вторых производных [25, 26].

На втором этапе для каждого из выделенных слоёв по значениям температуры и дефицита точки росы на уровне максимальной относительной влажности внутри такого слоя по кусочно-линейной аппроксимации диаграммы Арабей – Мошникова [5, 14] определяется количество облаков по градациям 0 – 20, 20 – 60, 60 – 80, 80 – 100 % поверхности небосвода.

СЕ-метод был апробирован для разных широтных зон [5, 7, 14]. В [5, 14] проведён анализ корректности определения яруса, количества облаков, точности его определения для нижней, средней и верхней облачности, для отдельных её форм, для плотных и тонких облачных слоёв по сравнению с данными наземных визуальных наблюдений за облаками [27]. Было проведено сравнение облачности, восстановленной по радиозондовым измерениям разными методами, в том числе с использованием СЕ-метода, с данными о границах, полученными с других наблюдательных платформ, а также сопоставление возможностей определения облачного и безоблачного состояния небосвода разными методами [5, 7, 16].

Для Арктики СЕ-метод прошёл проверку на данных эксперимента SHEBA (Surface Heat Budget of the Arctic Ocean, США) и FIRE (First Regional Experiment), проводившегося в рамках ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project), эксперимента по изучению облачности в Арктике [28, 29]. Использовались спутниковые наблюдения, профили температуры и влажности, полученные

при GPS-зондировании атмосферы, данные измерений с помощью облакомера, радара, лидара, с борта самолёта, данные визуальных наблюдений за облаками. В результате исследования было показано, что с помощью СЕ-метода детектируются облачные слои и влажные слои, из которых будут формироваться облака в течение ближайших нескольких часов (эти слои ещё не фиксируются при наземных наблюдениях за облаками в момент наблюдения из-за малой концентрации облачных частиц, но будут детектированы после их формирования, обычно, радаром). Определяются также влажные слои, являющиеся некоторой формой оставшихся облаков после их растекания (через несколько часов), которые фиксируются с помощью прибора для определения изображения облачных частиц CPI при самолётном зондировании [5, 7].

Основным изменением в технологии радиозондирования является передача более детальных профилей для наблюденных метеовеличин. С использованием данных GPS-зондирования, проводимого во время эксперимента SHEBA, была проанализирована чувствительность разных методов определения границ облачных слоёв по данным радиозондирования к изменению разрешения профилей. Было установлено, что результаты, полученные с помощью СЕ-метода, отражают наличие отдельных облачных слоёв и безоблачных прослоек, а это позволяет объективно оценить суммарную толщину облачных слоёв, выявить тонкие облачные слои, и слабо зависят от разрешения профилей температуры и влажности, что крайне важно при проведении климатических исследований на основе исторических массивов радиозондовых данных [5, 7, 13, 30].

Расчёты границ восстановленных облачных слоёв выполнены по формулам и приведены в базе данных с точностью до 1 м. По смыслу исследуемых объектов расчёты с точностью до 1 м могут показаться излишней точностью, однако точность полученных результатов можно использовать для разных целей, например при расчёте трендов.

В базе данных «AEROCLOUDS» приведены сведения об облачных слоях, определённых с помощью СЕ-метода, толщиной не менее 50 метров.

2. Состав базы данных «AEROCLOUDS»

База данных содержит информацию о границах облачных слоёв, восстановленных по срочным радиозондовым наблюдениям, в слое атмосферы от уровня земли до высоты 10 км, для 58 аэрологических станций территории РФ и соседних регионов за период 1964 – 2018 гг. Из них 12 аэрологических станций на территории РФ являются станциями глобальной сети наблюдений за климатом (ГСНК), 11 – российскими полярными станциями; дополнительно были выбраны ещё 35 станций на территории РФ и в ближнем зарубежье с достаточно полными временными рядами наблюдений и, по возможности, равномерно покрывающих территорию РФ и соседние регионы за период наблюдений 1964 – 2018 годов.

База данных состоит из 58 файлов, каждый из которых содержит информацию для одной станции. В табл. 1 приведён диапазон изменения широты и долготы для станций, включённых в базу данных.

Таблица 1

Диапазон изменения широты и долготы для станций, включённых в базу данных. Период наблюдений 1964 – 2018 гг.

Категория станций	Широта, ° с.ш. / ° ю.ш.	Долгота, ° в.д.
12 аэрологических станций ГСНК территории Российской Федерации	51,70–73,50° с.ш.	40,50–158,58° в.д.
9 аэрологических арктических станций Российской Федерации, не являющихся станциями ГСНК	66,46–71,35° с.ш.	33,07–123,21° в.д.
2 аэрологические антарктические Российские станции	66,65–70,75° ю.ш.	11,83–19,71° в.д.
21 дополнительная аэрологическая станция Российской Федерации	44,13–58,65° с.ш.	20,33–132,05° в.д.
14 зарубежных станций из соседних с Российской Федерацией районов	39,95–71,28° с.ш.	19,18–203,24° в.д.
56 Российских и зарубежных станций в Северном полушарии	39,95–73,50° с.ш.	19,18–203,24° в.д.
2 российских станции в Южном полушарии	66,65–70,75° ю.ш.	11,83–19,71° в.д.

3. Описание структуры и формата данных

Описание структуры базы данных AEROCLOUDS представлено в табл. 2. Файл данных в символьном формате состоит из записей (строк), каждая из которых может представлять заголовочную часть или информационную часть о границах восстановленных облачных слоёв с учётом количества облаков в каждом слое. Количество облачности определяется по градациям 0 – 20, 20 – 60, 60 – 80, 80 – 100 % поверхности небосвода. Группа записей (строк) файла данных содержит информацию, полученную на основе одного аэрологического наблюдения. Каждое наблюдение идентифицируется призначной (заголовочной) частью, содержащей информацию о пространственных (синоптический индекс станции, широта, долгота, высота станции над уровнем моря) и временных (год, месяц, день, срок) характеристиках подъёма, а также высоте H1 первого над уровнем земли измерения температуры и влажности при подъёме радиозонда и высоте H2 – высоте последнего измерения температуры и влажности при подъёме радиозонда, использованного при расчёте параметров облачных слоёв, если она меньше 10 км; в противном случае – высоте последнего измерения температуры и влажности при подъёме радиозонда выше 10 км, использованной при расчёте параметров облачных слоёв, числе уровней в конкретном подъёме между высотами H1 и H2, использованных при расчёте параметров облачных слоёв, числе облачных слоёв, определённых в конкретном подъёме в слое от поверхности земли до высоты 10 км. Заголовок наблюдения представляет собой строку, которая состоит из первых 17 элементов, представленных в табл. 2.

Таблица 2

Формат записи в файлах данных в символьном формате

Обозначение	Призначная часть / метеоэлемент / число наблюдений	Число цифр	Единицы измерения	Константа отсутствия
IND	Синоптический индекс станции	6	–	Нет
IND_1	Первоначальный синоптический индекс станции	6	–	Нет
LAT	Географическая широта месторасположения станции в градусах с точностью до сотых долей градуса, северная широта – плюс, южная широта – минус, для наземных станций берётся из каталога.	8	Градусы с точностью до сотых долей	Нет

Продолжение табл. 2

Обозначение	Призначная часть / метеозлемент / число наблюдений	Число цифр	Единицы измерения	Константа отсутствия
LON	Географическая долгота месторасположения станции в градусах с точностью до сотых долей градуса, с 000 до 359,99, для наземных станций берётся из каталога.	8	Градусы с точностью до сотых долей	Нет
HH	Высота станции над уровнем моря на момент зондирования	6	м	Нет
GG	Год	6	—	Нет
MM	Месяц – порядковый номер месяца в году	2	—	Нет
DD	День – порядковый номер дня в месяце	2	—	Нет
TT	Срок – время наблюдений основных сроков 00, 12 ч по Гринвичу	3	GMT	Нет
H1	Высота первого над уровнем земли измерения температуры и влажности при подъёме радиозонда, использованная при расчёте параметров облачных слоёв	6	м	Нет
H2	Высота последнего измерения температуры и влажности при подъёме радиозонда, использованная при расчёте параметров облачных слоёв, если она меньше 10 км, в противном случае высота последнего измерения температуры и влажности при подъёме радиозонда выше 10 км, использованная при расчёте параметров облачных слоёв	6	м	Нет
NN	Число уровней в конкретном подъёме между высотами H1 и H2	6	—	Нет
NLN	Число облачных слоёв, определённых в конкретном подъёме до высоты 10 км	6	—	Нет
LF_L	Логический флаг определения облачного слоя в слое атмосферы 0 – 2 км (в нижнем ярусе)	4	Т – облачные слои определены, F – облачные слои не определены	Нет
LF_M	Логический флаг определения облачного слоя в слое атмосферы 2 – 6 км (в среднем ярусе)	2	Т – облачные слои определены, F – облачные слои не определены	Нет

Окончание табл. 2

Обозначение	Призначная часть/ метеоэлемент/ число наблюдений	Число цифр	Единицы измерения	Константа отсутствия
LF_H	Логический флаг определения облачного слоя в слое атмосферы 6 – 10 км (в верхнем ярусе)	2	Т – облачные слои определены, F – облачные слои не определены	Нет
LF_LMH	Логический флаг определения облачных слоев в слое атмосферы 0 – 10 км	2	Т – облачные слои определены в каждом из ярусов, F – облачные слои не определены хотя бы в одном из ярусов	Нет
NL	Номер облачного слоя от уровня земли	3	–	Нет
CA _{NL}	Количество облачности в слое	8	Градация поверхности небосвода, %	Нет
HB _{NL}	Высота нижней границы облачного слоя над уровнем земли	6	м	Нет
HT _{NL}	Высота верхней границы облачного слоя над уровнем земли	6	м	Нет

4. Фрагменты базы данных

Ниже приведён пример одного аэрологического наблюдения из базы данных с пояснениями.

20674 20674 73,51 80,40 47 1965051412 87 13281 16 6 TTTT

NL	CA _{NL}	HB _{NL}	HT _{NL}
1	20–60 %	87	363
2	80–100 %	1313	1450
3	80–100 %	2693	3933
4	80–100 %	6444	6993
5	80–100 %	7719	8407
6	80–100 %	9360	9571

Здесь заголовочная часть:

20674 20674 73,51 80,40 47 1965051412 87 13281 16 6 TTTT

обозначает:

20674 – синоптический индекс станции;

20674 – первоначальный синоптический индекс станции;

73,51 – географическая широта месторасположения станции в градусах с точностью до сотых долей градуса, северная широта – плюс, южная широта – минус, для наземных станций берётся из каталога;

80,40 – географическая долгота месторасположения станции, в градусах с точностью до сотых долей градуса, с 000 до 359,99, для наземных станций берётся из каталога;

47 – высота станции над уровнем моря;

1965 – год;

05 – месяц – порядковый номер месяца в году;

14 – день – порядковый номер дня в месяце;

12 – срок – время наблюдений основных сроков 00, 12 ч по Гринвичу;

87 – высота первого над уровнем земли измерения температуры и влажности при подъёме радиозонда;

13281 – высота последнего измерения температуры и влажности при подъёме радиозонда, использованная при расчёте параметров облачных слоёв;

16 – число уровней в конкретном подъёме между высотами H1 и H2;

6 – число облачных слоёв, определённых в конкретном подъёме;

T – в нижнем ярусе облачные слои определены;

T – в среднем ярусе облачные слои определены;

T – в верхнем ярусе облачные слои определены;

T – облачные слои определены в каждом из ярусов.

Уровневая часть содержит группу записей из переменного числа строк, что соответствует числу облачных слоёв, определённых в конкретном подъёме радиозонда. Каждая строка содержит номер облачного слоя от уровня земли, количество облачности в слое, высоту нижней границы облачного слоя, высоту верхней границы облачного слоя над уровнем земли.

Ниже приведены фрагменты базы данных по двум аэрологическим станциям ГСНК территории Российской Федерации 22543 (Архангельск) и 24266 (Верхоянск), расположенным в разных климатических районах.

Фрагмент 1 базы данных. Станция Архангельск.

22543 22543 64,62 40,51 4 2018121400 0 13940 42 7 ТТТТ

NL	CA _{NL}	HB _{NL}	HT _{NL}
1	0–20 %	1131	1287
2	0–20 %	2593	3086
3	0–20 %	3495	3571
4	20–60 %	4267	4825
5	60–80 %	5926	6704
6	80–100 %	8066	8404
7	80–100 %	9477	9689

Фрагмент 2 базы данных. Станция Верхоянск.

24266 24266 67,57 133,40 138 2008011012 0 14879 56 12 ТТТТ

NL	CA _{NL}	HB _{NL}	HT _{NL}
1	80–100 %	178	350
2	80–100 %	447	525
3	0–20 %	1396	1491
4	0–20 %	2602	2653
5	0–20 %	2757	2859
6	0–20 %	2876	3014
7	0–20 %	5163	5352
8	0–20 %	5918	6004
9	20–60 %	6863	7084
10	80–100 %	8019	8277
11	80–100 %	8422	8881
12	60–80 %	9667	10320

Заключение

Создана специализированная база данных «AEROCLOUDS», содержащая информацию о границах облачных слоёв с указанием количества облачности в данном слое, восстановленных по результатам радиозондирования над территорией Российской Федерации и соседних регионов за период наблюдений 1964 – 2018 гг. Она получена с использованием CE-метода, разработанного для определения границ и количества облачности по профилям температуры и влажности на основе данных срочных радиозондовых наблюдений.

На основе созданной базы данных получены долгопериодные оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы на российских станциях [3] и параметров вертикальной макроструктуры сплошной облачности над Арктическим регионом Российской Федерации [4, 31, 32].

База данных «AEROCLOUDS» передана в «Российский государственный фонд данных о состоянии окружающей природной среды». Полученные результаты могут быть использованы для проведения прикладных и исследовательских работ по изучению климата и его изменений, для исследования условий распространения электромагнитных волн в слое атмосферы 0–10 км над уровнем земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А. М. Видимость в атмосфере и безопасность полётов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 206 с
2. Дубровина Л. С. Облака и осадки по данным самолётного зондирования. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 216 с.
3. Черных И. В., Алдухов О. А. Оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы за 1964–2014 гг. на российских станциях // Метеорология и гидрология. 2018. № 3. С. 29–39.
4. Черных И. В., Алдухов О. А. Оценки параметров вертикальной макроструктуры сплошной облачности в Арктическом регионе РФ по долгопериодным данным радиозондирования // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 5–17.
5. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 2. Восстановленные облачные слои. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 152 с.
6. Асмус В. В., Загребяев В. А., Макриденко Л. А. и др. Система полярно-орбитальных метеорологических спутников серии «Метеор-М» // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 5–16.
7. Черных И. В., Алдухов О. А. Об определении вертикального распределения облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40, № 1. С. 45–59.
8. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 3. Влажность и температура в атмосфере: статистические характеристики. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2015. 494 с.

9. Rossow W. B., Zhang Y., Wang J. A statistical model of cloud vertical structure based on reconciling cloud layer amounts inferred from satellites and radiosonde humidity profiles // *J. Climate*. 2005. Vol. 18. P. 3587 – 3605.
10. Черных И. В., Алдухов О. А. Долгопериодные оценки характеристик вертикального распределения облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 4. С. 5 – 17.
11. Черных И. В., Алдухов О. А. Долгопериодные оценки числа облачных слоёв по данным радиозондирования атмосферы за 1964 – 2017 гг. в разных широтных зонах // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 4. С. 18 – 32.
12. Chernykh I. V., Alduchov O. A., Eskridge R. E. Trends in low and high cloud boundaries and Errors in height determination of cloud boundaries // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2001. Vol. 82. P. 1941 – 1947.
13. Chernykh I. V., Alduchov O. A., Eskridge R. E. Reply to comments of Seidel D. J. and Durre I. on «Trends in low and high cloud boundaries and errors in height determination of cloud boundaries» // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2003. Vol. 84. P. 241 – 247.
14. Chernykh I. V., Eskridge R. E. Determination of cloud amount and level from radiosonde soundings // *J. Appl. Meteorol.* 1996. Vol. 35. P. 1362 – 1369.
15. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V. et al. A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1995. Vol. 76. P. 1759 – 1775.
16. Naud C. M., Muller J. P., Clothiaux E. E. Comparison between active sensor and radiosonde cloud boundaries over the ARM Southern Great Plains site // *J. Geophys. Res.* 2003. Vol. 108. N D4. P. 3-1 – 3-12.
17. Poore K. D., Wang J., Rossow W. Cloud layer thickness from a combination of surface and upper-air observations // *J. Climate*. 1995. Vol. 8. P. 550 – 568.
18. Зайцева Н. А. Аэрология. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 325 с.
19. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2013. 306 с.
20. Alduchov O. A., Eskridge R. E. Complex quality control of upper air parameters at mandatory and significant levels for the CARDS dataset // Asheville: NCDC Report. 1996. 135 p.
21. Алдухов О. А., Оржеховская В. А., Садовникова Т. О. и др. Архив текущей аэрологической информации АЭРОСТАБ. Описание архива // Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1990, 28 с.
22. Казначеева В. Д., Руденкова Т. В. Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 1985. Вып. 115. С. 91 – 108.
23. Руденкова Т. В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. 2010. Вып. 174. С. 41 – 63.

24. Алдухов О. А., Черных И. В. Принципы контроля качества массивов результатов радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 92 – 101.
25. Стечкин С. Б., Субботин Ю. Н. Сплайны в вычислительной математике. М.: Наука. 1976. 248 с.
26. Bartels R. H., Beatty J. C., Barsky B. A. An Introduction to Splines for use in Computer Graphics and Geometric Modeling. Los Altos: Morgan Kaufman Publishers. 1987. 476 p.
27. NCDC. TD-3280 Surface Airways Hourly. Internal Report of the National Climatic Data Centre. 1991. 40 p.
28. Curry J. A., Hobbs P. V., King M. D. et al. FIRE Arctic Clouds Experiment // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2000. Vol. 81. P. 5 – 29.
29. Uttal T., Curry J. A., McPhee M. G. et al. Surface heat budget of the Arctic Ocean // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2002. Vol. 83. P. 255 – 275.
30. Chernykh I. V., Aldukhov O. A. Detection of cloudiness from temperature and humidity profiles for different resolution of radiosonde sounding by various methods // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling (WGNE Blue Book). Geneva: WMO. 2002. N 32. P. 2.5 – 2.6.
31. Годовой ход параметров сплошных облачных слоёв над Арктикой на фоне их глобальных оценок по многолетним радиозондовым данным // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 115 – 135.
32. Chernykh I. V., Aldukhov O. A. Trends in Frequency of Overcast Clouds over Arctic Region of Russia // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling (WGNE Blue Book 2018), <http://bluebook.meteoinfo.ru/>, 2018, p. 2-09 – 2-10.

УДК 551.501 551.508

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ АДРЕСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

А. Б. Колкер^{1*}, А. В. Гочаков^{1}, Л. А. Воронина^{1***},
Н. И. Белая^{1****}, Е. А. Брусенко^{2*****}**

¹ ФГБУ «Сибирский региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт», г. Новосибирск,

² ФГБУ «Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды», г. Новосибирск,

* alexk@sibnigmi.ru, ** gochakov@sibnigmi.ru, *** voronina@sibnigmi.ru,
**** Belay@sibnigmi.ru, ***** gmc-ok@meteo-nso.ru

Введение

Изменение климата в последние десятилетия приводит к возрастанию повторяемости не только неблагоприятных, опасных, но и экстремальных гидрометеорологических явлений. Увеличивается число дней с аномально высокими температурами весной и осенью. Продолжительные периоды с сильными осадками или, наоборот, отсутствием их в совокупности с высоким фоном температуры воздуха влияют не только на комфортность проживания, но и являются следствием образования катастрофических наводнений, засух и лесных пожаров [6, 7]. Возрастает потребность не только в своевременных прогнозах и предупреждениях об опасных явлениях, но и в своевременном информировании об экстремальности этих явлений и частоте их повторяемости. По обзорам климатологов, докладам Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации Урало-Сибирский регион относится к территориям Российской Федерации, где нередко проявляется экстремальность по температуре воздуха и осадкам по итогам месяца и года.

В статье приводится описание работы автоматизированной технологии обработки информационных потоков, поступающих в автоматизированный центр сбора гидрометеорологических

данных (АСПД) по каналам связи [1, 2], и создания специализированной климатической информационной продукции для специализированного адресного обслуживания пользователей на базе СУБД-, Web-технологий. Основное предназначение созданной автоматизированной технологии – формирование по станциям ранжированных рядов экстремально тёплых (холодных), сухих (влажных) лет, лет с самым низким (высоким) давлением.

Технология формирования рядов ранжирования реализована на языке программирования Python3, в качестве базы данных используется MySQL Server 5.5. Web-приложение работает в виртуальной среде KVM.

Автоматизированная технология формирования ранжированных рядов разработана ФГБУ «СибНИГМИ» по заявке ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» в рамках выполнения темы 1.3.4.3 Плана НИОКР Росгидромета на 2017 – 2019 гг. «Создание электронных климатических справочников для специализированного адресного обслуживания пользователей на региональных и отраслевых уровнях с использованием информационных технологий на базе СУБД-, ГИС-, Web-технологий».

Возможности автоматизированной технологии

Для оперативного информирования как общей, так и специализированной гидрометеорологической информацией органов власти, населения в Гидрометеорологической службе разрабатываются сервисные информационные продукты на базе современных информационных технологий, которые позволяют обеспечить достоверной и исчерпывающей гидрометеорологической информацией о фактическом режиме и климатических данных [5]. При этом реализуются современные требования к технологиям, средствам обработки и доведения информации пользователям и потребителям.

Исходными данными для формирования электронной базы данных ранжированных рядов экстремальных значений послужили многолетние ряды наблюдения по 75 станциям: среднемесячная (среднедекадная) температура воздуха, среднемесячное (среднедекадное) давление воздуха на уровне моря и на уровне

станции, сумма осадков за месяц (декаду). Электронная многолетняя база ранжированных рядов создавалась совместно с климатологами Гидрометцентра ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

Автоматизированная технология формирования ранжированных рядов благодаря простому и удобному Web-интерфейсу позволяет пользователю просматривать таблицы с данными давления, температуры воздуха и количеством осадков, поступившими в телеграммах кода КН-19 Декада и КЛИМАТ [3] через интернет-ресурс по адресу: <http://climate.sibnigmi.ru/rangecli>.

Для каждой станции по архивным данным сформированы ранжированные ряды по метеорологическим элементам: давление и температура воздуха, осадки. Выделены первые пять мест самых тёплых (холодных), самых сухих (влажных) лет и лет с самым низким (высоким) давлением на уровне станции и на уровне моря. Просмотр таблиц с обновлёнными данными возможен по коду доступа и паролю одновременно по всем станциям территории УГМС, а также только по станциям субъектов Федерации: Кемеровской, Новосибирской, Томской областей, Алтайского края и Республики Алтай.

Технология расчётов

Автоматизированная технология формирования ранжированных рядов осуществляет выборку данных из телеграмм в коде КН-19 Декада и КЛИМАТ, поступивших в автоматизированную систему передачи данных (АСПД) ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС». Декодированные результаты хранятся в базе данных.

Первоначально база данных заполнялась значениями параметров, сформированными климатологами. Для каждой из станций они включали перечень рекордов параметров с перечислением года или нескольких лет для каждого значения. По мере поступления оперативной информации и в случае определения алгоритмом превышения или вхождения в ряд рекордных значений база данных обновляется.

При поступлении данных в коде КН-19 Декада или КЛИМАТ программой осуществляется анализ вхождения поступившего значения в соответствующий параметру ряд: самых тёплых

(холодных), сухих (влажных) лет или лет с самым низким (высоким) давлением на уровне моря и на уровне станции. В случае вхождения определяется позиция текущего значения и формируется обновлённый ряд, в котором последнее (пятое) значение вытесняется или в случае совпадения добавляется текущий год для совпавшей величины. Обновлённый ряд имеет признак предварительного и полностью обновляет базу данных только после подтверждения специалистом через форму Web-интерфейса.

При запросе к Web-интерфейсу осуществляется анализ текущей таблицы ранжированных рядов и сохранённых оперативных данных для соответствующих дат и станций. Производится сравнение поступившей информации для каждой станции ранжированных рядов самых тёплых (холодных), сухих (влажных) лет и лет с самым низким (высоким) давлением на уровне моря и на уровне станции. В случае вероятного вхождения в ранжированный пятилетний ряд строка подсвечивается жёлтым цветом для тёплых, сухих лет и лет с высоким давлением, голубым – для холодных, влажных лет и лет с низким давлением.

Учитывая, что в оперативных телеграммах не исключены ошибки по вине станции или по вине связи, климатологами принято решение – пополнение электронной базы данных ранжированных рядов метеорологических элементов происходит только после сверки оперативных значений с режимной, проверенной метеорологами. Доступ к исправлению ошибок и сохранению достоверной информации в базе данных имеют только климатологи по своему коду доступа. Доступ к режимной информации климатологи имеют спустя два месяца после поступления информации в коде КН-19 Декада, КЛИМАТ, поэтому и появление места (1 – 5) в графе «Место» появляется через два месяца.

Рабочий интерфейс автоматизированной технологии формирования ранжированных рядов

Рабочий интерфейс автоматизированной технологии формирования ранжированных рядов очень прост и понятен, но для упрощения работы с ним для пользователя подготовлено описание рабочего интерфейса, которое вошло в Методические указания

для пользователей автоматизированной технологии формирования ранжированных рядов. На рисунке 1 показан её интерфейс на примере формирования ранжированных рядов месячных сумм осадков за январь 2020 года. При описании панели инструментов приводятся примеры рисунков, отражающих результаты выборки.

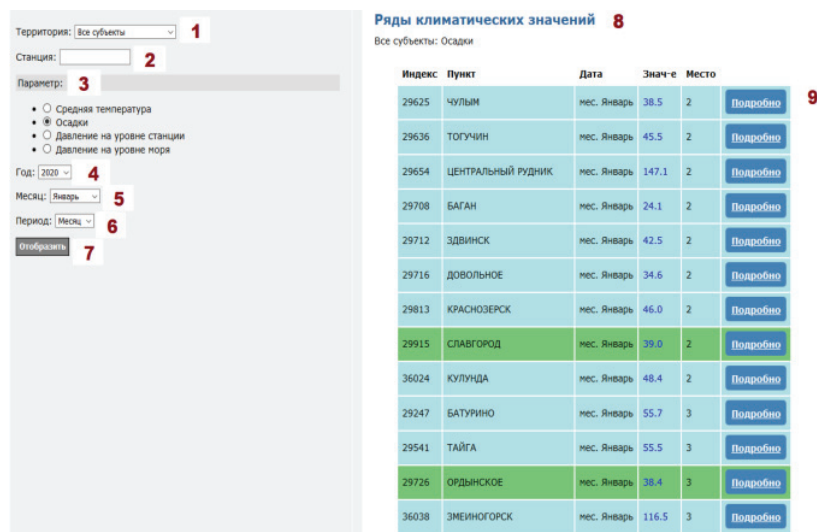


Рис. 1. Вид интерфейса автоматизированной технологии ранжированных рядов месячных сумм осадков за январь 2020 года

Функционально интерфейс разделён на две области:

- Панель инструментов выборки (1 – 7).
- Результат выборки (8 – 9).

1. «Территория» – ограничение выборки метеорологических станций:

– при значении **«Все субъекты»** выборка будет производиться для всех станций ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС», содержащихся в базе данных (рис. 1);

– при выделении какого-либо субъекта РФ (Новосибирская область, Томская область, Кемеровская область, Алтайский край, Республика Алтай) выборка производится только для станций обозначенной территории (рис. 2).

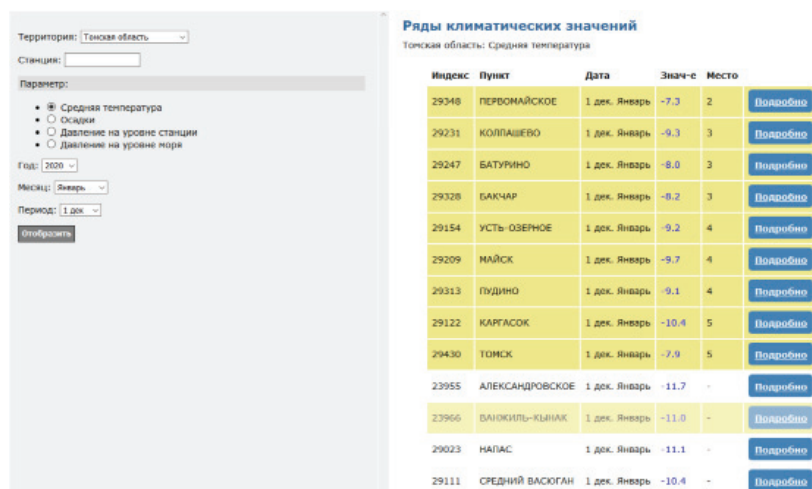


Рис. 2. Вид интерфейса автоматизированной технологии ранжированных рядов средней температуры воздуха за первую декаду января 2020 года только для станций Томской области

2. «Станция» – ограничение выборки названием станции.

3. «Параметр» – определяет, для какого метеорологического элемента будет производиться выборка из базы данных (рис. 1 и 2).

4 и 5. «Год», «Месяц» – ограничение выборки по году и месяцу (рис. 1 – 5).

6. «Период» – определяет, за какой период требуется выборка усреднённых данных: за месяц (рис. 1, 3), I декаду (рис. 2), II декаду (рис. 4) или III декаду (рис. 5).

7. «Отобразить». При выборе параметра «Отобразить» программа применяет все ограничения по выборке (1 – 6) и генерирует запрошенные данные в таблицу 8.

8. «Ряды климатических значений» (рис. 1 – 5). Таблица позволяет просмотреть оперативные данные температуры воздуха, количества осадков, давления за выбранный период, и она содержит:

- индекс станции;
- название станции;
- номер декады и месяц выборки;

- значение метеорологического элемента для выбранного периода (из КН-19 Декада, КЛИМАТ);
- место в ранжированном ряду.

9. «Подробно». При выборе параметра «Подробно» появляется выборка пятилетних ранжированных рядов заданного «Параметра» по выбранной станции.

На рисунках 3 – 5 приведены примеры просмотра ранжированных пятилетних рядов по станциям Пудино и Напас (Томской области), Змеиногорск (Алтайского края) и определения места оперативных данных в ранжированном ряду при выборе параметра «Подробно».

На рисунке 3 приведён пример, когда автоматизированная технология провела сравнение оперативной информации, поступившей в коде КЛИМАТ, с электронной базой ранжированного ряда и определила, что средняя температура воздуха за январь 2020 года заняла второе место среди самых тёплых лет на станции Напас, потеснив 1949 год.

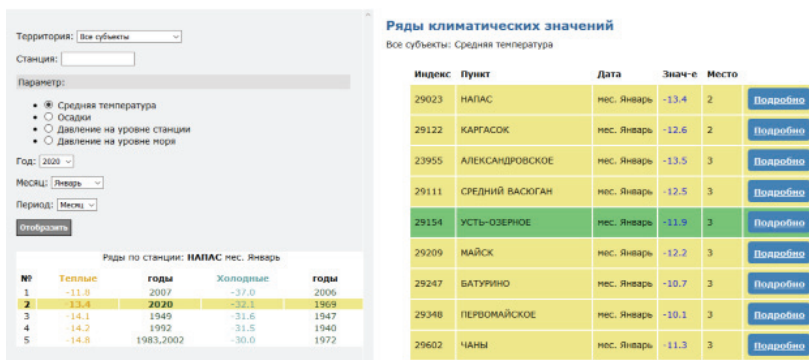


Рис. 3. Вид интерфейса автоматизированной технологии ранжированного ряда средней температуры воздуха за январь 2020 года по станции Напас Томской области

Январь 2020 года в ряде территорий Западной Сибири был рекордным не только по температурному режиму, но и по выпавшим осадкам. На рисунке 4 приведён пример выбора экстремальных значений сумм осадков для станции Змеиногорск. При нажатии кнопки «Просмотр» по станции Змеиногорск видим, что



Рис. 4. Вид интерфейса автоматизированной технологии ранжированного ряда суммы осадков по станции Змеиногорск за вторую декаду января 2020 года

количество осадков, выпавшее во второй декаде января (60,9 мм), заняло второе место в ранжированном ряду самых влажных вторых декад, уступив лишь 1971 году, когда на этой станции выпало почти 100 мм (99,6 мм).

2020 год на территории Западной Сибири показывает рекорды не только температуры воздуха и осадков, но и давления. На рисунке 5 приведены примеры значений среднего давления на уровне станции за третью декаду января 2020 года. Полученные по коду КН-19 Декада значения давления на уровне станции дополнили пятилетний ранжированный ряд лет с самым низким давлением на уровне станции в третьей декаде января. При просмотре подробной информации по станции Пудино Томской области видно, что значение давления 999,8 гПа заняло третье место в пятилетнем ранжированном ряду среди третьих декад с самым низким давлением, уступив 1949 и 1993 годам.

Цветовая схема выделения выборки включает четыре цвета и два состояния его насыщенности:

- **белый цвет** – данное значение метеорологического элемента не входит в пятёрку ранжированных рекордов;
- **жёлтый цвет** – вероятное вхождение в пятёрку лет: самых тёплых, самых сухих, с самым низким атмосферным давлением;

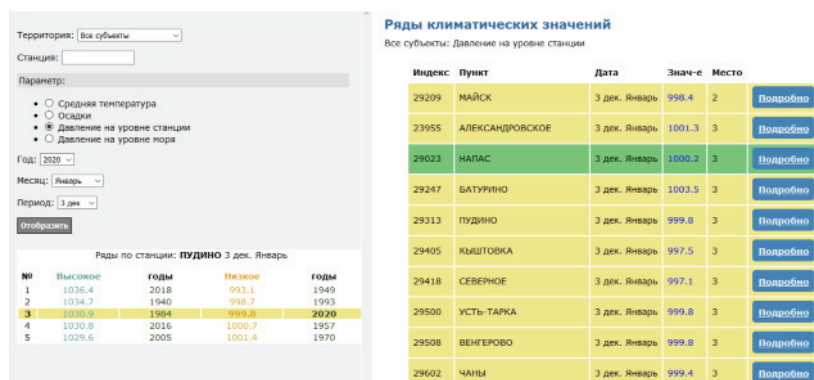


Рис. 5. Вид интерфейса автоматизированной технологии ранжированных рядов среднего давления на уровне станции за третью декаду января 2020 года по станции Пудино Томской области

- **голубой цвет** – вероятное вхождение в пятёрку лет: самых холодных, самых влажных, с самым высоким атмосферным давлением;
- **зелёный** – при повторении одного из значений метеорологического элемента в пятёрке лет: самых тёплых (холодных), самых сухих (влажных) или с самым высоким (низким) давлением;
- **насыщенный цвет** означает, что значение проверено и утверждено климатологом;
- **полупрозрачный цвет** означает, что значение ещё не проверено и не утверждено климатологом.

На рисунке 2 приведён пример разной цветовой гаммы по станциям, когда в таблице насыщенным жёлтым цветом выделено ряд станций, данные которых проверены климатологами, и соответственно уже установлено место (2 – 5) в пятилетнем ранжированном ряду; данные средней температуры воздуха за первую декаду января 2020 года по труднодоступной станции (ТДС) Ванжиль-Кынак выведены полупрозрачным жёлтым цветом, так как режимные проверенные данные на период проверки по этой станции не поступили. Станции Александровское, Напас и Средний Васюган выделены белым цветом, т. е. данные по этим станциям не вошли в пятилетние ранжированные ряды.

Анализ достоверности выборки автоматизированной технологией метеорологических элементов, поступающих в коде КН-19 Декада и КЛИМАТ

Достоверность выборки данных автоматизированной технологией в период апробации в оперативном режиме показала, что в среднем по температуре и давлению воздуха 100 % станций были выбраны автоматизированной технологией верно в ряды тёплых и холодных лет, лет с самым низким или самым высоким давлением. По сумме осадков ранжированные ряды автоматизированной технологии и режима совпали в среднем на 99 % станций в выборке влажных лет. Совпадение выборки данных автоматизированной технологии и режима в ранжированных рядах сухих лет было меньше – всего 81 %. Причина более низкого процента при выборке в ранжированные ряды сухих лет объясняется тем, что количество осадков в телеграммах округлено до целых, в режимных данных – до десятых. Расхождения с режимными данными особенно заметны для сумм осадков менее 1 мм. Соответственно автоматизированная технология определяет место в ранжированном ряду для сумм осадков менее 1 мм не всегда корректно. При разборе отдельных несовпадений в данных, отобранных автоматизированной технологией, и в режимной информации объяснялось ошибками в телеграмме при кодировании или в период передачи со станций в АСПД.

Решениями секции технического Совета ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» автоматизированная технология внедрена в работу оперативных подразделений Учреждения. В Решениях были отмечены новизна автоматизированной технологии, простота и удобство Web-интерфейса автоматизированной технологии по выборке климатических рекордов и доступность к информации через интернет-ресурс любому пользователю.

Результаты выборки автоматизированной технологии были оценены климатологами. Работа по выборке необходимой информации и созданию климатических рядов по отдельным метеорологическим элементам полностью автоматизирована, что позволяет им быстро подготовить необходимые справки или дать

консультации по запросу потребителей о повторяемости экстремальности температуры и давления воздуха, количества осадков, которые в последние годы нередко бьют все рекорды климата.

При подготовке декадных, месячных, годовых метеорологических, гидрологических и агрометеорологических обзоров специалисты имеют возможность более подробно описать прошедшие метеорологические условия, особенно при достижении ими критериев опасного явления [4].

Разработанная автоматизированная технология уникальна, позволяет распространить её и на другие регионы Западной и Восточной Сибири при наличии сформированных баз климатических данных на электронных носителях по станциям УГМС этих территорий.

Разработка Программного комплекса «Ранжирование – климат» имеет государственную регистрацию и правовую охрану в Российской Федерации как результат интеллектуальной деятельности, на неё получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ номер 2019614201, дата регистрации: 01.04.2019.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методические указания* по автоматизированной обработке гидрометеорологической информации, вып. 3, ч. 1, раз. 1. Обнинск, 2000. 68 с.
2. *Наставление* гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3, ч. II (РД 52.04.614–2000).
3. *Коды* FM-71-х КЛИМАТ и КН-19 Декада, (РД 52.27.347-94). М.: Росгидромет. 1994. 33 с.
4. *Энциклопедия* климатических ресурсов Российской Федерации. СПб.: Гидрометеоиздат. 2005. 319 с.
5. *Руководство* по специализированному климатологическому обслуживанию экономики. /Под редакцией д-ра геогр. наук, профессора Н. В. Кобышевой. СПб., 2008. 336 с.
6. *Доклад* об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год, Москва, 2020.
7. *Доклад* об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. Москва, 2019.

УДК 551.58 + 004.6

СОЗДАНИЕ МАССИВОВ ДАННЫХ О СРЕДНЕСУТОЧНОЙ И СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ МИРА НА ОСНОВЕ ИСТОЧНИКОВ ОТКРЫТОГО ДОСТУПА

Б. Г. Шерстюков

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

Введение

В Лаборатории исследования последствий изменения климата ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» проводится анализ глобальных изменений климата и их локальных проявлений с целью мониторинга и прогнозирования ожидаемых тенденций в последствиях изменений климата для человека [1 – 3]. Основой для получения всех знаний о климате являются данные наблюдений. Последствия неблагоприятных изменений климата для человека всегда локальные, но имеют они глобальные причины [4, 5], поэтому для их изучения необходимы данные об изменении климата по всем станциям мира.

Исходные данные

Наиболее полными источниками метеорологических данных на Земле являются данные Национального климатического центра данных США (NCDC) [6], собранные по станциям всей Земли за период с 1929 года по настоящее время и пополняемые (данные GSOD), и данные, созданные и пополняемые в рамках Европейского проекта оценки климата Европы [7] от начала наблюдений на станциях по настоящее время (данные ECA). Список станций этого архива выходит за пределы Европы. Два указанных источника данных послужили источниками исходной информации.

Обработка исходных данных NCDC

На сайте NCDC данные наблюдений каждого года представлены в отдельных папках отрезками временных рядов по каждой станции длительностью 365-366 суток. Перечень станций каждый год изменяется, их количество увеличивается с каждым годом, но не всегда данные по заданной станции одного года имеют продолжение в следующем году и ещё чаще не имеют данных за предшествующий год. В исходном архиве нет сформированных временных рядов, а их создание на основе отрывочных рядов вызывает большие трудности. Архив NCDC в исходном виде удобно пополнять по каждому году независимо, но работать с такими данными невозможно. Поэтому потребовалось собрать разрозненные погодичные данные, относящиеся к одной станции, и создать по каждой станции единый временной ряд температуры.

В исходном архиве NCDC наиболее ранние данные начинаются с 1929 года, таких обнаружено только 29 станций, несмотря на то, что наблюдения и до 1929 года проводились по многим представленным станциям. После 1929 года с каждым последующим годом количество станций в архиве увеличивается. К середине XX века и далее до 1971 года данные появляются по 2 000 – 2 500 станциям в каждой порции годовичных данных. В 1972 году количество станций с данными сократилось до 587 по неизвестной причине. А более полные данные начинаются с 1973 года (7 996 станций), но и в этих данных много пропусков. Данные поступают нерегулярно. К 2000 году в архиве были собраны данные по 8 279 станциям. В 2012 году количество станций уже превысило 12 000. В 2019 году стало 12 372 станции.

Синоптические индексы имеют не все станции, поэтому этот идентификатор станции не мог быть использован при объединении отрезков временных рядов разных лет. Сбор данных со всего мира за исторический период сильно осложнялся различиями в методах обработки и представления данных, в методах вычисления суточных значений по данным в сроки наблюдений. Наименования станций иногда изменялись или в некоторые годы дополнялись некоторыми уточнениями. Переведённые наименования

с разных языков Земли на латиницу часто не совпадали в разные годы. Данные по станциям одной страны, находящиеся в свободном доступе, могли первоначально аккумулироваться в другой стране и затем поступать в NCDC с языковыми искажениями перевода наименований станций. В результате, оказалось совершенно невозможным строить объединённые ряды данных, опираясь ни на индексы, ни на наименования станций. За основу привязки данных разных лет к единой станции можно было взять только координаты станций и высоту станции над уровнем моря. Но и этот путь оказался не простым.

Координаты станций приведены в архиве с точностью до тысячных долей градуса, несмотря на то, что, обычно, ограничиваются десятymi долями градуса. Составление сквозного списка станций, общего по всем годам, идентифицированных по географическим широте и долготе, а также по высоте станции над уровнем моря, привело к появлению в списке неоднократных повторов идентификаторов станций с небольшими отличиями координат и высоты, предположительно относящихся к одной станции. В результате неточностей в координатах появилось 29 470 отрывочных временных рядов температуры воздуха по станциям Земли. Известно, что общее количество метеорологических станций на Земле составляет 8–9 тысяч. Появившийся избыток файлов-станций возник из-за различий идентификаторов станций (географическая широта и долгота, высота станции над уровнем моря) в разные годы. В некоторых случаях такие различия возникали из-за переноса станции в другое место, но в большинстве случаев различия возникали по техническим причинам при округлении или в результате ошибок. Ошибки в координатах часто явно проявлялись. Например, если при неизменных координатах появлялся отрезок ряда с изменённой высотой станции, то высота станции нами исправлялась, а два отрезка ряда соединялись. Или, наоборот, при неизменной высоте изменялось одно из значений широты или долготы географических координат. В этом случае отрезки рядов объединялись, а ошибка в координатах исправлялась.

В этих условиях необходимо было устранить ошибочные различия идентификаторов во временных отрезках данных,

подобрать критерии допустимых технических различий в координатах станций, при которых два или несколько отрезков временного ряда можно отнести к одной станции и построить единые ряды данных за все годы по каждой отдельной станции. Данные температуры воздуха представлены в архиве NCDC в градусах Фаренгейта, они были переведены в градусы Цельсия. Значения долготы в исходных данных представлены значениями от -179,9 до 180 градусов восточной долготы. Они были переведены в значения от 0 до 359,9 градусов восточной долготы.

Для записи выходных данных имена файлов не могли быть привязаны ни к синоптическим индексам, ни к наименованиям станций, оставалось имена файлов привязать к географическим координатам станций. В Росгидромете существуют правила составления координатных номеров станций, они были предназначены для станций СССР и продолжают использоваться в России. Станции Южного полушария в этих правилах не предусмотрены, поэтому предлагаем свой способ построения координатного номера. Работая со станциями Северного и Южного полушарий, прежде всего, первым символом координатного номера ставим «N» или «S», означающие северное (north) или южное (south) полушарие, следующие три символа – это значение географической широты с точностью до десятых долей градуса, увеличенное в 10 раз, а последующие четыре символа – это восточная географическая долгота в интервале от 0 до 359,9 градусов с точностью до десятых долей градуса, увеличенная в 10 раз. Таким простым способом координатный номер однозначно указывает на местоположение станции. Например, номер N5110138 относится к станции Dresden с координатами 51,1° с. ш. 13,8° в. д., станция Portland с номером N4562374 имеет координаты 45,6° с. ш. 237,4° в. д., а станция Santa Rosa с номером S1412932 имеет координаты 14,1° ю. ш. 293,2° в. д.

Обработка исходных данных ЕСА

В архиве Европейского проекта (ЕСА) наиболее ранние данные начинаются в XVIII веке: с 1756 года – станция Стокгольм (Stokholm, 59,4° с. ш. 18,1° в. д.), с 1763 года – станция Милан (Milan, 45,5° с. ш. 9,2° в. д.), с 1775 года – Прага (Praha,

50,1° с. ш. 14,4° в. д.), с 1781 года – станция Хохенпейнсенберг (Hohenpeissenberg, 47,8° с. ш 11.018.1° в. д.). Ещё по 90 станциям наблюдения и данные в архиве начинаются с XIX века. Несколько станций России с данными от конца XIX века (Томск, Екатеринбург, Иркутск, Октябрьский городок, Пермь, Казань, Нижний Новгород, Киров, Благовещенск, Енисейск, Сочи, Тобольск, Махачкала, Николаевск-на-Амуре, Александровск-на-Сахалине, Якутск) включены в этот архив. По списку Европейский массив составляет 5 540 станций. На самом деле, много станций в массиве представлены дважды или трижды данными за отдельные непересекающиеся годы. В некоторых случаях данные представлены дважды в виде полной копии, но имеют небольшие отличия в координатах или высоте станции над уровнем моря. Координаты станций представлены с точностью до угловой секунды. Подобные повторы данных по станциям или по отдельным интервалам лет возможны как в результате переноса станции, так и в случае ошибок в координатах или высоте или из-за округления их значений.

Наименования станций тоже иногда изменялись при переводе на латиницу, что приводило к появлению в архиве двух отрезков одного ряда, представленного как две отдельные станции. Особенно выделяется небрежность в переводе на латиницу наименований станций России. Часто русские буквы, не имеющие аналога в латинице, заменяются апострофами. Иногда логика перевода наименования остаётся непостижимой, например Ханты-Мансийск в архиве представлен как XANTY'-MANSIJSK вместо правильного Khanty-Mansiysk. Станция Хоседа-Хард представлена в списке как XOSEDA-XARD вместо правильного Hoseda-Hard, Сыктывкар записан как SY'KTY'VKAR вместо Syktyvkar. В наименованиях станций, записанных латиницей, встречаются буквы кириллицы, по начертанию совпадающие с латиницей, но имеющие разный машинный код. В приведённых примерах наименований станций апострофы и буквы Х, О, Е, А, Т, К использованы в кодах кириллицы. При машинной обработке такие символы воспринимаются как управляющие символы, которые в некоторых случаях сдвигают символы по строке, искажают список станций и делают его не читаемым машинным способом. Таких станций

встретилось около десятка с вольным переводом на латиницу. При этом каждый раз возникал сдвиг информации по строке.

Информация по каждой станции в списке представлена наименованием станции, географической широтой, географической долготой, высотой станции над уровнем моря. Из-за сдвигов многие станции России в списке имеют нулевую широту, долгота приняла значения широты, а высота станции получила значение географической долготы. Все упомянутые ошибки в списке были исправлены. После завершения работы со списками станций началась работа с самими данными с использованием информации из списков.

На первом этапе выполнен анализ длительности рядов по станциям. Выполнена сортировка списка станций в порядке убывания длительности рядов. Далее по новому списку станций выполнялся поиск отрезков ряда заданной станции во всех годовичных порция исходных данных. Поиск проводился по сопоставлению координат станций, округлённых до десятых долей градуса. Учитывая различия в округлениях координат и другие технические неточности, допускалось различие $0,15^\circ$ широты и долготы при объединении двух отрезков ряда в один временной ряд. Обнаруженные отрезки выстраивались в единый временной ряд температуры на станции в интервале с 1929 по 2019 год. Фактически ряд часто начинался только после 1973 года и всегда имел много пропусков. Часто встречались отрезки ряда за одинаковые годы с близкими или совпадающими координатами, в которых данные дублировались, но пропуски в разных отрезках встречались в разные даты. В таких случаях пропуски в данных заполнялись из рядов-дублей. Если различия координат укладывались в заданный допуск, а высоты станции в сравниваемых случаях отличались более чем на 50 метров, то объединение отрезков не проводилось, а при различии менее 50 метров по высоте объединение отрезков осуществлялось для улучшения полноты данных по каждой станции. Перенос станции по высоте на 50 метров выше или ниже может изменить температуру на десятые доли градуса, но с учётом и без того большого количества пропусков в исходных данных, было принято решение не терять

эти данные. При такой обработке часть разрозненных отрезков рядов слились парами и тройками в единые ряды. В результате из 29 470 так называемых станций получился список из 9 747 станций. В это количество независимо от полноты данных входят все станции, включая те, по которым в архиве были данные только за один год. Данные станций, длительность полученных рядов по которым составила более 20 лет, прошли статистический контроль на пределы «шесть сигм» (текущее значение отклонения температуры от нормы текущего дня года не должно превышать по модулю шесть среднеквадратических отклонений температуры для этого дня года). Значения, выходящие за установленные пределы, заменялись константой отсутствия данных. Полученный массив назовём GSOD2.

Исходные данные ECA прошли аналогичную обработку. Выполнена сортировка списка станций в порядке убывания длительности рядов. Далее по новому списку станций выполнялся поиск дублёров для каждой заданной станции, отличающихся по координатам не более чем на 0,15 угловых градуса. Ряды с допустимыми близкими координатами использовались для заполнения пропусков в данных. Анализ показал, что во всех случаях станции с допустимыми различиями координат имели одинаковые наименования, иногда записанные по-разному. Кроме основного наименования иногда появлялись уточняющие дополнения наименования. При такой обработке из 5 540 исходных станций архива ECA осталось 1 790 станций-рядов с улучшенной полнотой данных путём заполнения пропусков из дублирующих станций исходного архива. В это количество входят все станции, включая те, по которым в архиве были данные только за один год. Выполнен контроль данных на пределы «шесть сигм», как описано выше. Полученный массив назовём ECA2.

Слияние данных NCDC и ECA

Третий этап создания массива данных о среднесуточной температуре воздуха по станциям Земли состоял в объединении данных GSOD2 и ECA2. За основу был взят созданный массив GSOD2, а массив ECA2 привлекался для слияния обнаруженных

дублирующих станций и для расширения списка станций GSOD2 за счёт уникальных станций из массива ECA2. При слиянии дублирующих станций удалось заполнить некоторые пропуски в исходных данных и продлить массивы GSOD2 в сторону ранних лет за счёт данных из ECA2. А уникальные станции ECA2 расширили общий список станций Земли. Однако много станций в этом общем списке имели очень короткие ряды, не пригодные для использования. После исключения рядов короче трёх лет общий список станций Земли с суточными данными составил 5 476 станций. Данные полученного массива прошли ещё один контроль на пределы «шесть сигм».

По суточным значениям были вычислены среднемесячные значения температуры воздуха по каждой станции, которые составили массив среднемесячной температуры по 5 476 станциям Земли (Северное и Южное полушария).

Для задач исследования климата необходимы ряды длительностью не менее двух десятилетий, поэтому на выходе предложен список станций с данными о среднесуточной и среднемесячной температуре воздуха по 3 338 станциям Земли длительностью не менее 20 последних лет.

На карте (рис. 1) показано распределение станций по всей Земле с полученными временными рядами среднесуточной и

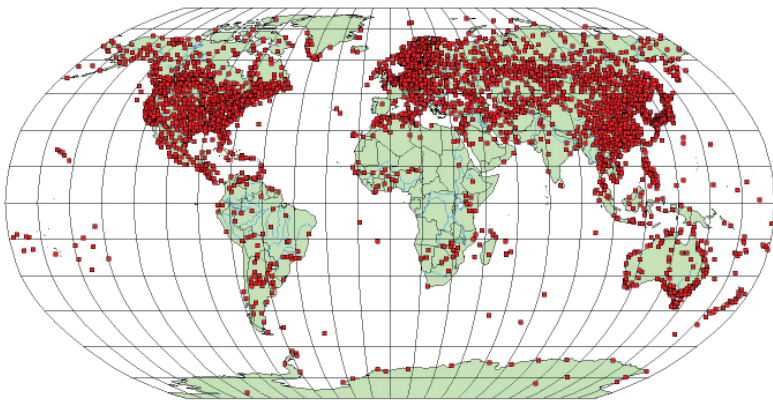


Рис. 1. Метеорологические станции Земли с данными о температуре воздуха за последние не менее 20 лет

среднемесячной температуры воздуха, длительностью не менее 20 лет.

Но если отсеять станции длительностью менее 40 лет, то остаются 2 272 станции (рис. 2).

Более длительные ряды из первоисточников удалось собрать только по Европе и по некоторым станциям бывшего СССР. Сто-летние ряды получились по 73 станциям, они показаны на рис. 3.

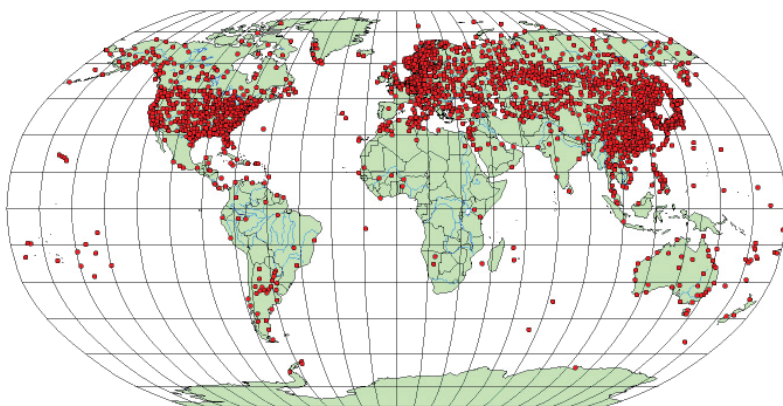


Рис. 2. Метеорологические станции Земли с данными о температуре воздуха за последние не менее 40 лет

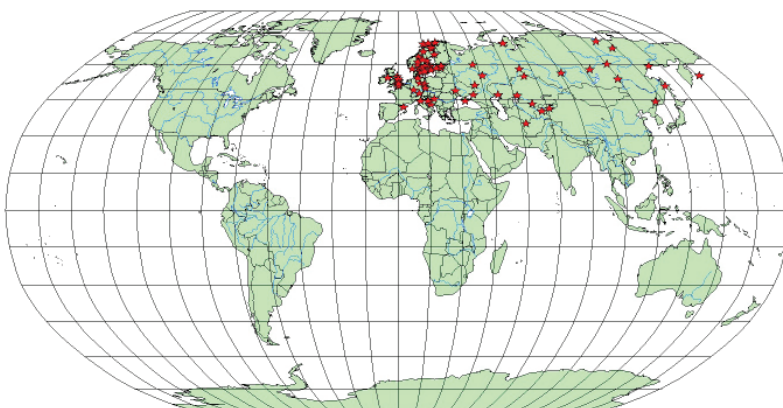


Рис. 3. Метеорологические станции Земли с данными о температуре воздуха за последние не менее 100 лет. 73 станции

Даже после всей описанной многоэтапной работы по объединению разрозненных данных с целью улучшению полноты данных по станциям в результирующих временных рядах осталось много пропусков. Данные по станциям ECA имеют меньше пропусков, чем те, которые взяты из свободного доступа на сайте NCDC. Длительность рядов ECA тоже больше, чем рядов NCDC. Но преимуществом данных NCDC является их глобальный охват.

Альтернативным способом привлечения глобальных данных о температуре воздуха является использование данных в узлах регулярной сетки (GRID), которые тоже есть в открытом доступе [8], но только среднемесячные. Однако и в данных GRID, заявленных с 1880 года, регулярные данные начинаются только примерно с 1960 года. Полнота данных в узлах сетки удовлетворительная. Для их создания авторы используют более полные исходные данные по станциям из других источников, которых нет в открытом доступе. Альтернативы суточным данным нет.

Заключение

Проведённый анализ показал, что по станциям мира суточные данные по температуре воздуха, которые представлены в свободном доступе, не могут быть использованы в исследованиях климата без предварительной обработки, так как часто представлены разрозненными отрезками временного ряда по каждой станции и имеют много пропусков в данных. По сравнению с данными NCDC данные ECA содержат меньше указанных недостатков. Вторым преимуществом данных ECA является большая длительность рядов (иногда с конца XVIII века) предположительно от начала наблюдений по каждой станции, но проверить это по всем станциям нет возможности. Данные NCDC самые ранние по нескольким станциям начинаются с 1929 года, но массово начинаются только с 1973 года. Это отмечено в описании исходного массива, представленного в свободном доступе.

После слияния всех разрозненных данных каждой станции и слияния рядов из двух источников появились ряды, которые можно использовать в исследованиях климата, но с учётом имеющихся недостатков. Несмотря на всю проделанную работу по

созданию временных рядов, полученные объединённые ряды содержат много пропусков в данных. Это необходимо учитывать при выборе методов анализа этих данных.

Там, где возможно, рекомендуется вместо массива месячных данных по станциям использовать месячные данные в узлах регулярной географической сетки, имеющиеся в свободном доступе, они более полные.

Полученные ряды суточных данных о температуре воздуха по станциям всего мира заменить нечем. Суточных данных в узлах сетки нет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шерстюков Б. Г. Шерстюков А. Б.* Оценка опасности лесных пожаров при потеплении климата в XXI веке // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Вып. 178. Обнинск, 2014. С. 135 – 146.
2. *Шерстюков Б. Г.* Асинхронные дальние связи температуры воздуха в Центральном регионе России с температурой поверхности Мирового океана // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 184. 2019. С. 67 – 79.
3. *Шерстюков Б. Г.* Физико-статистическое моделирование колебаний климата и опыт прогноза на два десятилетия колебаний температуры воздуха Северного полушария // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 181. 2018. С. 31 – 51.
4. *Шерстюков Б. Г.* О возможном резонансном механизме колебаний климата // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 181. 2018. С. 52 – 70.
5. *Шерстюков Б. Г.* Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 184. 2019. С. 80 – 93.
6. <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsod/>. Дата обращения – июнь 2020 г.
7. *European Climate Assessment & Dataset project* <https://www.ecad.eu/>. Дата обращения июнь 2020 г.
8. <https://www.ncdc.noaa.gov/isd/data-access>. Дата обращения – июнь 2020 г.

УДК 551.524

ГОМОГЕНИЗАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЯДОВ НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

А. Ф. Финаев¹, В. Н. Разуваев²

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

Введение

Основой для оценки изменений климата являются много-летние ряды данных инструментальных наблюдений на гидрометеорологических станциях. Массивы данных, используемые в таких исследованиях, должны быть однородны. Это означает, что изменения гидрометеорологических характеристик должны происходить только по причинам изменения погоды. К сожалению, данные, поступающие со станций, не обладают этими свойствами, так как кроме погодных изменений на показания приборов влияют посторонние причины или шумы различного характера. Такими причинами могут быть: перемещение станции на другое место; смена модели прибора; изменение сроков наблюдения; нарушение защиты прибора от внешних воздействий; неправильная калибровка прибора; технические ошибки при записи и наблюдении (человеческий фактор); перерывы в наблюдениях (разрыв непрерывности ряда); изменение окружающей среды (строительство зданий, рост растительности, появление водоёмов вблизи наблюдательной площадки, влияние транспорта и т. д.) и многие другие помехи.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) предоставляет пользователям данные температуры 518 станций территории России [1]. Этот массив данных проверен на качество и подготовлен для использования [2].

Причины неоднородности неоднократно обсуждались сотрудниками института, однако тесты на однородность и вычисления однородных рядов не выполнялись [2, 3]. Поэтому задачей данного исследования является выполнение гомогенизации средне-месячной температуры воздуха и получение однородных рядов этой климатической характеристики.

Данные и методы

Долговременные ряды данных метеорологических параметров редко бывают однородными. Данная проблема давно находится в поле зрения исследователей. Причиной является большое разнообразие шумов и их весовое влияние на гидрометеорологические характеристики. В мировом научном сообществе много научных групп заняты решением проблемы однородности или гомогенизации рядов данных [4]. В основном предлагается выполнить четыре теста на однородность [5]: тест Александерсона (SNHT – standard normal homogeneity test), тест Буишанда, тест Петита и тест-отношение Фон-Ноймана, – которые можно использовать только для среднегодовых климатических характеристик. Выполнение этих тестов для больших массивов данных множества станций представляет значительные затруднения. Компания по разработке программного обеспечения Addinsoft [6] разработала приложение к Microsoft Excel для статистического анализа данных, в которой есть раздел гомогенизации. Это приложение выполняет четыре указанных выше теста, которые определяют точки смещения рядов данных, но не создают однородный ряд. Результаты выводятся в виде таблиц и графиков в Excel-файле для каждой станции. Приложение коммерческое и имеет бесплатный период только 14 дней.

Исправление нарушения однородности и заполнения пропусков наблюдений иногда выполняют путём корреляции между короткими и длинными рядами данных нескольких ближайших станций [5, 7].

Для решения задачи однородности рядов климатических данных комиссией климатологии при ВМО была создана целевая группа по гомогенизации (ТТ-НОМ) под руководством Виктора Венема

и Мэтью Мане, которая объединила научные сообщества из разных стран [8]. В задачи группы входило выявление наиболее квалифицированных и эффективных методов гомогенизации и контроля качества климатологических рядов.

В настоящее время группой ТТ-НОМ комиссии по климатологии ВМО представлена вторая версия руководства по гомогенизации данных климатических станций [9]. В этой работе проведён обзор и дана оценка качества, возможностей и параметров использования 10 вариантов пакетов программ для выполнения гомогенизации и получения однородных климатических рядов (таблица 1, сокращённая) [10]. Пакеты программ отличаются скоростью выполнения операций, автоматизацией и интерактивными действиями оператора, возможностью использования опорных станций и эталонного ряда, климатическими переменными, количеством обрабатываемых станций, временным разрешением, уровнем лицензии, программной средой, наличием или отсутствием графического интерфейса, методами коррекции данных и некоторыми другими характеристиками.

Предлагаемые ТТ-НОМ программы используются во многих странах для гомогенизации климатических рядов, а многочисленные примеры [11] показывают влияние разных не климатических факторов на изменения в рядах метеорологических данных. Одним из таких примеров является гомогенизация суточных температур и осадков для более 400 станций северного Китая за период 1978 – 2015 гг. с помощью программного пакета MASH (Lingling Shen и др., 2018) [12]. Результаты показали, что нарушение однородности присутствовало на всех станциях. Наибольшая неоднородность данных выявлена после 2000 года. Авторы связывают эти нарушения однородности рядов с широкомасштабной заменой приборов. В результате использования пакета MASH были получены однородные ряды температуры и осадков.

Исходя из имеющейся информации о характеристиках программного обеспечения и климатогеографических условий для выполнения задачи по получению однородного массива данных среднемесячной температуры воздуха для 518 станций территории России выбран пакет RHtests [13].

Таблица 1

Список программных пакетов для выполнения томоенизации, предлагаемых ТТ-НОМ

Исходные характеристики						Результаты				
Пакет	Тип программы	Операция	Граф. интерфейс	Период	Климатические переменные	Макс. кол-во серий	Однородная серия	Исправленные выбросы	Исправлены разрывы	Графики
АСМАНТ	Исполняемая	Автомат.	Нет	Месяц и день	Температура и осадки	4000	Да	Да	Да	Нет
AnClim ProClimDB	Исполняемая	Интеракт. и автомат.	Да	Любое	Любые	?	Да	Да	Да	Да
Climatol	R пакет	Автомат.	Нет	Месяц и день	Любые	9999*	Да	Да	Да	Да
GANMDI NOMAD	R пакет R/ Fortran	Автомат. Интеракт.	Нет	Месяц и день	Любые Температура	?	Да	Нет	Да	Да
GSIMCLI	Python	Автомат. и интеракт.	Да	Месяц и год	Любые	9999*	Да	Да	Да	Нет
HOMER	R пакет	Интеракт.	Нет	Месяц	Любые	?	Да	Да	Да	Да
MASH	Исполняемая	Автомат. и интеракт.	Нет	Месяц и день	Любые	500	Да	Да	Да	Да
ReDistribution Test	R пакет	Интеракт.	Нет	Суб-дневной	Скорость и направление ветра	?	Нет	Нет	Обнаружение разрыва	Нет
Rntests	R пакет	Интеракт.	Да	Месяц и день	Любые	1	Да	Нет	Да	Да
USHCN	Fortran пакет	Автомат.	Нет	Месяц	Температура	9999*	Да	?	Да	Нет

Примечания. 1. Более подробные характеристики программ можно посмотреть на сайте: <http://www.climatol.eu/tt-hom/>.

2. * – Макс. кол-во серий = 9999 означает, что ограничение накладываться доступными ресурсами компьютера.

Пакет RHtests

Пакет RHtests разработан Центром исследований климата Министерства окружающей среды Канады, и с его помощью можно тестировать и корректировать временные ряды метеорологических данных в масштабе года, месяца и дня. Авторами являются научный коллектив под руководством доктора Си. Л. Ванг [13].

Пакет RHtests работает в программной среде R и реализует несколько тестов обнаружения разрывов с учётом автокорреляций и расстояния от краёв ряда. Эталонный ряд, если он используется, должен быть вычислен оператором по нескольким станциям, находящимся вблизи исследуемой станции и имеющим корреляцию данных в периоды параллельных наблюдений [14, 15]. Это единственный метод в списке пакетов, который имеет возможность гомогенизации без эталона (опорного ряда) [16, 17]. В пакете также используется метод квантильного согласования (QM – Quantile-Matching) [18, 19], который улучшает результат. В случае неоднозначности результатов в работу пакета можно включать документированные точки разрыва. Запуск программы для обработки данных выполняется оператором для каждой станции отдельно и не предназначен для автоматической процедуры тестирования сразу нескольких станций.

Когда сеть слишком разрежена и фактически нет близких станций, которые можно было бы использовать для создания эталонного ряда, единственным вариантом является использование режима абсолютной гомогенизации. Такой метод реализован только в RHtests. Оператор может вносить изменения в выявленные точки разрыва при визуальном анализе результатов с учётом метаданных и исторической информации. Программа пересчитывает данные с учётом изменений, внесённых оператором.

Считается, что выполнение гомогенизации по эталонному ряду даёт более точные результаты. Эталонный ряд предварительно вычисляется по близко расположенным станциям, имеющим достаточно высокую корреляцию между собой и исследуемой станцией. Расчёты проводятся за временные интервалы параллельных наблюдений. Необходимо иметь 3 – 6 таких станций, расположенных в пределах 20 – 50 км от исследуемого пункта.

Для оценки таких условий выполнен расчёт взаимного расположения станций в исследуемом массиве данных. Оказалось, что только 1 % станций расположен в пределах 20 км между собой, 8 % станций находятся на расстоянии 20 – 50 км и 30 % станций заполняют интервал от 50 до 100 км (рис. 1). На взгляд авторов данной работы нет обоснований составлять опорный ряд из далеко расположенных (более 50 км) наземных станций, т. к. большие расстояния существенно влияют на изменение климатических условий между такими пунктами.

По причине таких географических ограничений и огромной территории гомогенизация данных среднемесячной температуры воздуха выполнялась пакетом RHtests в режиме «без эталонного ряда».

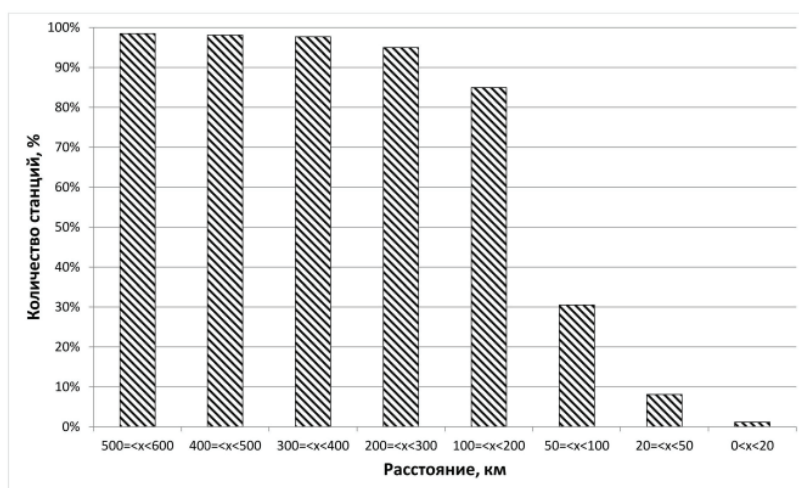


Рис. 1. Количество станций (%) в интервалах расстояния между ними

Результаты

Исходным материалом послужил один текстовый файл со среднемесячными данными всех станций. Для выполнения тестов по каждой станции были подготовлены отдельные текстовые (входные) файлы согласно определённому шаблону. В результате

выполнения теста в выходном каталоге станции создаются следующие пять файлов:

- OutFile_1Cs.txt – вместо OutFile подставляется название (индекс) станции, аналогичный входному файлу. В файле представлены количество и даты смещений ряда, индексы значимости и некоторые другие характеристики.

- OutFile_mCs.txt – является дубликатом файла OutFile_1Cs.txt, предназначен для введения корректировок оператором и используется в повторном тестировании с учётом сделанных изменений.

- OutFile_U.dat – этот файл содержит:

- 2-кол. – Data – даты наблюдения;

- 3-кол. – T – исходный базовый ряд;

- 4-кол. – Trend – линейный тренд базового ряда и его сдвиги;

- 5-кол. – Tave – скорректированный базовый ряд;

- 6-кол. – Anomal – базовый ряд аномалий (т.е. базовый ряд с вычтенным среднегодовым циклом);

- 7-кол. – ReA – многофазная регрессия ряда аномалий;

- 8-кол. – Cycle – расчётный средний годовой цикл вместе с линейным трендом и средними сдвигами;

- 9-кол. – Tcorrect – базовый ряд с корректировкой QM;

- 10-кол. – Regress – модель многофазной регрессии, соответствует несезонированному базовому ряду без учёта сдвигов.

- OutFile_U.pdf – в этом файле хранятся пять графиков. В качестве примера приведём результаты гомогенизации данных метеостанции о. Визе (файл 20069_U.pdf), (рис. 2 – 6).

- OutFile_Ustat.txt – в дополнение ко всем результатам, хранящимся в файле OutFile_1Cs.txt, этот выходной файл содержит оценки параметров соответствия $(N_c + 1)$ -фазной модели регрессии, включая размеры идентифицированных средних сдвигов, линейный тренд и автокорреляцию лаг-1 базовой серии.

Предварительный анализ результатов тестирования среднемесячной температуры воздуха 518 станций за весь период наблюдений показал следующее:

- 221 (42,7 %) станция имеет однородные ряды данных; в коррекции не нуждается;

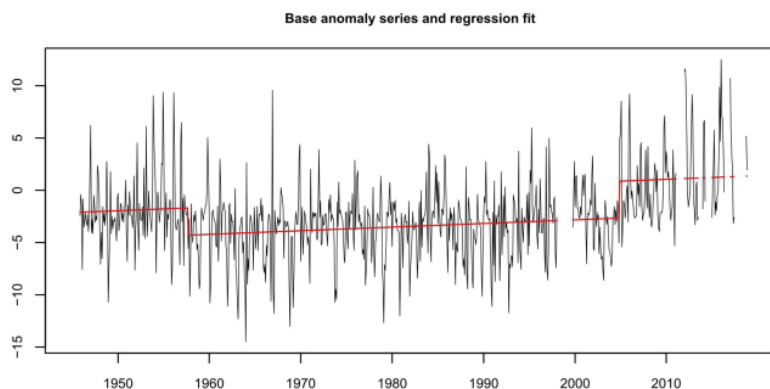


Рис. 2. Базовый ряд аномалий (аномалии относительно среднего годового цикла базового ряда) вместе с моделью многофазной регрессии, метеорологическая станция о. Визе

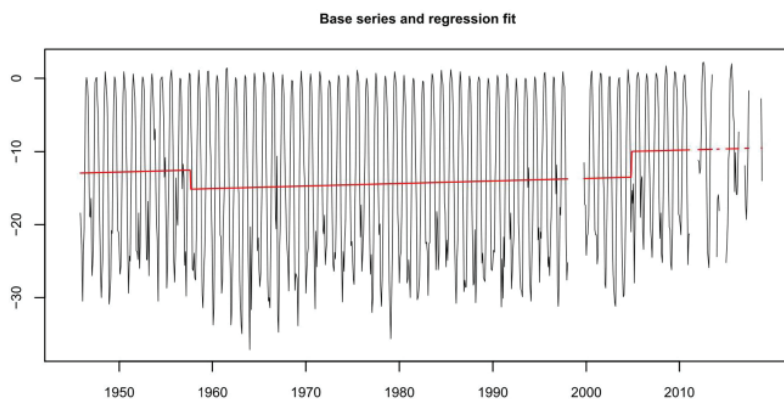


Рис. 3. Базовый ряд со средними сдвигами и линейным трендом, метеорологическая станция о. Визе

- 283 (54,6 %) станции имеют нарушения однородности; выполнена автоматическая коррекция, в результате чего получены однородные ряды;
- 14 (2,7 %) станций имеют нарушение однородности; требовалась дополнительная коррекция в ручном режиме с подтверждением тестами на основе суточных данных с использованием

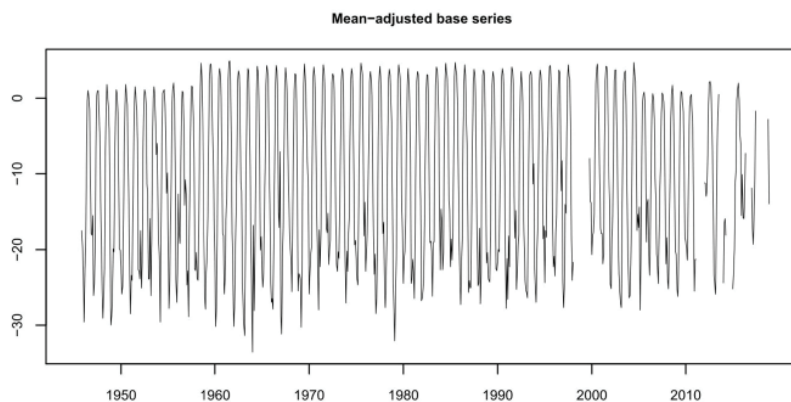


Рис. 4. Ряд, скорректированный по средней базовой серии, метеорологическая станция о. Визе

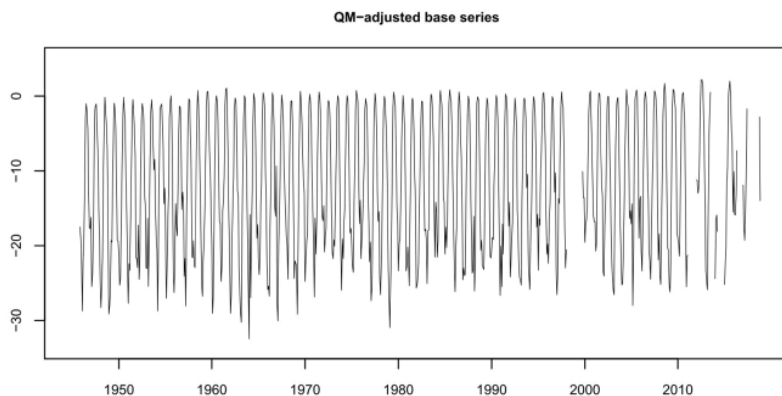


Рис. 5. Ряд, скорректированный по QM, метеорологическая станция о. Визе

метаданных и повторный прогон расчётной программы. В результате получены однородные ряды для этих станций.

Следует отметить, что иногда для подтверждения изменений использовались метаданные станций. Однако эта информация ограничена только датами о перемещении и перерывами в рядах наблюдений на станциях.

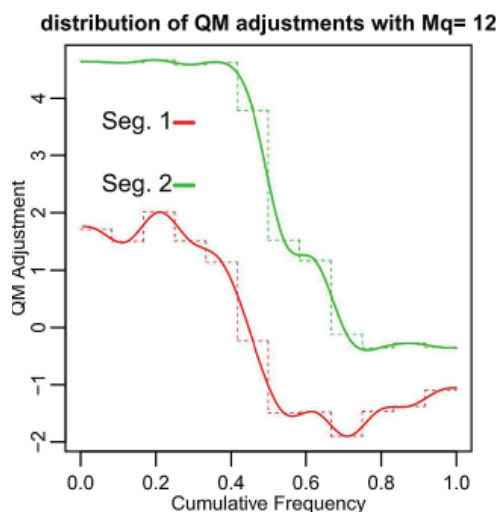


Рис. 6. Распределение корректировок по QM, метеорологическая станция о. Визе. $Mq=12$ (Mq – число квантилей)

Предварительный анализ результатов исследования показал несколько временных интервалов, в которых выявлено повышенное количество станций с нарушением однородности (рис. 7).

Использование пакета Rhtests позволило выполнить гомогенизацию данных 518 станций России за весь период наблюдений. В результате для каждой станции были созданы 5 файлов со статистическими параметрами и однородными рядами исследуемой климатической характеристики.

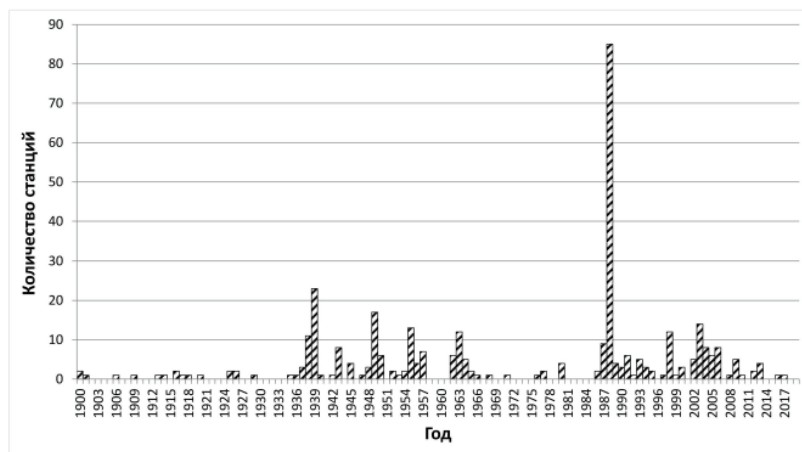


Рис. 7. Количество станций с нарушением однородности

Заключение

Анализ возможностей и условий эксплуатации десяти программных продуктов для выполнения гомогенизации, предлагаемых комиссией по климатологии ВМО, позволил определить оптимальную программу RHtest для тестирования среднемесячной температуры воздуха.

На следующем этапе необходимо проанализировать полученные результаты и создать массив однородных данных среднемесячной температуры воздуха. Кроме того, следует попытаться выяснить причины повышенного нарушения однородности в некоторые временные интервалы периода наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ВНИИГМИ-МЦД // <http://meteo.ru>.
2. Разуваев В. Н. Из истории климатических исследований во ВНИИГМИ-МЦД // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 28 – 69.
3. Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н. Специализированные массивы данных для климатических исследований // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 136 – 148.
4. Venema V.K.C., Mestre O., Aguilar E., Auer I., Guijarro J.A., Domonkos P., Vertacnik G., Szentimrey T., Stepanek P., Zahradnicek P., Viarre J., Müller-Westermeier G., Lakatos M., C. N. Williams, Menne M.J., Lindau, D. Rasol, Rustemeier E., Kolokythas K., Marinova T., Andresen L., Acquaotta F., Fratianni, Cheval S., Klancar M., Brunetti M., Gruber C., Prohom Duran M., Likso T., Esteban P., and Brandsma T. Benchmarking homogenization algorithms for monthly data // *Clim. Past*, 8, 89-115, 2012. www.clim-past.net/8/89/2012/ doi:10.5194/cp-8-89-2012.
5. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / Под ред. Н. В. Кобышевой. // Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова. СПб. 2008. 336 с.
6. Addinsoft // <<https://www.xlstat.com/en/company/about-us>>.
7. Finaev A., Liu Shiyin, Bao Weijia, Jing Li. Climate change and water potential of the Pamir // *Geography, Environment, Sustainability*. 2016. No. 03 (v. 09). Russian geographical society, Faculty of geography, Lomonosov moscow state university, Institute of geography, RAS. P. 88 – 105.
8. Task Team on Homogenization (OPACE2, WMO Commission for Climatology) // <www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace2/TT-HOM-2-4.php>.

9. Venema V., Trewin B., Wang X., Szentimrey T., Lakatos M., E. AguilarIngeborg Auer, J. A. Guijarro, M. Menne, C.Oria, W. S. R. Likeba Louamba, Rasul G. Guidance on the homogenization of climate station data. Draft version // November 2018. 83 p. <<https://eartharxiv.org/8qzrf>>.
10. WMO Commission for Climatology // <www.climatol.eu/tt-hom/>.
11. Climate Data Homogenization. Examples of Inhomogeneities in Climate Datasets // <etccdi.pacificclimate.org/example.shtml>.
12. Lingling Shen, Li Lu, Tianjie Hu, Runsheng Lin, Ji Wang, and Chong Xu. Homogeneity Test and Correction of Daily Temperature and Precipitation Data (1978 – 2015) in North China // Academic Editor: Jorge E. Gonzalez. Hindawi. Advances in Meteorology. Volume 2018, Article ID 4712538, 17 p. doi.org/10.1155/2018/4712538.
13. Wang X. L. and Feng Y. RHtestsV4 User Manual. // Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. 28 pp. <etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>.
14. Wang X. L. Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test // J. Appl. Meteor. Climatol. 2008a, 47, 2423-2444.
15. Wang, X. L., Wen Q. H., Wu Y. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series // J. Appl. Meteor. Climatol. 2007, 46 (No. 6), 916-931. DOI:10.1175/JAM2504.1.
16. Wang, X. L. Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test // J. Appl. Meteor. Climatol. 2008, 47, 2423-2444.
17. Wang X. L. Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change // J. Atmos. Oceanic Tech. 2008b, 25 (No. 3), 368-384. DOI:10.1175/2007/JTECHA982.1.
18. Wang X. L., Chen H., Wu Y., Feng Y., Pu Q. New techniques for detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series // J. Appl. Meteor. Climatol. 2010. 49 (No. 12). P. 2416 – 2436. DOI: 10.1175/2010JAMC2376.1.
19. Vincent L. A., Wang X. L., Milewska E. J., Wan H., Feng Y., Swail V. A Second Generation of Homogenized Canadian Monthly Surface Air Temperature for Climate Trend Analysis // JGR- Atmospheres, 2012. 17 p. D18110, doi:10.1029/2012JD017859.

УДК 551.501.777 : 551.583

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСАДКОВ: МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ, БАЗЫ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАДКОВ В ИССЛЕДОВАНИИ КЛИМАТА И ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Н. В. Швець

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

Введение

Атмосферные осадки существенно влияют на все сферы человеческой жизнедеятельности. Наблюдения за осадками включают измерение количества выпавших осадков, определение вида осадков, их интенсивности, времени выпадения. Интенсивность осадков представляет собой одну из наиболее сложных для определения и аутентичного использования в практической деятельности характеристик осадков. Это объясняется недостаточной точностью её измерения, а также определёнными сложностями, возникающими на этапе обработки и преобразования исходных данных в специализированные показатели. За последние 20 лет появилось огромное число работ, посвящённых исследованию экстремальных осадков, с которыми связаны катастрофические экономические потери [1 – 3].

Как и вся климатическая продукция, данные об интенсивности дождей находят своё применение в самых различных областях экономики: на этапе планирования социально-экономического развития, при проектировании зданий и сооружений, в дорожном и коммунальном хозяйстве и т. д. Подробная информация об интенсивности дождей крайне необходима при проектировании вновь строящихся и реконструируемых систем водоотведения [4, 5]. Подобный возрастающий интерес можно объяснить исходя из парадигмы общего изменения климата на планете, которое

привело к изменению привычного режима осадков. С другой стороны, существует необходимость разработки новых, более точных специализированных показателей интенсивности осадков на основе данных наблюдений. Достоверность оценки специализированных показателей, включаемых, например, в строительные нормативы, определяет в значительной степени стоимость сооружений, безопасность конструкций и многое другое.

1. Типы плювиографов

Для регистрации количества осадков на сети станций нашей страны с 1890-х годов до начала 1950-х годов наблюдения велись по дождемеру с защитой Нифера, а с середины 1950-х годов – по осадкомеру конструкции Третьякова. Для непрерывной регистрации количества и интенсивности выпадающих жидких осадков используется прибор плювиограф, который на сети станций нашей страны начали устанавливать с 1936 г. Данные наблюдений по плювиографу используются для определения максимальной интенсивности за различные интервалы времени.

Если кратко коснуться устройства плювиографов, то все они состоят из трёх основных узлов: системы для сбора осадков, механизма для измерения их сумм и регистраторов сумм осадков во времени [6]. Системы для сбора осадков принципиально не отличаются от систем осадкомеров и страдают теми же погрешностями. И следует заметить, что ветровой недоучёт у плювиографа выше, чем у осадкомера. У плювиографа П-2, установленного на станциях наблюдения нашей страны, ветровой недоучёт в два с половиной раза выше, чем у осадкомера. Плювиографы, работающие за рубежом, в среднем регистрируют на 2,5 – 6,0 % осадков меньше, чем осадкомеры [7]. Согласно [8], для станций бывшего СССР расхождение в количестве осадков за сутки, полученное по записи плювиографа и по данным осадкомера до 10 % считается допустимым.

По механизмам измерения сумм осадков во времени плювиографы делят на пять основных типов: поплавковые, весовые, челночные, камерные (клапанные) и резисторные. Наиболее простыми и распространёнными являются плювиографы с поплавковыми

системами измерения распределения осадков во времени. Они состоят из камеры с поплавком, куда поступает вода. Высота подъёма поплавок, перемещающегося по направляющим, однозначно соответствует количеству воды, попавшей в камеру. При полном заполнении камеры срабатывает устройство принудительного слива. По такому принципу устроены плювиограф П-2, применяющийся у нас, плювиографы Ришара, Гельмана, Фусса, плювиограф фирмы Стевенса в США и плювиографы других конструкций, не получившие широкого распространения. Наиболее существенные ошибки в измерении интенсивности осадков приборами рассматриваемого типа приходится на момент автоматического слива, когда осадки не регистрируются. При выпадении сильных ливней часть осадков, падающих в прибор, сливается.

Как понятно из названия, с помощью весовых плювиографов измеряют массу (вес) выпавших осадков; в них слив производится аналогично поплавковым плювиографам.

Широкое применение нашли челночные плювиографы. Принцип работы подобных устройств достаточно прост. Через приёмное отверстие вода попадает в челнок, разделённый на две секции; попеременное заполнение осадками секций приводит к перекидыванию челнока и сливу воды. Число таких перекидываний и служит мерой количества выпавших осадков. Такой принцип устройства лежит в основе работы плювиографов на автоматических станциях нашей страны, национальных метеослужб большинства европейских стран, Канады, США и Японии. Отмечая определённые достоинства таких приборов, следует сказать и о недостатках. К занижению количества осадков приводит, во-первых, то, что при частичном заполнении челнока он не опрокидывается. Во-вторых, при интенсивных осадках при перекидывании челнока часть воды попадает в уже начавшую опорожняться половину челнока.

Что касается камерных плювиографов, то принцип их работы схож с принципом работы челночных плювиографов: в них осадки также распределяются по двум взаимно сообщающимся камерам. Количество сливов воды здесь является мерой выпавших осадков.

В резисторных плювиографах измеряется электрическое сопротивление между помещёнными в сосуд электродами при заполнении его осадками.

Плювиографы различаются и по способам регистрации выпавших осадков. В поплавковых плювиографах реализована непрерывная регистрация выпавших осадков на диаграммной ленте, передвигающейся при помощи часового механизма или иным способом. При работе челночных и камерных приборов на диаграммной ленте фиксируется каждое опрокидывание челнока. Запись сумм осадков за заданный интервал времени реализован в приборах, предназначенных для дистанционных массовых измерений, когда кодируются и передаются по проводам данные за равные, известные интервалы времени.

Рассмотренные виды плювиографов имеют свои достоинства и недостатки. До настоящего времени не удалось создать универсальный прибор, который давал бы надёжные результаты во всех без исключения районах эксплуатации. Во многом выбор прибора должен основываться на анализе условий выпадения осадков. Можно с большой долей уверенности рассчитывать на то, что в районах с преобладанием кратковременных ливней более достоверные результаты дадут камерные приборы измерения осадков. Поплавковые плювиографы более надёжны в районах, где выпадают продолжительные малоинтенсивные дожди. Приборы, принцип работы которых основан на измерении массы выпавших осадков, разумно использовать в местах, где преимущественно жидкие осадки перемежаются с твёрдыми.

2. Наблюдения по плювиографу на станциях СССР и РФ

Как уже говорилось выше, на ряде метеорологических станций нашей страны установлены для непрерывной регистрации количества и интенсивности выпадающих жидких осадков плювиографы П-2. Правила эксплуатации плювиографа П-2 в течение года (установка и разбор прибора в холодное время года), устройство всех узлов прибора детально описаны в «Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам» [7]. Там же определены организации и методика производства наблюдений.

Диаграммная лента плювиографа разграфлена вертикальными и горизонтальными линиями. Горизонтальные линии составляют шкалу количества осадков с шагом 0,2 мм осадков. Вертикальные линии составляют шкалу времени с шагом 10 минут. До 1969 года обработка лент плювиографа в нашей стране осуществлялась по характерным точкам (точкам перелома кривой интенсивности), т. е. масштаб осреднения интенсивности в каждом конкретном случае равняется длине временного интервала между точками перелома кривой интенсивности. Характерные точки, соответствующие изменению интенсивности осадков, выделялись только на тех участках кривой, где её наклон был более 45° .

При регистрации интенсивности жидких осадков с 1969 года на станциях средняя интенсивность определяется за каждые 10 минут выпадения осадков.

Так как интенсивность выпадения осадков вычисляется для 10-минутных интервалов, это вызывает необходимость детальной регистрации осадков в достаточно большом масштабе. Так как увеличивать размеры диаграммной ленты, на которой производится регистрация, невозможно, в плювиографе специальным устройством обеспечивается непрерывная регистрация выпадающих осадков последовательно для порций по 10 мм, укладываемых в принятом масштабе записи на ленте. Запись начинается от нижней границы ленты (от нуля). После выпадения 10 мм осадков перо достигает верхней границы, затем запись снова начинается от нуля.

3. Обработка лент плювиографа на станциях наблюдения

На станциях обработке подвергаются ленты при исправной работе прибора с записями дождя при сумме осадков за дождь 2,5 мм и более [9]. Обработка лент плювиографа производится за весь период дождя и включает подсчёт количества осадков на окончание каждого 10-минутного интервала (в конце и в начале дождя время может составить менее 10 минут). Вычисляется и вводится поправка на слив. И, наконец, вычисляется средняя интенсивность за каждый 10-минутный интервал.

Если дождь шёл с перерывами 1 час и менее, то его принимают за один дождь. Обработанная лента плювиографа содержит данные количества осадков и интенсивность дождя за шесть 10-минутных интервалов каждого часа дождя. Если зафиксировано один или несколько естественных сливов и количество осадков на ленте меньше количества осадков, полученных по контрольному сосуду, и составляет величину большую, чем 0,1 мм, вводится поправка на слив. Она представляет собой разность между количеством осадков в контрольном сосуде и на ленте, делённую на количество сливов за сутки. Эта величина прибавляется к количеству осадков каждого 10-минутного интервала после слива.

Средняя интенсивность дождя за каждый 10-минутный интервал вычисляется путём деления количества осадков за этот интервал на 10. В начале и конце дождя его интенсивность может быть рассчитана за интервал, меньший 10 минут.

По данным лент записи плювиографа составляется месячная таблица данных интенсивности дождя ТМ-14. Таблица содержит информацию о дате, часах и минутах начала, окончания дождя и конца последовательных интервалов. Количество осадков записывается от начала дождя до конца каждого интервала с точностью до 0,1 мм. С ленты переносится интенсивность дождя для каждого интервала. По каждому дождю вычисляется продолжительность дождя, общая сумма выпавших осадков, рассчитывается средняя интенсивность всего дождя.

4. Размещение данных наблюдений

Результаты наблюдений за интенсивностью осадков с 1936 по 1960 г., произведённых по методике, изложенной в упомянутом выше «Наставлении» по обработке результатов метеорологических наблюдений, опубликованы в [10, 11 и 12]. В этих сборниках размещены данные, содержащие сведения о ливневых и обильных обложных дождях с суммой осадков более 10 мм, обработанные по характерным (переломным) точкам. Для каждого из таких дождей приводятся следующие сведения: дата дождя, время его начала и наступления всех последующих характерных (переломных) точек, сумма осадков за время от начала дождя до

каждого переломного момента (в миллиметрах) и интенсивность дождя в пределах указанных интервалов времени (в мм/мин). Для дождей, наибольшая интенсивность которых составляет 0,04 мм/мин, помещаются сведения о времени начала и конца дождя, а также о сумме осадков за дождь и средней интенсивности. Напомним, что дождь принимается за отдельный, если он выпадает без перерывов или с перерывами, не превышающими одного часа.

В последующих публикациях, в частности в «Справочнике по климату СССР» [13], приведены сведения о максимальной интенсивности осадков за различные интервалы времени (5, 10, 20, 30, 60 мин), полученные по данным плювиографа. Методика определения интенсивности осадков по записям плювиографа состояла в следующем. В году выбирались наибольшие слои осадков по заданным интервалам времени. А максимальная интенсивность определялась путём деления выбранных сумм осадков на эти интервалы времени. Для определения интенсивности осадков за интервалы времени 12 и 24 часа привлекались данные по осадкомеру. Период анализируемых рядов с наблюдениями по плювиографу колебался от трёх до 43 лет. Понятно, что значения максимальной интенсивности осадков для станций с периодом наблюдений менее пяти лет следует считать ориентировочными.

С 1961 г. данные по интенсивности осадков представлены в таблицах «Метеорологического ежемесячника, часть 2» [13]. Данные наблюдений по плювиографу с 1984 года по настоящее время представлены в архиве ТМС [14], содержащем результаты текущих наблюдений, производимых на метеорологических станциях в соответствии с методикой, изложенной в «Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам» [15], и закодированные согласно правилам, изложенным в «Методических указаниях по машинной обработке и контролю данных гидрометеорологических наблюдений» [16]. Фактически в архиве ТМС заархивирована в языке описания данных (ЯОД) режимная приземная метеорологическая информация станций (и, в частности, данные плювиографа), прошедшая всесторонний контроль. Формирование архива – это заключительный этап автоматизированной системы

контроля, обработки и создания фонда данных режимной гидрометеорологической информации. Исходными данными для этого этапа являются обработанные данные в промежуточном формате, полученные в результате работы первого этапа системы. Входными данными для автоматизированной системы являются результаты наблюдений за метеорологическими элементами, занесённые на технические носители в закодированном виде. На этапе занесения данных в пунктах подготовки информации (на станциях, оборудованных телетайпами, УПДМЛ, кустовых станциях перфорации) производится контроль правильности занесения информации путём сравнения с данными книжек наблюдения. Преобразование информации из промежуточного формата в формат ЯОД осуществляется после применения целого комплекса синтаксического, семантического, межстанционного контроля.

В 1998 г. обработка информации стала осуществляться на ПЭВМ, при этом была решена проблема совместимости и приемственности данных, обработанных на ЭС ЭВМ и хранящихся в виде ЯОД-архивов ТМС [17].

Данные плювиографа представлены в архиве в двух типах записей. Одна из них – PLUV – содержит исходные данные плювиографа (результаты наблюдений). Результаты наблюдения приведены для станций, на которых установлен плювиограф и для тех месяцев, в которые выпадали осадки.

Данные за сутки содержат ежечасные значения количества зарегистрированных плювиографом осадков на окончание каждого 10-минутного интервала. В каждой записи кроме основных ключевых элементов (год, месяц координатный номер станции, тип записи) содержатся сведения о количестве часовых интервалов с данными о дожде, о значениях дней с дождём, о номерах часовых интервалов в дне с дождём, о количестве осадков за каждый часовой интервал с дождём. Ниже помещён запрос на выборку данных наблюдений по плювиографу из Госфонда, представленных в формате ЯОД. Выполнение этой процедуры обеспечивается системой Аисори – Вепрь [18, 19]. На рис. 1 приведён запрос на выборку исходных данных плювиографа из структуры PLUV, а на рис. 2 – пример выборки.

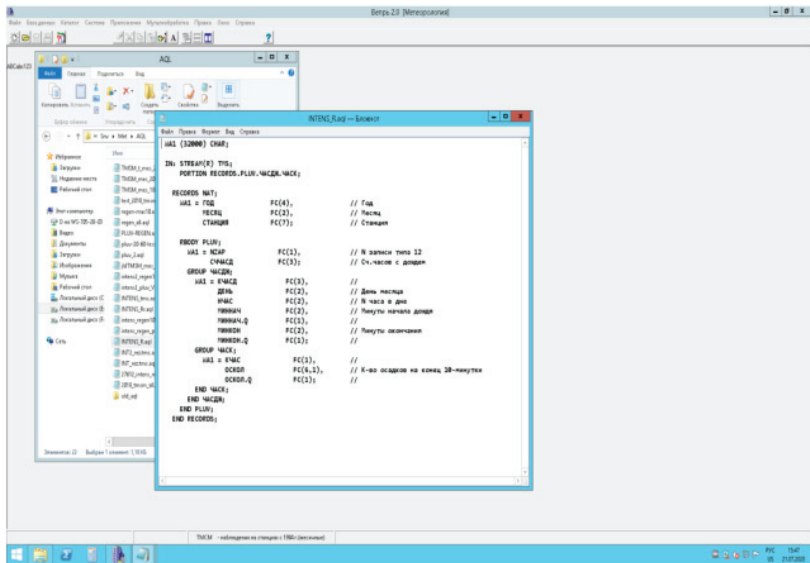


Рис. 1. Запрос на выборку исходных данных плювиографа, архив ТМС

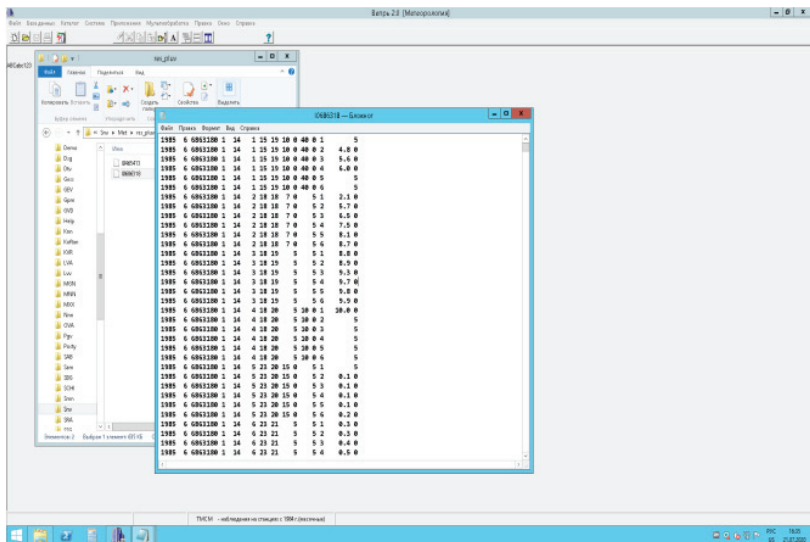


Рис. 2. Выборка исходных данных плювиографа, архив ТМС

Второй тип записи (REGEN) содержит обработанные данные pluviографа. Каждая отдельная запись содержит сведения об одном дожде и имеет переменную длину, которая определяется количеством интервалов равной интенсивности дождя, число которых может достигать четырёхсот. Количество экземпляров записей типа REGEN определяется количеством дождей за месяц, зарегистрированных станционным прибором. Записи REGEN может не быть по причине отсутствия pluвиографа или из-за того, что на станции в течение месяца не было дождей с количеством осадков 2,5 мм и более. Вариант запроса на выборку обработанных данных pluвиографа и пример выборки данных из архива ТМС приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

Обработанные данные плувиографа при сумме осадков за дождь 10,0 мм и более представлены в архиве TCMC [20]. Структура записи (REGEN) приведена на рис. 5.

В работах, посвящённых изучению режима увлажнения, указывалось, что период наблюдения по плювиографу менее 25 лет не достаточен для определения максимально возможной интенсивности осадков. Полученные по нему характеристики следует

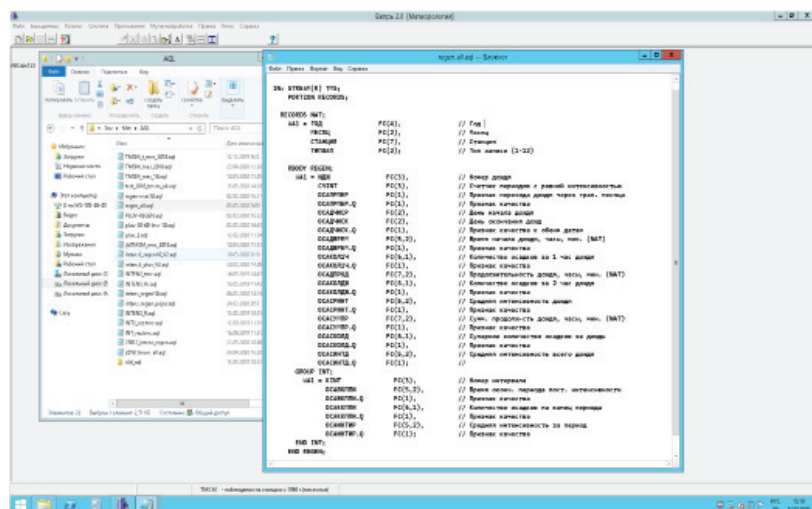


Рис. 3. Запрос на выборку обработанных данных плювиографа, архив ТМС

[illegible]

Рис. 4. Выборка обработанных данных плювиографа из архива ТМС

Рис. 5. Запрос на выборку обработанных данных плювиографа, архив ТМСМ

считать ориентировочными. Многие авторы, занимающиеся расчётом тех или иных специализированных характеристик интенсивности осадков, определяют такой период в 30 лет и не менее [21]. Как было показано выше, во ВНИИГМИ-МЦД накоплена достаточная база данных об интенсивности осадков. В рассмотренных выше архивах (на технических носителях) имеются данные по 1 590 станциям за период с 1984 года и по текущее время.

5. Использование данных интенсивности осадков в научной и прикладной сферах

Исследователям и разработчикам специализированных характеристик осадков необходимы данные об интенсивности осадков за различные интервалы времени. Как было сказано выше, в Справочнике по климату [12] приведены сведения о максимальной интенсивности осадков за различные интервалы времени от 5 мин до суток за период по 1965 г. По имеющимся во ВНИИГМИ-МЦД данным можно непосредственно представлять и обновлять информацию о наблюдаемых максимумах интенсивности осадков за 10-минутные интервалы. Средний максимум интенсивности осадков за 20 минут можно получить с помощью достаточно простого метода скользящего осреднения с 10-минутным сдвигом периода осреднения. Эта методика может быть использована и для определения максимальной интенсивности дождя за 30, 60 минут. Однако следует помнить, что нужно анализировать все дожди, отмеченные на этой станции, так как максимальные интенсивности за 20, 30, 60 минут могут наблюдаться не в один и тот же дождь. Довольно часто требуется знать интенсивность осадков за периоды времени 2 и 5 минут. В этом случае следует использовать следующий алгоритм. Вначале необходимо выбрать данные об интенсивности осадков за все имеющиеся короткие интервалы времени, меньшие 10 минут. Практически на всех станциях в самом начале коротких и очень сильных дождей есть такие данные. Привлекая эти данные и данные Справочника по климату, необходимо построить зависимости максимальных интенсивностей от тех временных промежутков, данные для которых имеются. Основываясь на полученных зависимостях, можно

рассчитать максимальные интенсивности за требуемые периоды. Для аппроксимации зависимости интенсивности осадков от длины периода чаще всего подходит степенная или логарифмическая функция. Поскольку архивы ВНИИГМИ-МЦД постоянно пополняются, то есть непосредственная возможность корректировать эмпирические максимумы за различные интервалы времени.

Максимальная интенсивность осадков, как и сами суммы осадков и экстремальные значения всех характеристик осадков, подвержена большой изменчивости во времени. Максимальные интенсивности за все временные интервалы находятся в большой зависимости от длины периода наблюдений на станции. Как правило, этой длины ряда не хватает для того, чтобы с достаточной полнотой представить данную характеристику. По этой причине в исследовательских и практических целях максимальную интенсивность дополняют такой характеристикой, как вероятность. Вероятность – это повторяемость, полученная по данным длинного ряда наблюдений, где повторяемость представляет собой отношение числа случаев со значениями, входящими в данный интервал к общему числу членов ряда. Последовательно просуммировав относительные или средние частоты соответствующих интервалов в ряду статистического распределения, получают накопленную повторяемость, которая и характеризует частоту появления значений метеорологической величины больше или меньше заданного значения. Суммарная повторяемость на данных длинного ряда представляет собой интегральную вероятность или обеспеченность. В исследованиях по климату, например, в [12] рассчитаны вероятностные характеристики осадков по методу кривых суммарной вероятности или кривых обеспеченности, где под обеспеченностью понимают вероятность значений выше или ниже определённого предела.

Для расчёта обеспеченности берутся наблюденные данные по интенсивности осадков за конкретный интервал времени, которые располагаются в предварительно ранжированном по значениям ряду. Рассчитывается суммарная вероятность или обеспеченность по формуле

$$P_{\leq x_i} = m_i/(n+1), \text{ или } P_{\geq x_i} = 1 - (m_i/(n+1)), \quad (1)$$

где x_i – значение члена ранжированного ряда, m_i – порядковый номер члена ряда, n – общее число лет наблюдений. Для расчёта $P_{\leq x_i}$ исходный ряд ранжируют по убыванию, а для получения $P_{\geq x_i}$ – по возрастанию. По рассчитанным значениям интегральной вероятности и соответствующим им интенсивностям осадков можно строить кривые обеспеченности с применением клетчаток вероятностей [12] или специальных бланков с функциональной координатной сеткой [22]. При построении такого графика одна из шкал или обе являются неравномерными, т. к. на шкале откладываются не значения величины, а значения используемой функции. С интегральной кривой в соответствии с величиной обеспеченности снимается расчётная величина. Таким образом, можно получить обеспеченность максимума интенсивности осадков заданного временного интервала. При относительной субъективности графического метода следует отметить то, что он даёт возможность корректировать интегральную кривую.

Как уже отмечалось выше, данные об интенсивности осадков крайне необходимы во многих областях экономики. Данные наблюдений по плувиографу и разработанные на их основе специализированные характеристики включаются в различные расчётные формулы и схемы.

Разработкой характеристик на основе данных по интенсивности осадков за различные интервалы времени занимаются научные учреждения в нашей стране и за рубежом. Разработанные ими характеристики можно найти в нормативных документах. Так, в строительной индустрии для проектирования систем водоотведения и водоочистки вся необходимая информация представлена в СНиП 2.04.03-85 [23]. Например, для проведения гидравлического расчёта канализационных сетей проектировщикам необходимо получить величину расхода дождевых вод (q_r) по формуле

$$q_r = z_{mid} \cdot A^{1,2} \cdot F / t_r^{1,2n-0,1}. \quad (2)$$

В формулу расчёта входит параметр A , который характеризует интенсивность дождя и вычисляется по формуле

$$A = q_{20} \cdot 20^n (1 + \lg P / \lg m_r)^y. \quad (3)$$

Параметры z_{mid} (коэффициент, характеризующий поверхность бассейна стока), F (площадь стока, га), t_r (продолжительность дождя, мин), n и γ (показатели степени), P (период однократного превышения расчётной интенсивности дождя), m_r (среднее количество дождей за год) определяются по таблицам и приложениям СНиП. Значения параметра q_{20} , представляющего собой интенсивность дождя (л/с) продолжительностью 20 мин на 1 га данной местности при $P = 1$ год, представлены там же в виде карты с нанесёнными изолиниями интенсивности для территории РФ. Но карта не даёт требуемой точности в каждом конкретном пункте. Кроме того, она построена по устаревшим данным. И результаты расчётов в работах некоторых авторов [4, 24] показали, как изменился режим осадков, в частности суточный максимум осадков 1 %-ной обеспеченности и интенсивность осадков за 20-минутный интервал с учётом данных последних лет. Так, для Санкт-Петербурга в [5] полученный суточный максимум осадков 1 %-ной обеспеченности с учётом данных последних лет составил 84 мм вместо 78 мм в Научно-прикладном справочнике по климату СССР (1980). Интенсивность осадков за 20-минутный интервал времени составила 0,41 мм/мин вместо 0,36 мм/мин, указанной в СНиП.04.03-85. Поэтому специалистами по обслуживанию экономики климатической информацией настоятельно рекомендовано непосредственно рассчитывать такую характеристику, как q_{20} для конкретного пункта, а не снимать её с карты [25].

Для того чтобы её получить как раз и необходимы данные pluвиографа по интенсивности дождей за 20-минутный интервал времени. Так как интенсивность дождя по pluвиографу в метеорологическом ежемесячнике и в архивах представлена за 10-минутные интервалы, среднюю интенсивность осадков за 20 минут, как было показано выше, можно получить с помощью метода скользящего среднего с 10-минутным сдвигом периода осреднения. Среди рассчитанных характеристик из всех дождей в каждом году выбираем максимальную интенсивность осадков за 20-минутный интервал времени. По имеющимся данным за отдельные годы можно рассчитать интенсивность дождя q_{20} для периода однократного превышения расчётной интенсивности

дождя, равного одному году. Характеристика q_{20} очень важна, т. к. она влияет на выбор периода однократного превышения расчётной интенсивности дождя (P) или периода однократного переполнения водоотводящей сети. Эта величина по СНиП соответствует q_{20} 63 %-ной обеспеченности и вычисляется по ранжированному ряду ежегодных максимальных значений q_{20} .

На всём постсоветском пространстве до определённого времени при проектировании систем водоотведения, к примеру, использовались из климатических показателей максимальное суточное количество осадков, интенсивность дождя продолжительностью 20 мин 63 %-ной обеспеченности, среднегодовое число дождей. В настоящее время всё больше иностранных компаний занимаются строительством на территории РФ. В своей деятельности для проектирования строительных объектов им требуются дополнительные климатологические параметры, обозначенные в нормативных документах их стран. Поэтому есть настоятельная потребность в разработке новых климатологических параметров. Можно привести в пример разработанные ФБГУ «ГГО» характеристики: «профиль дождя» и «косые дожди». «Профиль дождя» – комплексная характеристика, которая определяет зависимость между продолжительностью дождя, его интенсивностью и количеством осадков в течение данного дождя. В [4] автором был представлен процесс построения эмпирического профиля дождя. Следующим шагом явилось построение теоретического профиля дождя, который описывает расчётное распределение интенсивности осадков в течение различных интервалов времени [5, 22]. Характеристика эта сложная, и её расчёт производится в несколько этапов. Вначале проводится выборка годовых максимумов интенсивности осадков по данным плювиографа об осадках, превышающих 10 мм за интервалы времени 10, 15, 20, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 960, 1 440 (сутки), 2 160, 2 880, 4320, 5 760, 7 200, 8 640, 10 080 (7 суток) минут в каждом конкретном пункте за период времени не менее 30 лет. За каждый год для каждого интервала выбирается максимальная интенсивность из всех дождей года. Для каждого временного интервала составляются ряды годовых максимумов интенсивности. Далее, используя

оптимальное статистическое распределение, можно определить интенсивности осадков за указанные временные интервалы, возможные один раз в 2, 5, 20, 30, 100, 200 лет. В [5] выбирается распределение экстремальных величин Гумбеля:

$$P(x) = \exp[-e^{-x}], \quad (4)$$

$P(x)$ – вероятность того, что максимальная интенсивность не превзойдёт величину x . Это распределение по данным годовых экстремумов применяется в РФ и большинстве зарубежных стран. Параметры распределения связаны со средним эмпирическим рядом ($\bar{x}$) и его средним квадратическим отклонением (σ). Расчёт интенсивности, возможной один раз в заданное число лет (T) аналитическим методом, производится по связи параметров вспомогательной величины y и величины x :

$$X_T = \sigma((y - \bar{y}(n))/\sigma_y(n)) + \bar{x}, \quad (5)$$

где $\bar{x}$ и σ – среднее и среднее квадратическое отклонение ряда максимумов; $\bar{y}(n)$ и $\sigma_y(n)$ – среднее и среднее квадратическое отклонение ряда вспомогательной величины y .

$$y = -\text{Ln} [-\text{Ln}(1 - (1/NT))]. \quad (6)$$

T – период повторения. В нашем случае $N = 1$ (данные годовых максимумов). Итак, значение интенсивности, возможной 1 раз в T лет, рассчитывается следующим образом:

$$X_T = \bar{X} + (\sigma/\sigma_y(n))[-\text{Ln}(-\text{Ln}(1 - (1/NT))) - \bar{y}(n)]. \quad (7)$$

Используя выбранное статистическое распределение, можно рассчитать значения интенсивности осадков с обеспеченностями 50 % (1 раз в 2 года), 80 % (1 раз в 5 лет), 95 % (1 раз в 20 лет), 96,7 % (1 раз в 30 лет), 99 % (1 раз в 100 лет), 99,5 % (1 раз в 200 лет). Согласно предложенной методике, полученные интенсивности умножаются на продолжительность соответствующего интервала времени, и полученные таким образом суммы осадков служат основой для построения теоретического профиля дождя, характерного для данного района. Теоретический профиль дождя отражает расчётное распределение осадков внутри рассматриваемых интервалов времени. В [22] приведены формулы расчёта, в которые входят полученные на предыдущих этапах

характеристики и эмпирические коэффициенты, отражающие степень застройки территории и определяющие условия формирования стока дождевых вод с дренируемой территории. Алгоритм расчёта предполагает получение долей сумм осадков за данный интервал времени: например, за интервал времени в 15 минут получают расчётное количество осадков, выпадающее в каждую минуту данного интервала. Информация об интенсивности осадков по полученной методике в виде теоретического «профиля дождя» включает данные о стоке за период времени до семи суток с отдалённых участков территории. А это важно при планировании системы отведения и выборе диаметра труб дождевой канализации.

В ФБГУ «ГГО» разработаны аналитические методы определения параметров так называемых «косых дождей», которые представляют собой осадки, выпадающие на вертикальные поверхности стен зданий. В этой методике используют данные синхронных наблюдений за осадками и ветром. В формулу расчёта количества осадков на вертикальную стену за один дождь, согласно [26],

$$H_B = (H \cdot U_D) / U_0 \quad (8)$$

входят данные о скорости ветра во время дождя или в ближайший к дождю срок (U_D) и данные pluviографа: количество осадков за один дождь в мм (H) и интенсивность дождя в мм/мин. В формуле (8) скорость падения капель в м/с (U_0) зависит от интенсивности дождя (I), которая, согласно экспериментальным данным, определяется по формуле

$$U_0 = 4,5 \cdot I^{0,107}. \quad (9)$$

Для средних многолетних данных в ГГО предложили записать формулу (6) в виде:

$$H_B = (H \cdot g \cdot U) / 4,5 \cdot (H/T)^{0,107}, \quad (10)$$

где H – месячное количество осадков, T – средняя продолжительность осадков за месяц, U – средняя месячная скорость ветра. Скорость ветра при дожде предложено определять по формуле

$$U_D = U \cdot g. \quad (11)$$

Параметр g принимает определённые значения в зависимости от числа дней с дождём за месяц.

Количество осадков, выпадающих на стены зданий – очень важная характеристика; она определяет меры дождезащиты. При небольших количествах косого дождя специальных мер дождезащиты не требуется. При количестве дождя на вертикальную стену свыше 50 мм требуются соответствующие дождезащитные устройства, герметизирующие и гидроизоляционные материалы, водоотводящие устройства.

Заключение

Очевидно, что глобальные изменения климата проявляются как в повышении средней температуры в разных регионах планеты, так и в изменяющемся характере осадков. Многие авторы в своих исследованиях показывают, что в эпоху глобального потепления наряду с повышением средней температуры воздуха в разных регионах планеты с каждым десятилетием вклад сильных ливней в общее количество осадков увеличивается [26]. Российские учёные в своих работах оценивают увеличение вклада сильных ливней в 1 – 2 % за десять лет [27].

Для того чтобы минимизировать негативные последствия особо сильных осадков, необходимо получить наиболее устойчивые оценки характеристик экстремальных осадков, как для их средноклиматических распределений, так и для параметров их климатической изменчивости. В решении этой задачи важная роль отводится данным наблюдений за атмосферными осадками. ВНИИГМИ-МЦД располагает обширной базой данных, которые непосредственно используются в исследовательских и прикладных целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Groisman P. Y. et al.* Trends in intense Precipitation in the Climate Record. *J. Climate* 18, 1326-1350, <https://doi.org/10.1175/jc3339.1>(2005).
2. *Borodina A., Fisher E. M. & Knutti R.* Models are likely to underestimate increase in heavy rainfall in the extratropical regions with high rainfall intensity. *Geophys.Res.Lett.* 44, 7401-7409. <https://doi.org/10.1002/2017GL074530>(2017).

3. Donat M. G., Lowry A. L., Alexander L. V., Odorman P. A. & Maher N. More extreme precipitation in the world's dry and wet regions. *Nature Clim. Change* 6,508-513, <https://doi.org/10.1038/nclimate2941>(2016).
4. Иванова Е. В. Расчёт профиля дождя для проектирования систем водоотведения. ГГО. 2010. Вып. 562. С. 118 – 127.
5. Иванова Е. В., Ницис В. Э. Специализированные характеристики интенсивности осадков, применяемые в ЕС для проектирования систем водоотведения дождевых вод. ГГО. 2011. Вып. 563. С. 196 – 203.
6. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. Вып. 3. Ч. 1. С. 121 – 130.
7. Литвинов И. В. Осадки в атмосфере и на поверхности земли. Л.: Гидрометеиздат. 1980.
8. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1985. Вып. 3. Ч. 1. С. 300.
9. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. Вып. 3. Ч. 2. С. 30.
10. Водный кадастр Союза ССР. Метеорологические данные. Ливни. Т. 3. М.–Л.: Гидрометеиздат. 1940.
11. Метеорологические данные за отдельные годы. Ливневые дожди и суточные количества осадков за 1936 – 1959 гг. Вып. 1 – 34. Т. II. Л.: Гидрометеиздат. 1961 – 1962.
12. Метеорологические данные за отдельные годы. Ливневые дожди и суточные количества осадков за 1960 г. Вып. 1 – 34. Т. II. Л.: Гидрометеиздат. 1963.
13. Справочник по климату СССР. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Вып. 1 – 34. Л.: Гидрометеиздат. 1968.
14. Метеорологический ежемесячник СССР. Вып. 1 – 34. Ч. 2. 1961 – 1983.
15. Архив ТМС «Текущая метеорологическая информация станций» – описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1987.
16. Методические указания по машинной обработке и контролю данных гидрометеорологических наблюдений. М.: Гидрометеиздат. 1983. Вып. 3. Часть 1.
17. Архив ТМС «Текущая метеорологическая информация станций – результаты наблюдений» – описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 1999.
18. Веселов В. М. Архивы Госфонда и технология их организации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2002. Вып. 170. С. 16 – 30.
19. Веселов В. М. Структура и организационные технологии Госфонда // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 165 – 27.
20. Архив ТМСМ «Текущая метеорологическая информация станций – месячные выводы» – описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 2000.

21. Алексеев М. И., Курганов А. М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий. М.: Издательство АСВ. 2000.
22. Методические рекомендации по расчёту специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. С-Петербург: ФГБУ «ГГО» . 2017.
23. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
24. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию. С.-П. 2008.
25. Богданова Э. Г. Методы расчёта сумм осадков, проходящих через вертикальное сечение. ГГО. 1975. Вып. 341. С. 79 – 96.
26. Myhre G. *et al.* Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming.<http://doi.org/10.1038/s41598-019-52277-4>.
27. Chernokulsky A., Kozlov F, Zolina O., Bulygina O., Mohkov I. I., Semenov V. A. Environmental Research letters. IOP Publishing (Bristol, UK, England), n 14,с.045001.DOI.

УДК 551.465.7

О КЛИМАТОЛОГИИ ШТОРМОВЫХ ЦИКЛОНОВ, ВЫХОДЯЩИХ НА ЕВРОПЕЙСКУЮ ТЕРРИТОРИЮ РОССИИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНОВ ГЕНЕЗИСА

Н. А. Вязилова¹, А. Е. Вязилов²

¹ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
nav@meteo.ru;

² ФГБУ «НПО «Тайфун», vyazilov@typhoon.obninsk.ru

Введение

Внетропические циклоны, зарождающиеся в Северной Атлантике и прибрежных морях Европейского континента, оказывают значительное влияние на различные отрасли экономики и жизнь общества в Европейском регионе, в том числе и на европейской территории России (ЕТР). К штормам относят циклоны, которые сопровождаются высокими скоростями ветра, опасной высотой волн, интенсивными осадками, грозами и часто приводят к значительным экономическим потерям. Многочисленные исследования дают представление о климатических особенностях и временной изменчивости штормовой активности в основных районах шторм-трека в Северо-Атлантическом регионе – в районе Британских островов, Северного и Балтийского морей, а также прилегающих к ним районах Европы. Действительно, данные районы выделяются высоким количеством циклонов, в том числе большим количеством экстремальных циклонов, отличающихся низким атмосферным давлением и часто сопровождающихся штормовыми ветрами [1]. Часть таких циклонов достигает европейской территории России. Другая область повышенного циклогенеза в Европейском регионе находится в районе Средиземного моря [2, 3]. Циклоны средиземноморского региона, достигающие российского побережья Чёрного моря, или южные циклоны, как часто их называют в научной литературе, достаточно

часто сопровождаются развитием штормового ветра на акватории Чёрного и Азовского морей и в южных районах России [2, 4, 5].

Интенсивность шторма может быть выражена через значение атмосферного давления в центре или его изменение, через скорость приземного ветра в районе центра циклона, высоту волнения, а также через косвенные показатели, такие, например, как величина ущерба, нанесённого циклоном. Изучение штормовых циклонов предполагает, прежде всего, выделение каким-либо методом траекторий циклонов. Для этой цели в ряде работ используется метод типизации синоптических ситуаций, то есть формирование выборок различных синоптических ситуаций со штормовой скоростью ветра в случае изучения ветровых штормов или с высокой высотой волны в случае изучения условий экстремального волнения в штормах. Затем для каждого выделенного типа рассчитывается повторяемость экстремальной скорости приземного ветра или экстремального волнения. Именно такой метод был использован в исследованиях штормовых ветровых ситуаций в регионах Чёрного, Балтийского и Баренцева морей [3, 5, 6]. В настоящее время во многих работах траектории штормов рассчитываются по данным реанализов в узлах сетки на основе метода автоматической идентификации центров циклонов по данным атмосферного давления на уровне моря, геопотенциальной высоты на изобарических поверхностях 1 000, 850 гПа или 500 гПа, или циклонической завихренности на уровнях 1 000, 850, 500, 250 гПа [2, 3, 7, 8]. Следует отметить, что в оценке циклонической и штормовой активности сведения о траекториях внетропических циклонов и штормов относятся к числу наиболее распространённых и востребованных показателей, наряду с информацией о районах генезиса и затухания циклонов, длине жизни циклонов и путей их передвижения. Экстремальные значения скорости ветра в районе рассчитанной траектории циклона в ряде исследований могут быть получены статистическим методом по ежедневным станционным данным, как например, в работе [9], а могут быть рассчитаны на основе максимальной скорости, отобранной в каждый срок наблюдения из района, близкого к центру циклона [7].

Для классификации силы шторма по скорости приземного ветра часто используют шкалу Боффорта, согласно которой термин «шторм» относится ко всем циклонам со скоростью ветра от 17,2 м/с (8 баллов), при этом циклоны со скоростями ветра от 8 до 10 баллов, или от 17,2 до 24,5 м/с, соответствуют определению «умеренный шторм», а циклоны со скоростью ветра более 24,5 м/с относятся к «жестоким» штормам.

Целью настоящей работы является сравнение количества и характеристик циклонов, выходящих на европейскую территорию России из различных районов генезиса в зимнюю и летнюю половину года за период исследования с 1979 по 2018 г., а также особенностей пространственного распределения плотности штормовых циклонов в зависимости от района генезиса штормов.

Данные и методы исследования

Центры циклонов и траектории их смещения в настоящем исследовании рассчитаны на основе метода автоматической идентификации по 6-часовым данным атмосферного давления на уровне моря (MSLP) в узлах сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ архива Национального метеорологического центра США, реанализа-2 NCAR/NCEP DOE [9] за период с 1 января 1979 г. по 31 декабря 2018 г. Идентификация циклонов проведена в регионе Северной Атлантики и Европы с координатами (30° с. ш. – 80° с. ш., 50° з. д. – 70° в. д.). Используемые в данной работе метод идентификации циклонов и алгоритм смещения циклонов более подробно описаны в предыдущих работах авторов [10].

Для анализа скорости приземного ветра в районах циклонов использовались 6-часовые данные составляющих скорости ветра на поверхности 925 гПа. Возможность использования данных скорости ветра на выбранной поверхности в качестве приземных подтверждается анализом взаимосвязи между ветром на поверхности 925 гПа и скоростью ветра на уровне 10 м, проведённым в работе [7] по данным реанализа ERA-40. В настоящей работе максимальная скорость ветра выбиралась из района, близкого к центру циклона радиусом в 5 градусов.

Из всех идентифицируемых циклонов для анализа отбирались только циклоны, выходящие на европейскую территорию России (47° с. ш. – 67° с. ш., 30° в. д. – 60° в. д.) и имеющие длину жизни от 2 суток и более. Все циклоны, выходящие на ЕТР, разделены на группы по районам генезиса, выделенным на рис. 1.

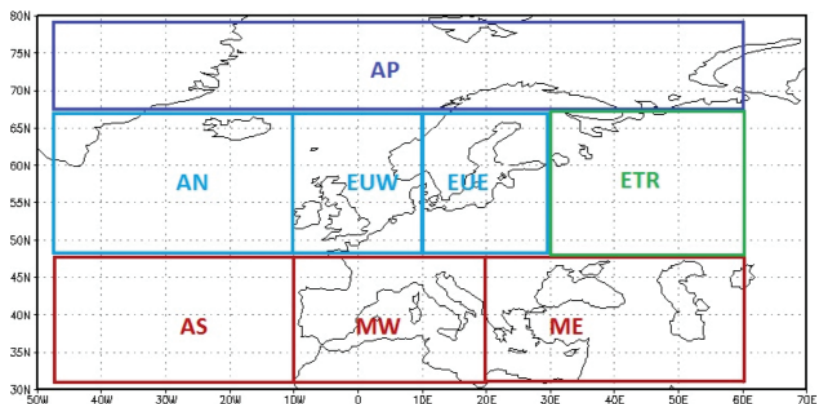


Рис. 1. Районы генезиса штормовых циклонов, выходящих на европейскую территорию России

Район генезиса для каждого циклона определялся по координатам начальной точки его траектории. Для каждого района генезиса для зимней и летней половины каждого календарного года было рассчитано количество штормовых циклонов со скоростью ветра от 17,2 до 24,5 м/с (умеренных штормов) и со скоростью ветра более 24,5 м/с (жестоких штормов). Кроме того, для каждого района генезиса представлено общее количество циклонов, выходящих на ЕТР, а также количество глубоких циклонов с атмосферным давлением от 970 гПа и ниже. Построены и представлены на карте в качестве примеров траектории смещения циклонов из районов генезиса на ЕТР.

Результаты анализа

В таблицах 1 и 2 представлено интегральное количество штормовых циклонов, выходящих на ЕТР из различных районов генезиса в зимнюю и летнюю половину года за период исследования

и сопровождавшихся скоростью ветра от 17,2 м/с и более, а также отдельно количество умеренных и жестоких штормов. Для сравнения в этих таблицах для всех районов генезиса представлено также общее количество циклонов и количество глубоких

Таблица 1

Количество траекторий циклонов, выходящих на ЕТР, по районам генезиса в зимнюю (октябрь – март) половину года за период исследования с 1979 по 2018 год

Районы генезиса	Октябрь – март				
	а	б	в	г	д
AP (67° с. ш. – 80° с. ш., 50° з. д. – 60° в. д.)	33	17	14	13	1
AN (50° с. ш. – 65° с. ш., 50° з. д. – 10° з. д.)	21	20	18	15	3
EUW (50° с. ш. – 65° с. ш., 10° з. д. – 10° в. д.)	99	85	75	52	23
EUE (50° с. ш. – 65° с. ш., 10° в. д. – 30° в. д.)	260	198	220	108	112
AS (35° с. ш. – 50° с. ш., 50° з. д. – 10° з. д.)	13	9	11	5	6
MW (35° с. ш. – 50° с. ш., 10° з. д. – 20° в. д.)	62	27	47	13	34
ME (35° с. ш. – 50° с. ш., 20° в. д. – 60° в. д.)	128	48	84	18	66
ВСЕГО:	616	404	469	224	245

Обозначения в таблице: а) общее количество циклонов; б) количество циклонов с атмосферным давлением в центре от 970 гПа и менее; в) общее количество штормовых циклонов, г) количество умеренных штормов (со скоростью ветра от 17,2 до 24 м/с); д) количество жестоких штормов (со скоростью ветра от 24 м/с и более).

Таблица 2

Количество траекторий циклонов, выходящих на территорию европейской части России, по районам генезиса в летнюю (апрель – сентябрь) половину года за период исследования с 1979 по 2018 год

Районы генезиса	Апрель – сентябрь				
	а	б	в	г	д
AP (67° с. ш. – 80° с. ш., 50° з. д. – 60° в. д.)	34	16	24	18	6
AN (50° с. ш. – 65° с. ш., 50° з. д. – 10° з. д.)	11	9	7	5	2
EUW (50° с. ш. – 65° с. ш., 10° з. д. – 10° в. д.)	94	85	78	38	40
EUE (50° с. ш. – 65° с. ш., 10° в. д. – 30° в. д.)	273	230	252	73	179
AS (35° с. ш. – 50° с. ш., 50° з. д. – 10° з. д.)	23	19	18	7	11
MW (35° с. ш. – 50° с. ш., 10° з. д. – 20° в. д.)	104	60	87	18	69
ME (35° с. ш. – 50° с. ш., 20° в. д. – 60° в. д.)	117	43	66	9	57
ВСЕГО:	656	462	532	164	364

Обозначения в таблице аналогичные табл. 1.

циклонов, выходящих на ЕТР. На рис. 2 показаны примеры траекторий циклонов, выходящих на европейскую территорию России из различных районов генезиса. Анализ таблиц показывает, что максимальное количество штормов на европейскую территорию России поступает из региона Балтики (район генезиса EUE). Повышенная циклоническая активность в данном районе связана с положением высотной фронтальной зоны, возникающей на стыке холодных и тёплых воздушных масс [4]. Анализ показывает, что более 90 % жестоких штормов, приходящих на ЕТР из данного региона, являются и экстремально глубокими, то есть за время жизни атмосферное давление в них опускалось до 970 гПа и ниже. В среднем за год около 70 % всех умеренных штормов, наблюдаемых на ЕТР, (74 % в зимний сезон и 67 % в летний), и около 57 % жестоких штормов (53 и 60 %) зарождаются или генерируются из атлантических циклонов в основной зоне шторм-трека умеренных широт, в районе Британских островов, Северного и Балтийского морей (районы генезиса EUW и EUE, рис. 2а, 2б).

Вклад средиземноморских циклонов в число умеренных штормов на ЕТР в среднем за год составляет около 15 %, а в количество жестоких штормов – около 38 %. При этом именно в группе южных штормов доля жестоких штормов со скоростью более 24,5 м/с достигает 75 %. Из 100 жестоких южных штормов в зимние месяцы экстремально низким атмосферным давлением отличились 57 циклонов, а из 126 в летнюю половину года – 87 или около 70 %. Это означает, что, во-первых, в летний сезон наблюдается увеличение числа южных жестоких штормов, выходящих на территорию России и сопровождающихся экстремально низким давлением. Во-вторых, опасная скорость ветра, более 24,5 м/с, может наблюдаться в южных циклонах и с умеренным атмосферным давлением.

Данный факт отмечался в изучении отдельных штормовых ситуаций в регионе Чёрного и Азовского морей в работах [1, 4], при этом в качестве важных факторов развития штормового ветра в южных циклонах были выделены структура барического поля и градиенты атмосферного давления. Средиземноморские циклоны в исследованиях часто разделяют на две группы: западные и восточные [5, 8, 12]. Некоторые западные средиземноморские

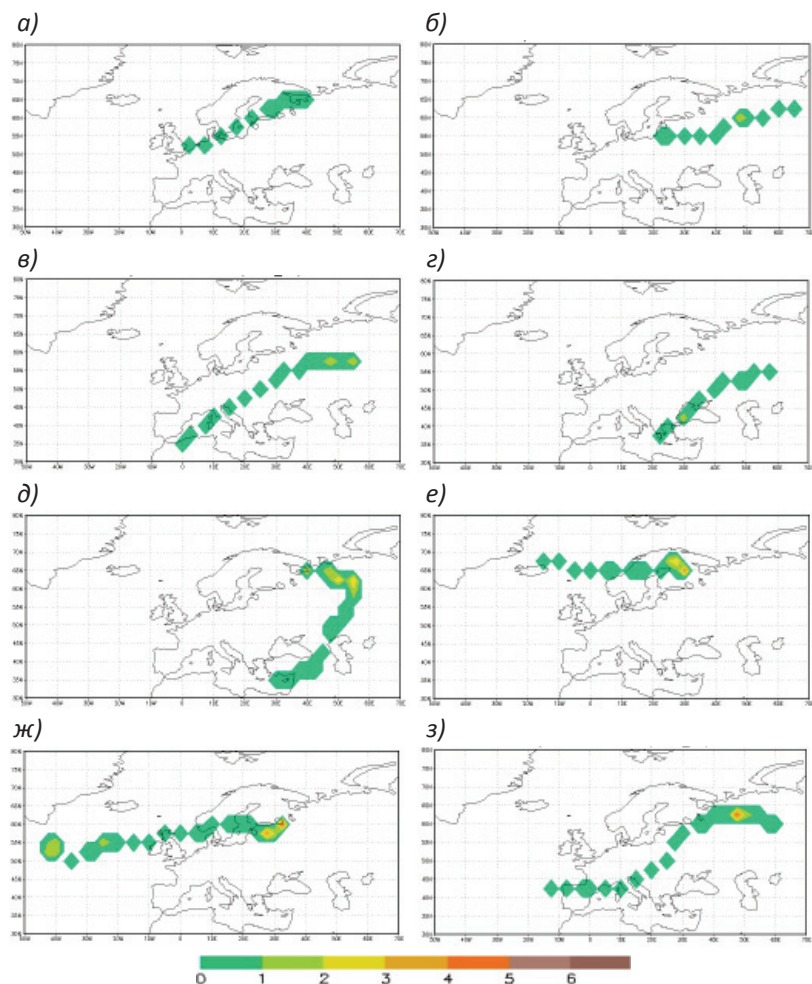


Рис. 2. Примеры траекторий циклонов, выходящих на европейскую территорию России из различных районов генезиса, выделенных на рис. 1: EUW (а); EUE (б); MW (в); ME (г, д); AP (е); AN (ж); AS (з). Обозначение: цветом выделено количество сроков наблюдений, когда центр циклона находился в указанной точке.

циклоны выходят на ЕТР через умеренные широты (рис. 2в), часть циклонов, смещаясь через Балканский полуостров, выходит в район Чёрного моря (рис. 2г), при этом в северной части моря и

на побережье возможно углубление циклона, которое сопровождается развитием сильных штормовых ветров [1, 8]. Средиземноморские циклоны из восточной части региона выходят на ЕТР через Малую Азию и Чёрное море (рис. 2д) и могут продвигаться в центральные и северные районы страны. Из полярных широт (район «АР») на территорию России за период исследования вышло 33 циклона в зимние месяцы и 34 – в летние. Это циклоны из субполярных районов Атлантики, проходящие через Скандинавский полуостров (рис. 2е), из которых штормовой скоростью ветра в зимнее время сопровождалось менее половины циклонов, в летнюю половину года их количество существенно больше. Большая часть штормовых циклонов, генерируемых в субполярных широтах Атлантики, является умеренными штормами и только некоторые – жестокими со скоростью ветра более 24,5 м/с и экстремально низким атмосферным давлением. Доля штормовых атлантических циклонов из субполярных широт составляет около 7 % в группе умеренных штормов на ЕТР и около 1 % в группе жестоких штормов. Отмечено, что штормовая скорость в циклонах, выходящих из субполярных районов, наблюдается в экстремально глубоких «ныряющих» циклонах, смещение которых на ЕТР связано с северо-западной ориентацией высотной фронтальной зоны [4].

Количество циклонов, дошедших до ЕТР с акватории Атлантики (районы генезиса «AN» и «AS»), не велико – всего 68 траекторий за весь период исследования, однако все они отличились низкими значениями атмосферного давления (глубиной циклона), а большинство из них – 54 циклона – также и штормовой скоростью приземного ветра, обеспечив на ЕТР 8 % умеренных и около 4 % жестоких штормов. Циклоны с акватории Атлантики могут двигаться в направлении материка в основной зоне шторм-трека, перед выходом на ЕТР проходя через районы Северного и Балтийского морей (рис. 2ж). Циклоны из южной акватории Атлантического океана, достигая материка, могут сразу подниматься в более северные широты, а могут двигаться в направлении Средиземного моря, и уже отсюда – далее в северо-восточном направлении (рис. 2з). Большая часть атлантических циклонов,

отобранных за период исследования, имеет длину жизни более 4 суток, 16 из них – более 6 суток. Продолжительность жизни отдельных атлантических циклонов превышает 10 суток.

Анализ межгодовой изменчивости общего количества циклонов показывает (рис. 3), что при среднем количестве около 16 траекторий в сезон максимальное количество циклонов, выходящих на ЕТР, наблюдалось в зимние сезоны 1982/83, 1986/87, 1989/90, 1996/97, 2013/14 и 2015/16 гг. и в летние сезоны 1987, 1990, 1997, 2006 и 2008 гг. Число циклонов, сопровождающихся штормовой скоростью ветра, согласуется с общим количеством циклонов, вышедших на ЕТР. Летняя половина года отличается более высокими значениями количества циклонов и штормов по сравнению с зимним сезоном. Максимальное число штормов наблюдается в годы их одновременного активного выхода на ЕТР из районов генезиса и регенерации в северной и южной ветви шторм-трека. Минимальное количество циклонов отмечено в зимние сезоны 1983/84, 1993/94 и 2014/15 гг. и летние сезоны 1982, 1998, 2000, 2010 гг., отличившихся отсутствием выхода южных циклонов на ЕТР.

Заключение

Около 70% всех умеренных и около 58 % жестоких штормов, вышедших на европейскую территорию России за период исследования с января 1979 по декабрь 2018 г., вносят циклоны, генерируемые в районах Балтийского и Северного морей. На долю средиземноморских циклонов приходится около 15 % умеренных и около 37 % жестоких штормов. Средиземноморские западные циклоны, выходя на ЕТР в западных районах России, формируют условия для развития штормового ветра в Причерноморском регионе ЕТР. Южные циклоны из восточной части Средиземного моря оказывают основное влияние на юго-восточные районы ЕТР. Из умеренных и южных широт акватории Атлантики на ЕТР за период исследования вышло 8 % умеренных и около 4 % жестоких штормов. Все атлантические циклоны, достигающие ЕТР, как правило, отличаются не только большой продолжительностью жизни, а также экстремальной глубиной и количеством наблюдений штормовой скорости ветра по траектории смещения.

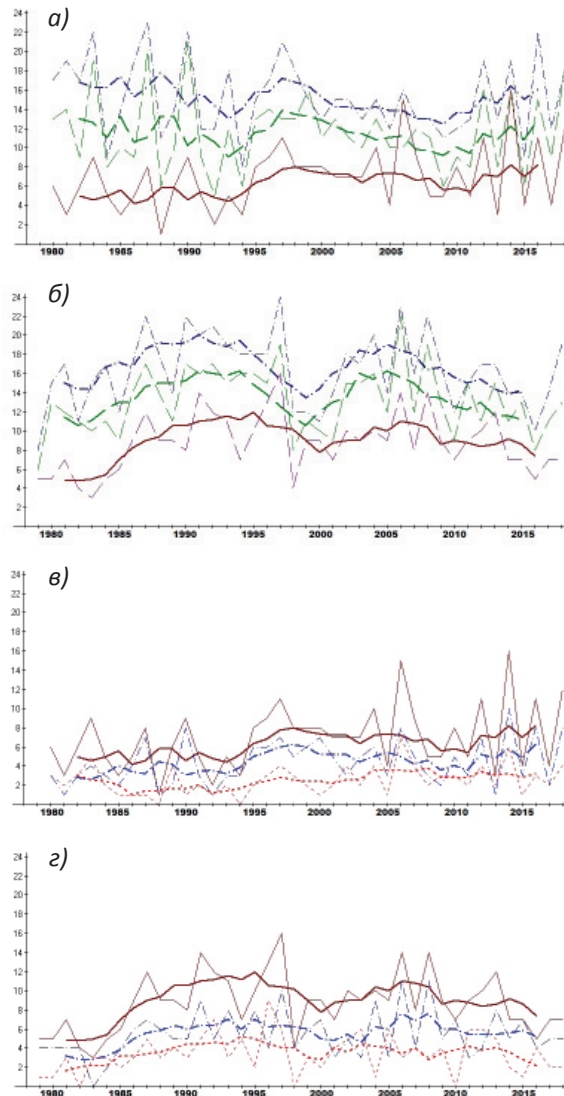


Рис. 3. Межгодовая изменчивость общего количества циклонов и количества штормовых циклонов (а, б), вышедших на европейскую территорию России, а также количества штормов по районам генезиса циклонов (в, г), в зимнюю (а, в) и летнюю (б, г) половину года за период исследования с 1979 по 2018 год

В летнюю половину года количество штормовых циклонов, выходящих на европейскую территорию России, существенно больше по сравнению с зимними месяцами. В общем количестве штормовых циклонов в летние месяцы возрастает доля штормов с опасной скоростью ветра более 24,5 м/с и экстремально низким атмосферным давлением. Максимальное число штормов на европейской территории России наблюдаются в годы активного циклогенеза в различных районах северной и южной ветви шторм-трека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alexander L. V., Tett S. F. B. Recent observed changes in severe storms over the United Kingdom and Iceland // *Geophysical Research Letters*, 2005, Vol. 32, L13704, doi:10.1029/2005GL022371.
2. Казначеева В. Д., Шувалов С. В. Климатические характеристики средиземноморских циклонов // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 5. С. 41 – 52.
3. Flocas H. A., Simmonds I., Kouroutzoglou J., Keay K., Hatzaki M., Bricolas V., Asimakopoulou D. On Cyclonic Tracks over the Eastern Mediterranean // *J. Climate*, 2010. Vol. 23. P. 5243 – 5257.
4. Нестеров Е. С. Экстремальные циклоны над морями европейской части России // *Труды ГМЦ «Гидрометеорологические исследования и прогнозы»*. 2018. № 1 (367). С. 97 – 115.
5. Суркова Г. В., Колтерманн К. П., Кислов А. В. О методе прогноза штормовых условий при изменениях климата // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2012. № 6. С. 25 – 31.
6. Кислов А. В., Суркова Г. В., Архипкин В. С. Повторяемость штормовых ситуаций в Балтийском, Чёрном и Каспийском морях в изменяющихся климатических условиях // *Метеорология и гидрология*. 2016. № 2. С. 67 – 77.
7. Bengtsson L., Hodges K. I., Keenlyside N. Will Extratropical Storms Intensify in a Warmer Climate? // *J. Climate*, 2009. Vol. 22. P. 2276 – 2301.
8. Leckebusch G. C., Ulbrich U. On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change // *Global Planet Change*, 2004. Vol. 44. P. 181 – 193.
9. Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.-K., Hnilo J. J., Fiorino M., Potter G. L. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2002. Vol. 83. P. 1631 – 1643.
10. Вязилова Н. А. Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 7. С. 5 – 14.

УДК 551.521.11 (470 + 571)

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В 2019 ГОДУ

Л. К. Клещенко

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

Продолжительность солнечного сияния (ПСС), оказывая большое влияние на различные аспекты человеческой деятельности, входит в состав параметров регулярных метеорологических наблюдений. Результаты этих наблюдений используются для оперативного обслуживания различных потребителей, а также накапливаются в основном фонде Централизованного архива ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Наличие информации за многолетний период позволило создать специализированный массив суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на станциях России [1], а возможность использования оперативных сводок КЛИМАТ – включить ПСС в систему климатического мониторинга на территории Российской Федерации (РФ) [2, 3].

В наиболее полном объёме результаты мониторинга ПСС помещаются в бюллетене на сайте ВНИИГМИ-МЦД [4]. Они включают данные об аномалиях прошедшего года и обновлённые (с учётом этих данных) оценки многолетних изменений ПСС. В настоящей публикации представлены результаты анализа аномалий ПСС, наблюдавшихся в 2019 году.

Расчёт норм суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния

Для расчёта аномалий месячных сумм ПСС на станциях используются средние многолетние значения ПСС (так называемые «нормы»), рассчитанные за период 1981 – 2010 гг. Кратко остановимся на их получении. Предварительный анализ наличия данных в архиве показал, что для всех месяцев года 30-летние ряды за

этот период имеются только на 85 станциях, тогда как 20-летние – на 478 станциях. Поэтому было принято решение – для получения норм использовать станции, имеющие в период 1981 – 2010 гг. данные не менее чем за 20 лет. Чтобы увеличить число анализируемых станций, для каждого месяца формировался свой список станций. В результате число используемых для расчётов станций в разные месяцы составило от 575 до 593.

Особый подход потребовался для зимних месяцев ряда северных станций, у которых с середины 90-х годов прошлого века в зимние месяцы отмечается кодирование «отсутствие наблюдений». Станции, у которых средние многолетние значения продолжительности солнечного сияния в январе и декабре невелики (0 – 2 часа), не исключались из анализа при наличии данных не менее чем за 15 лет, поскольку их исключение привело бы к существенному ухудшению освещённости данными рассматриваемой территории. Пространственное распределение рассчитанных месячных норм ПСС показано на рис. 1 и может быть использовано в справочных целях. (В Научно-прикладном справочнике помещены нормы месячных сумм ПСС за 1971 – 2000 гг. для 210 станций [5].) Карты средних многолетних сезонных сумм ПСС, рассчитанных за 1971 – 2000 гг., приводятся в [6].

Технологией мониторинга предусмотрено проведение всех расчётов на основе оперативной информации. Такая информация поступает ежемесячно примерно от 315 станций Росгидромета и используется для анализа пространственного распределения аномалий ПСС на территории РФ и получения средних значений для её физико-географических регионов и федеральных округов. Поэтому только эти станции участвовали в расчёте необходимых региональных норм (табл. 1).

Как видно в табл. 1, для территории РФ в целом, а также для её европейской и азиатской частей, наблюдается годовой ход средней многолетней суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния с отчётливо выраженным максимумом в июне и минимумом в декабре. Аналогичный годовой ход наблюдается в четырёх из девяти регионов, а в остальных пяти есть некоторые особенности. Так, в регионе «Центр и юг Западной Сибири»

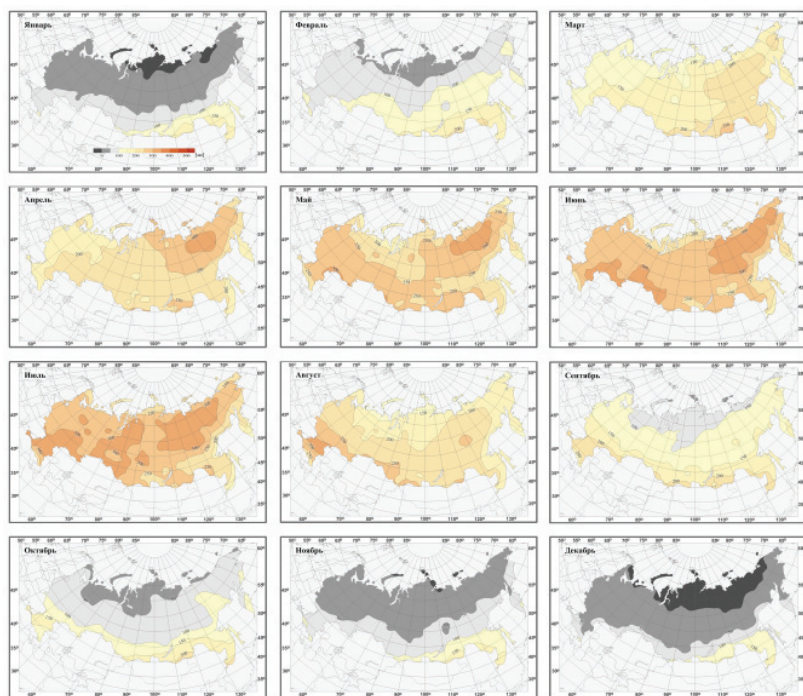


Рис. 1. Средняя многолетняя суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния на территории РФ, 1981 – 2010 гг.

максимум сдвинут на июль, а в регионах «Север ЕЧР и Западной Сибири» и «Юг ЕЧР» является более протяжённым: в первом из них максимум включает май – июль, во втором – июнь – август, при этом минимум в этом регионе сдвинут на январь. В двух восточных регионах страны в годовом ходе ПСС наблюдается по два максимума. В регионе «Дальний Восток» главный максимум приходится на апрель, вторичный – на сентябрь, а в регионе «Алтай и Саяны», соответственно, на май и август.

В федеральных округах, территориально близких рассматриваемым физико-географическим регионам, отмеченные выше особенности годового хода ПСС сохраняются. Исключение составляет Дальневосточный ФО, который, объединяя несколько регионов, имеет наибольшую территорию – здесь наблюдается

«стандартный» годовой ход (такой же как в Северо-Западном, Центральном и Приволжском ФО) с максимумом в июне и минимумом в декабре.

Таблица 1

Средняя многолетняя суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния, осреднённая по регионам России (1981 – 2010 гг.)

Регион	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Российская Федерация	57	96	170	232	245	270	243	199	159	102	66	42
ЕЧР	37	54	125	224	259	295	244	209	173	102	66	34
АЧР	66	113	189	236	239	260	243	194	153	102	65	45
Физико-географические регионы РФ												
Север ЕЧР и Зап. Сибири	6	30	96	178	199	201	205	133	94	28	8	1
Север Вост. Сиб. и Якутии	12	77	216	271	264	349	239	213	116	59	17	4
Чукотка и север Камчатки	25	35	110	221	216	311	290	171	140	91	35	4
Центр ЕЧР	34	45	111	253	274	329	245	191	166	72	43	21
Центр и юг Зап. Сибири	51	102	149	218	261	256	299	246	139	91	57	28
Центр и юг Вост. Сибири	76	130	214	255	257	311	274	213	162	103	84	49
Дальний Восток	127	165	211	218	201	159	163	133	198	159	109	104
Алтай и Саяны	101	163	201	242	276	243	228	253	188	153	89	68
Юг ЕЧР	65	90	170	212	277	300	299	305	243	216	156	89
Федеральные округа РФ												
Центральный	39	37	107	251	277	334	249	223	180	91	51	17
Южный	62	94	178	225	284	318	300	319	256	217	163	81
Северо-Западный	11	33	98	209	228	256	189	149	121	30	13	2
Дальневосточный	69	115	209	244	227	261	217	171	158	106	65	50
Сибирский	71	122	180	232	261	264	268	231	158	108	74	47
Уральский	31	69	117	206	230	237	279	179	107	61	39	18
Приволжский	36	40	113	253	295	335	259	168	169	73	49	26
Северо-Кавказский	75	84	140	181	268	277	266	288	215	210	127	97

Аномалии месячных сумм ПСС в 2019 году

С использованием полученных для станций месячных норм (ES , часы) по оперативным данным суммарной за месяц ПСС (SS , часы) рассчитываются аномалии: как отклонение от нормы ($AS = SS - ES$, часы) и как отношение к норме, выраженное в процентах ($RS = SS/ES \cdot 100$, %), – относительная аномалия. Относительные аномалии менее 100 % соответствуют отрицательным аномалиям, более 100 % – положительным. В качестве

дополнительных характеристик аномалий используются показатели, основанные на функции распределения (процентили), и порядковые статистики (ранги – порядковые номера в упорядоченном ряду значений). Ранг отрицательной аномалии определяется в ряду возрастающих значений, положительной – в ряду убывающих значений. Расчёт этих характеристик осуществляется по данным за период, начинающийся 1961 г. и заканчивающийся прошедшим годом.

Пространственное распределение относительных аномалий суммарной за месяц ПСС на территории РФ в 2019 г. представлено в виде карт (рис. 2), а средние аномалии для регионов показаны в табл. 2. Карты годовых и сезонных аномалий можно увидеть в [7].

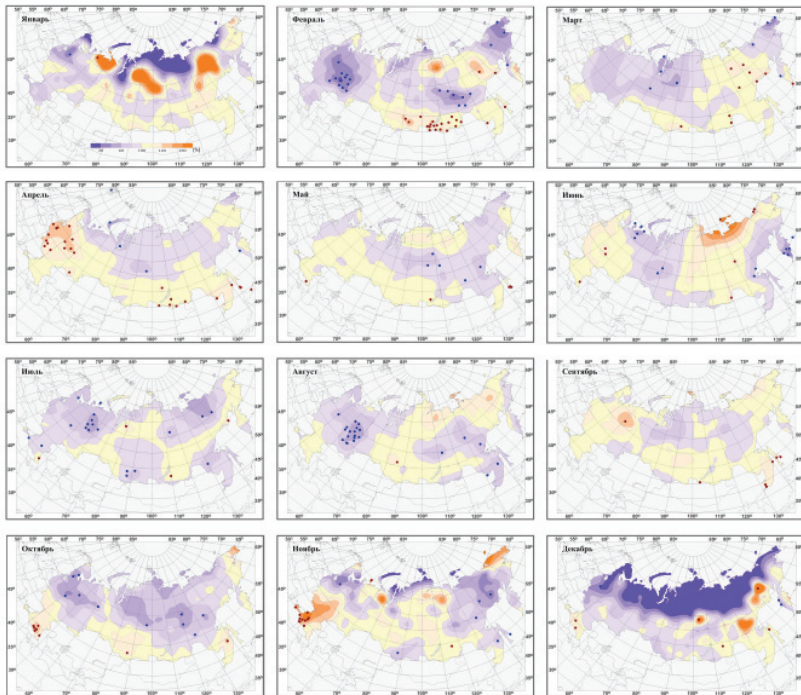


Рис. 2. Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на территории РФ в 2019 году.

Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го процентиля, коричневого цвета – выше 95-го процентиля.

Таблица 2

Аномалии (часы) суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осреднённые по регионам России, в 2019 году

Регион	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Российская Федерация	1	-5	-5	14	-1	5	-25	-13	12	-1	4	0
ЕЧР	-6	-22	-11	30	7	23	-46	-25	15	4	17	0
АЧР	4	2	-3	7	-4	-3	-16	-8	10	-3	-2	0
Физико-географические регионы РФ												
Север ЕЧР и Зап. Сибири	0	-13	-26	-30	-11	-34	-54	-28	6	-13	-3	-1
Север Вост. Сиб. и Якутии	4	5	16	-5	-12	52	-56	18	4	-16	-8	2
Чукотка и север Камчатки	2	-52	-80	-19	-12	20	34	-3	15	14	1	-2
Центр ЕЧР	-5	-31	-31	54	5	45	-53	-45	21	-11	4	-6
Центр и юг Зап. Сибири	1	0	-25	1	-2	-42	-7	15	2	4	4	-4
Центр и юг Вост. Сибири	3	-3	1	15	-7	30	-5	-16	6	-15	2	-3
Дальний Восток	10	17	15	25	3	-41	-15	-39	27	10	-4	5
Алтай и Саяны	6	30	10	28	20	-12	-24	25	10	15	-3	-4
Юг ЕЧР	-15	-10	30	29	24	23	-7	18	12	46	58	17
Федеральные округа РФ												
Центральный	2	-34	-32	61	9	54	-43	-21	24	1	12	-11
Южный	-15	-7	29	32	17	28	-22	16	15	40	66	13
Северо-Западный	-4	-21	-19	19	-3	4	-79	-36	17	-20	-5	-5
Дальневосточный	6	-0	7	11	-9	6	-24	-19	13	-5	-6	3
Сибирский	3	9	-6	7	3	-7	-6	11	10	1	3	-3
Уральский	0	-9	-42	-10	-4	-33	-16	-21	-7	-10	2	-2
Приволжский	-7	-43	-39	43	17	38	-53	-75	19	-10	6	-5
Северо-Кавказский	-9	-15	12	14	42	29	-3	36	16	63	35	22

Примечание. Жёлтым цветом выделены месяцы, попавшие в 5 максимумов, серым – в 5 минимумов.

В **январе** 2019 г. на территории ЕЧР преобладали отрицательные аномалии (средняя аномалия в южном регионе и ФО составила -15 ч). При этом на северо-востоке ЕЧР сформировался очаг значительных положительных аномалий. В АЧР преобладали положительные аномалии ПСС. Средняя аномалия для региона «Север Восточной Сибири и Якутии» составила 155 %.

В **феврале** на территории страны роль отрицательных аномалий ПСС усилилась. Ими была занята вся территория ЕЧР, здесь на многих станциях обновились наблюдавшиеся ранее минимумы. Средняя аномалия составила -22 часа и получила ранг 4.

В АЧР очаги наиболее существенных отрицательных аномалий располагались на юге Якутии и в Чукотском АО. Положительные аномалии ПСС отмечались на севере и востоке Якутии, а также в южных районах Сибирского ФО, где на ряде станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы (Читинская, Иркутская области и др.).

В **марте** отрицательные аномалии были наиболее значительными по сравнению с другими весенними месяцами, но по сравнению с февралём интенсивность их существенно уменьшилась. Наиболее значительные из них наблюдались на севере Западной Сибири и на крайнем северо-востоке страны, где на некоторых станциях были обновлены месячные минимумы. Средняя для Чукотки и Уральского ФО месячная сумма ПСС попала в пять минимальных. Положительными аномалиями ПСС были заняты южные районы ЕЧР и Западной Сибири, а также Якутия и Дальний Восток. На ряде якутских станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы.

В **апреле** территория страны с отрицательными аномалиями ПСС сокращается, а их интенсивность уменьшается. В ЕЧР после четырёх месяцев дефицита солнечного сияния сформировался очаг существенных положительных аномалий, на многих станциях Новгородской, Псковской, Смоленской и других областей были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. Средняя для ЕЧР аномалия ПСС составила 30 часов и попала в пять максимальных. Положительными аномалиями были заняты также южные районы АЧР, при этом на юго-востоке (Хабаровский край, Еврейская АО, Сахалин) были обновлены месячные максимумы.

В **мае** значительных положительных аномалий ПСС на территории РФ не наблюдалось. Наиболее заметные из них (с интенсивностью на некоторых станциях до 140 %) располагались на севере Красноярского края и Камчатке. После солнечного апреля на северо-западе ЕЧР сформировался очаг с дефицитом солнечного сияния. Отрицательными аномалиями были заняты центральные районы Сибири и большая часть Дальнего Востока, но только на Чукотке относительные аномалии составили менее 50 %.

В **июне** средняя для территории России ПСС была близка к норме. Отчётливо прослеживается чередование областей с положительными и отрицательными аномалиями ПСС в соответствии с расположением на среднемесячных картах очагов положительных и отрицательных аномалий давления на уровне моря и геопотенциала Н 500. На Европейской территории страны, куда распространялось влияние азорского антициклона, наблюдалось усиление положительных аномалий ПСС (средняя аномалия составила 23 часа). ПСС трёх регионов попала в пять максимальных. Вся Западная Сибирь, а также прилегающие к ней северо-восточные районы ЕЧР и южные районы Красноярского края были заняты отрицательными аномалиями (средняя аномалия для Уральского ФО составила 88 %). В Восточной Сибири преобладали положительные аномалии, при этом очаг наиболее значительных положительных аномалий сформировался вблизи арктического побережья. На тихоокеанском побережье страны наблюдался дефицит солнечного сияния, самый существенный на Камчатке, где относительные аномалии составляли менее 40 %, а на отдельных станциях были обновлены месячные минимумы. ПСС в регионе «Дальний Восток» получила ранг 2 среди минимумов.

В **июле** на территории страны преобладали отрицательные аномалии ПСС. Средняя для территории РФ отрицательная аномалия стала рекордной с 1961 г., а аномалии для ЕЧР и АЧР попали в пять минимальных. Наиболее значительные аномалии располагались на северо-востоке ЕЧР, где на ряде станций были обновлены наблюдавшиеся ранее месячные минимумы, и вблизи арктического побережья Восточной Сибири. Небольшие очаги положительных аномалий наблюдались в Ненецком АО (до 170 % от нормы) и на северо-восточном побережье Охотского моря (более 135 % от нормы). В то же время в Магаданской области был обновлён месячный исторический минимум.

В **августе** дефицит солнечного сияния на территории РФ сохранился. Отрицательная аномалия для ЕЧР вновь попала в пять минимальных, а для Приволжского ФО стала рекордно низкой. Значительно возросло число станций, на которых были обновлены месячные минимумы. В АЧР территория, занятая отрицательными

аномалиями ПСС, сократилась, а вблизи арктического побережья сформировались очаги значительных (более 150 % от нормы) положительных аномалий.

Сентябрь характеризуется преобладанием на территории страны положительных аномалий ПСС. Очаг наиболее значительных из них (до 172 % от нормы) располагался на северо-востоке ЕЧР. Наиболее существенный дефицит солнечного сияния наблюдался в Сибири: в северной половине Красноярского края до 52 %, в центральных районах Якутии до 68 % от нормы.

В **октябре** дефицит солнечного сияния стал преобладающим на территории всей страны. Мощные очаги отрицательных аномалий (менее 35 % от нормы) сформировались как в ЕЧР, так и в АЧР. Средние аномалии для северных регионов попали в пять минимальных. Положительные аномалии ПСС отмечались в южных районах страны: на юге ЕЧР (для Северо-Кавказского ФО средняя аномалия попала в пять максимальных), в Западной Сибири, в Приморье, на Чукотке.

В **ноябре** площадь, занятая отрицательными аномалиями, существенно сократилась. В южной половине ЕЧР сформировался мощный очаг положительных аномалий ПСС, на ряде станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. Средняя аномалия для Южного ФО (168 %) стала рекордной, а средняя аномалия для ЕЧР получила ранг 2 среди максимумов. Наибольший дефицит солнечного сияния наблюдался на северо-западе ЕЧР, вблизи арктического побережья Сибири. Средние аномалии для региона «Север Восточной Сибири и Якутии» и Дальневосточного ФО попали в пять минимальных.

В **декабре** средняя для территории России ПСС была близка к норме. При этом в ЕЧР Северо-Западный ФО попал в пять минимумов, а на юге сформировался очаг положительных аномалий со значениями на отдельных станциях более 140 %. Существенные положительные аномалии ПСС наблюдались на востоке АЧР.

Региональные особенности режима солнечного сияния в 2019 г. хорошо прослеживаются на рис. 3 и 4, где представлены графики годового хода относительных аномалий месячных сумм ПСС, осреднённых, соответственно, по физико-географическим

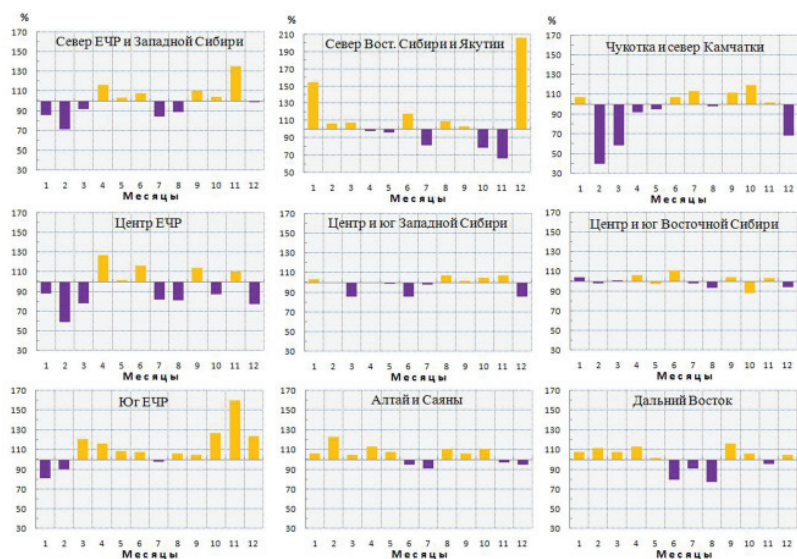


Рис. 3. Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осреднённой по физико-географическим регионам РФ, в 2019 году

регионам и федеральным округам РФ. Следует отметить, что на многих северных станциях в зимние месяцы наблюдается полярная ночь, поэтому большая положительная аномалия на рисунках не характеризует месяц как «солнечный», а просто свидетельствует о превышении нормы, которая в северных регионах невелика (см. табл. 1). Это замечание относится и к большим зимним отрицательным аномалиям. Однако отрицательные аномалии в феврале и марте 2019 года на Чукотке являются действительно существенными, составляя -52 и -80 часов соответственно.

Наибольший дефицит солнечного сияния в 2019 г. отмечался в Центре ЕЧР – здесь в течение семи месяцев наблюдались отрицательные аномалии ПСС (особенно значительные по абсолютной величине в июле – -53 часа). Наиболее солнечно было в трёх южных регионах, где в течение года преобладали месяцы со средней положительной аномалией. На юге ЕЧР число таких месяцев составило девять. Особенно солнечным был ноябрь с

аномалией +58 часов. При этом в регионе «Дальний Восток» три летних месяца характеризуются преобладанием отрицательных аномалий.

Осреднение аномалий по федеральным округам показывает, что наибольший дефицит солнечного сияния наблюдался в Северо-Западном ФО (девять месяцев со средней отрицательной аномалией ПСС, относительная аномалия суммарной за год ПСС – 90 % от нормы), Уральском (10 месяцев, 92 %) и

Приволжском (семь месяцев, 94 %). В Центральном ФО суммарная за год ПСС была близка к норме, но при этом наблюдались месяцы как со значительной положительной аномалией (апрель, октябрь), так и с отрицательной (февраль, декабрь). Месяцы со средней положительной аномалией для ФО преобладали в годовом ходе на юге ЕЧР: в Южном ФО их было 10, в Северо-Кавказском – 9. Наибольшая аномалия отмечалась в Южном ФО в ноябре – 124 % (+168 часов). В Сибирском ФО также для 10 месяцев в среднем получены положительные аномалии ПСС, но величина их не превышает 108 %. В Дальневосточном ФО обращает внимание дефицит солнечного сияния в летние месяцы (июль, август – 90 % от нормы).

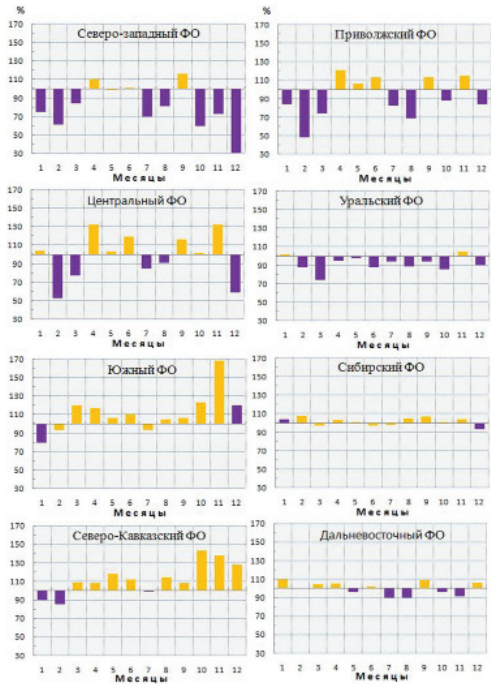


Рис. 4. Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осреднённой по федеральным округам РФ, в 2019 году

Характеристики сезонных аномалий ПСС на территории России

Результаты осреднения месячных аномалий ПСС в 2019 г. по календарным сезонам для всех рассматриваемых территориальных образований представлены в табл. 3. Средние сезонные аномалии в целом для территории РФ были отрицательные зимой и летом, положительные – весной и осенью. Аналогичные аномалии наблюдались в среднем для ЕЧР. Особенность АЧР – положительная аномалия в зимний сезон, причём наибольшая из всех сезонов.

Таблица 3

Относительные аномалии (RS , %) суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния, осреднённой по регионам России, в 2019 г. и коэффициенты линейного тренда (b , %/10 лет) в период 1976 – 2019 гг.

Регион	Зима		Весна		Лето		Осень	
	RS	b	RS	b	RS	b	RS	b
Российская Федерация	98	2,4	102	1,0	96	0,7	105	0,3
ЕЧР	71	-1,1	105	2,1	94	2,3	112	1,0
АЧР	106	3,5	101	0,6	97	0,1	102	0,1
Физико-географические регионы РФ								
Север ЕЧР и Зап. Сибири	75	-0,2	88	-0,1	81	0,2	94	-1,6
Север Вост. Сибири и Якутии	113	9,8	100	0,8	102	-0,1	91	-0,6
Чукотка и север Камчатки	71	4,3	90	-1,7	111	2,0	115	1,2
Центр ЕЧР	67	-1,3	105	2,2	93	2,6	105	1,0
Центр и юг Зап. Сибири	111	5,3	96	0,2	96	0,1	104	-0,4
Центр и юг Вост. Сибири	100	3,4	101	1,5	101	0,4	98	-0,2
Дальний Восток	108	1,7	107	0,5	83	-1,2	107	0,6
Алтай и Саяны	119	1,7	109	1,0	99	0,8	106	0,3
Юг ЕЧР	77	0,2	114	3,2	104	3,2	123	1,7
Федеральные округа РФ								
Центральный	64	-5,3	106	3,8	99	3,1	113	1,5
Южный	78	0,7	113	3,5	102	3,6	124	2,5
Северо-Западный	61	-5,8	100	1,1	83	0,5	95	-2,6
Дальневосточный	104	3,2	102	0,5	95	-0,4	101	0,2
Сибирский	110	3,3	101	0,8	100	0,4	104	0,0
Уральский	97	5,0	91	-0,3	91	1,0	93	-0,8
Приволжский	62	1,8	103	1,4	90	2,9	106	1,5
Северо-Кавказский	78	-0,6	113	2,5	108	3,1	126	1,5

Примечания. Жёлтым цветом выделены значения, попавшие в 5 максимальных, серым – в 5 минимальных. Тренд, статистически значимый на 5 %-ном уровне, показан жирным шрифтом.

Зимой 2018/19 гг. вся территория ЕЧР была занята отрицательными аномалиями ПСС и средняя для ЕЧР величина ПСС явилась рекордно низкой с 1961 г. (ранг 1, RS=71 %). ПСС пяти федеральных округов попала в пять минимумов. В АЧР наряду с отрицательными наблюдались существенные положительные аномалии ПСС. На ряде южных станций (Иркутская, Читинская области и др.) были превышены наблюдавшиеся ранее сезонные максимумы. ПСС в регионе «Алтай и Саяны» попала в пять максимальных.

В весенний сезон 2019 г. на территории РФ значительных аномалий ПСС не отмечалось. Тем не менее ПСС в Северо-Кавказском ФО и регионе «Алтай и Саяны» попала в пять максимальных. На ряде южных станций были превышены наблюдавшиеся ранее максимумы. Наиболее существенный дефицит солнечного сияния наблюдался в центральных районах Красноярского края (до 70 %), в Ямало-Ненецком АО (менее 60 %) и на Чукотке (менее 50 %).

Летом территория европейской части страны, занятая положительными аномалиями, существенно сократилась, а наиболее значительные положительные аномалии наблюдались в северных районах АЧР. Но для обеих частей страны средняя сезонная аномалия была отрицательной и в целом для территории РФ лето характеризуется дефицитом солнечного сияния (имеет ранг 3). Наиболее значительные отрицательные аномалии ПСС наблюдались в северо-восточных районах ЕЧР, где на ряде станций были обновлены сезонные минимумы (Северо-Западный ФО получил ранг 2), и в Дальневосточном регионе (ранг 1).

Осень была солнечной – средняя для территории РФ относительная аномалия ПСС составила 105 %, для ЕЧР, где преобладали положительные аномалии, – 112 %. Наиболее существенные аномалии наблюдались на юге и для Северо-Кавказского и Южного ФО они стали рекордными. На многих станциях были превышены наблюдавшиеся ранее сезонные максимумы (Краснодарский и Ставропольский края, Крым и др.). На Азиатской территории очаги наиболее заметных положительных аномалий располагались на юге Средней Сибири и Чукотке. На ряде южных станций аномалии попали в 95 %-ные квантили. Однако

довольно существенная часть Азиатской территории была занята отрицательными аномалиями.

В табл. 3, помимо сезонных аномалий, приводятся также оценки сезонных региональных трендов ПСС (коэффициент линейного тренда b). Во все сезоны в период 1976 – 2019 гг. для территории России в целом отмечается положительный тренд ПСС, и для всех сезонов, за исключением осени, он является статистически значимым (здесь и далее рассматривается 5 %-ный уровень значимости).

Зимой, когда рост ПСС наблюдался на большей части страны, в среднем для территории России тренд составляет $2,4 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$. Наиболее значительное увеличение ПСС происходило в АЧР (в среднем $3,5 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$). В регионе «Север Восточной Сибири и Якутии» тренд достигает $9,8 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$, а вклад тренда в дисперсию ряда – 41 %. В то же время на западе ЕЧР отмечается отрицательный тренд ПСС. В среднем для ЕЧР тренд составляет $-2,1 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$, а в Центральном и Северо-Западном ФО достигает более чем минус $5 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$.

Весной для территории РФ в целом тренд составляет $1,0 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$, что существенно меньше зимнего. При этом в ЕЧР тренд в 3,5 раза больше, чем в АЧР. Наибольший тренд наблюдается в Центральном и Южном ФО (более $3,5 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$).

В летний сезон в АЧР заметно увеличивается территория с отрицательным трендом, в результате средняя для территории РФ скорость роста ПСС уменьшается до $0,7 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$. Однако в целом для ЕЧР тренд, по сравнению с весной, несколько увеличивается, поскольку к значительному тренду в центре и на юге ЕЧР добавляется существенный ($2,9 \text{ \%} / 10 \text{ лет}$) тренд в Приволжском ФО. В целом для АЧР тренд летом практически отсутствует (вклад тренда в суммарную дисперсию ряда составляет 0 %). При этом в Дальневосточном регионе наблюдается слабый, статистически не значимый отрицательный тренд.

В осенний сезон отрицательным трендом занята существенная часть территории страны: отрицательный тренд наблюдается в среднем для четырёх регионов и двух федеральных округов. Тем не менее для территории РФ в целом, а также для обеих её

частей тренд является слабо положительным, но статистически не значимым. Статистически значимый положительный тренд сохраняется осенью только в Южном ФО.

Оценки линейного тренда, полученные для рядов годовых сумм ПСС, показывают, что в период 1976 – 2019 гг. почти на всей территории РФ происходит рост ПСС и на многих станциях он является статистически значимым. Средняя скорость роста ПСС для территории России в целом составляет 1,0 % / 10 лет, вклад тренда в суммарную дисперсию ряда – 28 %. Статистически значимым является положительный тренд годовых сумм ПСС и отдельно для ЕЧР и АЧР, однако его скорость в ЕЧР более чем в 2 раза больше (рис. 5). Основной вклад в тренд годовых сумм в ЕЧР вносит тренд летнего сезона, а в АЧР – зимнего. Наибольший тренд годовых сумм ПСС наблюдается на юге ЕЧР (3,1 % / 10 лет в Южном ФО).

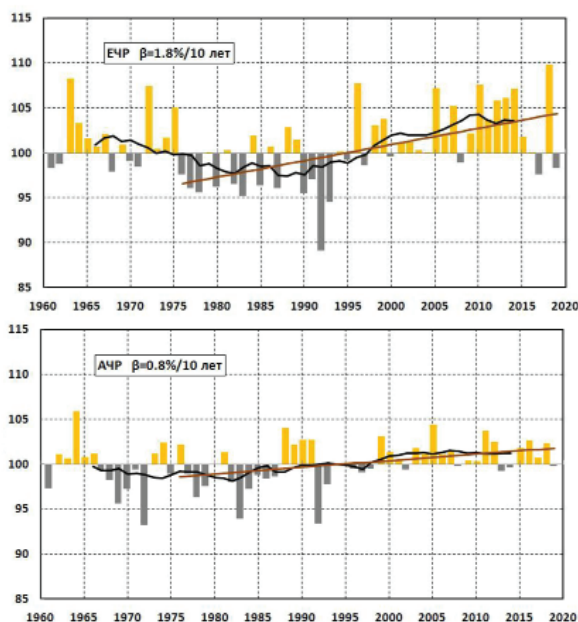


Рис. 5. Относительные аномалии суммарной за год продолжительности солнечного сияния, осреднённой по европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частям территории РФ. Дополнительно показаны 11-летняя скользящая средняя и линейный тренд в 1976–2019 гг.

Заключение

Суммарная за год продолжительность солнечного сияния в среднем для территории России в 2019 г. была близка к норме, при этом зимой и летом наблюдалось преобладание отрицательных аномалий, а весной и осенью – положительных. Наиболее яркой особенностью прошедшего года можно считать существенный дефицит солнечного сияния в ЕЧР в зимний сезон 2018/19 гг. (71 % от нормы), являющийся рекордным с 1961 года.

Для территории РФ в целом наибольший дефицит солнечного сияния в 2019 г. наблюдался в июле ($RS = 91$ %, ранг 1), а наиболее солнечным, по сравнению с нормой, был сентябрь ($RS = 108$ %). В ЕЧР наибольшие отрицательные аномалии наблюдались в феврале ($RS = 71$ %, ранг 1), а положительные – в ноябре ($RS = 135$ %, ранг 1). В АЧР наиболее существенными были отрицательные аномалии в июле ($RS = 94$ %, ранг 3), а положительные – в январе и сентябре ($RS = 107$ %).

Во всех регионах и федеральных округах РФ тренд годовых сумм ПСС в период 1976 – 2019 гг. был положительный, причём в большинстве из них статистически значимый. Сравнение с оценками для 2018 г. [8] показало, что метеорологические условия 2019 г. способствовали некоторому ослаблению положительных тенденций в многолетних изменениях ПСС: в среднем для территории РФ и её европейской части положительный тренд несколько уменьшился. Однако оценка тренда годовых сумм ПСС для последнего 30-летнего периода (1990 – 2019 гг.) для территории России в целом, по сравнению с прошлым годом, практически не изменилась.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апасова Е. Г., Клещенко Л. К. Описание массива данных суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на станциях России. <http://meteo.ru/data/160-sunshine-duration#описание-массива-данных>.
2. Клещенко Л. К. Мониторинг продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 29 – 46.

3. Клещенко Л. К. Результаты мониторинга продолжительности солнечного сияния на территории России в 2018 году // Всероссийская конференция «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», 26 – 28 ноября 2019 г., Москва. Сборник тезисов докладов. М.: Физматкнига, 2019. С. 50.
4. *Климатические условия* на территории России. <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/93-klimaticheskie-usloviya/179-klimaticheskie-usloviya-na-territorii-rossii>.
5. *Научно-прикладной справочник: «Климат России-2018»*. ВНИИГМИ-МЦД. <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii>.
6. Клещенко Л. К. Некоторые результаты статистического анализа данных о продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 69 – 85.
7. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год*. М.: Росгидромет, 2020. С. 59 – 66. [Http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/2019.pdf](http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/2019.pdf).
8. Клещенко Л. К. Тенденции современных изменений продолжительности солнечного сияния на территории России // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы Международной научно-практической конференции, г. Воронеж, 3 – 5 октября 2019 г. Том. 1. Воронеж: Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. 532 с.

УДК 551.521.11:551.583.1

ОЦЕНКИ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Л. К. Клещенко

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

Продолжительность солнечного сияния (ПСС) является одним из основных климатических параметров, определяющих различные аспекты человеческой и хозяйственной деятельности. Учитывая важность этого метеорологического элемента, в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» на регулярной основе осуществляется мониторинг ПСС [1], результаты которого представляются на сайте института [2]. Однако в научно-прикладном справочнике «Климат России» [3], где приводятся климатические данные о многих параметрах атмосферы, справочная информация о ПСС в настоящее время представлена только средними многолетними значениями (нормы за 1971–2000 гг.). В связи с этим расчёт и анализ статистических характеристик ПСС представляется актуальной задачей.

Исследование [4] было посвящено анализу статистических характеристик суммарной за **сезон** ПСС. Целью настоящей работы является изучение межгодовой изменчивости **месячных** сумм ПСС. Расчёты осуществлялись по данным метеорологических станций на территории России, представленным в базе данных [5], за период 1961–2018 гг.

Одной из характеристик межгодовой изменчивости метеорологического параметра может служить размах его экстремумов в многолетнем ряду, представляющий собой разность между максимальным и минимальным значением. Экстремальные значения месячных сумм ПСС были получены для 12 месяцев года на станциях России, имеющих за рассматриваемый период ряды данных не менее 30 лет. Из 892 станций, входящих в базовый

архив, таких оказалось 665. Ввиду наличия пропусков данных в архиве, число станций, по которому рассчитывались разности между экстремумами, оказалось несколько меньше (наименьшее из них приходится на декабрь – 630 станций). Пределы изменения полученных статистик на территории России показаны в табл. 1, а их пространственное распределение для центральных месяцев четырёх календарных сезонов года представлено на рис. 1 – 3. При построении карт использовались станции, имеющие в месячном ряду не менее 40 значений. Отметим также, что проводилось пространственное сглаживание полей, возможность которого обеспечивается графической системой SURFER.

Таблица 1

Оценки многолетних экстремумов (MIN, MAX) суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния и их разностей (D_MAMI) на территории России (1961–2018 гг.)

Месяц	NS	MIN			MAX			D_MAMI			
		mean	min	max	mean	min	max	NS	mean	min	max
Январь	665	26	0	164	106	0	257	644	80	0	215
Февраль	665	49	0	167	162	0	259	649	114	0	210
Март	665	94	9	220	248	116	328	652	155	65	256
Апрель	665	125	9	256	298	158	454	653	174	85	393
Май	665	154	10	270	340	180	486	648	186	89	357
Июнь	665	163	23	269	363	148	553	646	201	89	453
Июль	665	160	14	284	368	133	564	649	208	96	412
Август	665	127	11	259	304	145	414	652	177	87	387
Сентябрь	665	78	4	209	225	65	333	643	147	61	275
Октябрь	665	51	0	182	162	26	293	631	111	26	214
Ноябрь	665	28	0	151	103	0	256	632	76	0	190
Декабрь	665	19	0	151	78	0	222	630	60	0	154

Условные обозначения: **NS** – число станций, **mean** – среднее значение, **min** – минимальное значение, **max** – максимальное значение.

Как известно, продолжительность солнечного сияния имеет хорошо выраженный годовой ход с минимумом в зимний и максимумом в летний сезон. Это нашло отражение в приведённых выше оценках статистик. Так, средний минимум ПСС изменяется от 19 часов в декабре до 160 часов в июне, а средний максимум от 78 до 368 часов (табл. 1). В период с ноября по февраль, когда на северных станциях наступает полярная ночь, почти на всей

территории страны (за исключением южных районов её азиатской части) бывают месяцы с продолжительностью солнечного сияния менее 100 часов (рис. 1). В период с апреля по август такая небольшая продолжительность солнечного сияния наблюдается лишь в отдельных районах – в основном вблизи арктического и тихоокеанского побережий. В апреле и мае на всей территории страны ПСС не бывает менее 150 часов за месяц. Максимумы месячных сумм ПСС (более 550 часов) наблюдаются в июне и июле. Как видно на рис. 2, очаги максимальных значений (более 450 часов за месяц) расположены в азиатской части страны (северные районы Красноярского края и Якутии).

Средний размах межгодовых колебаний месячных сумм ПСС для территории России изменяется от 60 часов (декабрь) до 208 часов (июль), а максимальный составляет более 450 (июнь). В распределении оценок для большинства месяцев отчётливо прослеживается зональный характер. Очаги с наибольшей изменчивостью ПСС в период с апреля по август расположены в северных широтах (рис. 3).

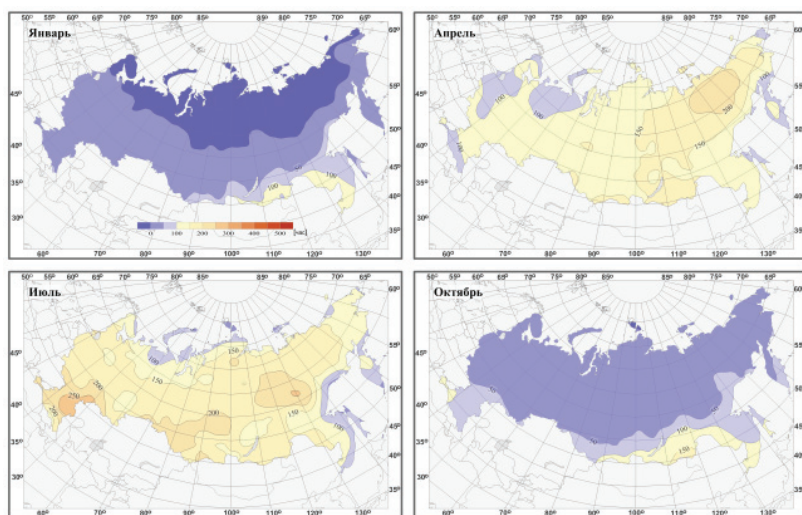


Рис. 1. Минимальные значения суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на территории РФ, 1961 – 2018 гг.

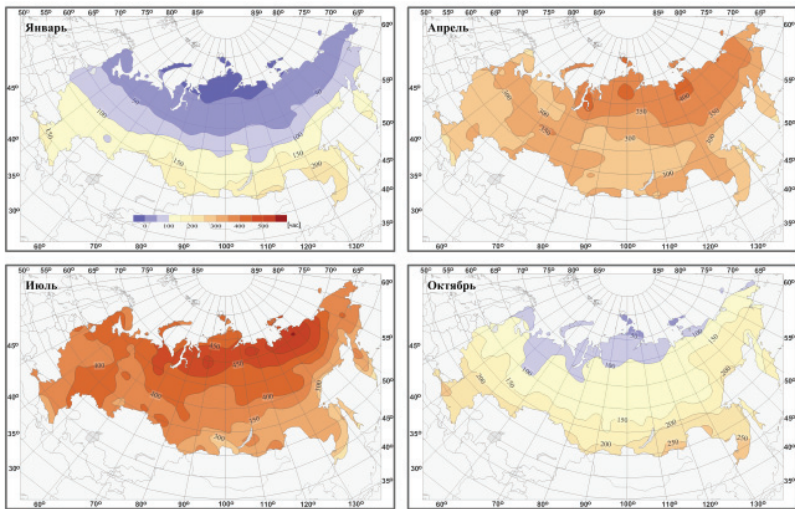


Рис. 2. Максимальные значения суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на территории РФ, 1961 – 2018 гг.

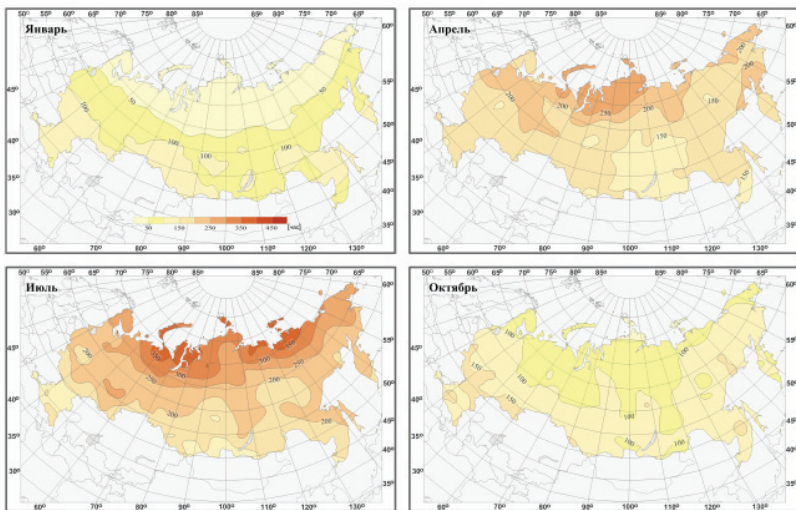


Рис. 3. Разность между максимальным и минимальным значением суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на территории РФ, 1961 – 2018 гг.

Наиболее часто для характеристики межгодовой изменчивости используется среднеквадратическое (стандартное) отклонение (*std*), полученное по многолетнему ряду исследуемого параметра. В табл. 2 приведены оценки стандартного отклонения для месячных сумм ПСС на станциях России, полученные за период 1961–2018 гг. при наличии данных не менее чем за 30 лет. Средние для территории страны оценки изменяются от 14 часов в декабре до 48 в июле, а максимумы для летних месяцев достигают более 90 часов. Пространственное распределение оценок *std*, показанное на рис. 4, характеризуется зональностью и очень близко географическому распределению разностей между экстремумами, приведённому на рис. 3.

Таблица 2

Оценки межгодовой изменчивости суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на территории России (1961 – 2018 гг.)

Месяц	STD				DS (ns = 432)	
	NS	Mean	Min	Max	PSU	PSD
Январь	644	18	0	41	33	52
Февраль	649	26	0	41	34	49
Март	652	35	17	55	29	52
Апрель	653	38	19	79	46	35
Май	648	42	23	72	47	40
Июнь	646	46	21	98	33	49
Июль	649	48	23	91	42	38
Август	652	40	18	69	38	44
Сентябрь	643	34	15	50	43	40
Октябрь	631	26	5	47	31	48
Ноябрь	632	17	0	34	43	41
Декабрь	630	14	0	32	28	51

Условные обозначения: **STD** – стандартное отклонение, **NS** – число станций, **Mean** – среднее значение, **Min** – минимальное значение, **Max** – максимальное значение, **DS** – отношение стандартных отклонений (DS2/DS1 см. текст), **PSU** – процент станций с увеличением межгодовой изменчивости, **PSD** – процент станций с уменьшением межгодовой изменчивости.

Интересно было посмотреть: изменяются ли оценки межгодовой изменчивости ПСС в связи с глобальным потеплением? С этой целью весь рассматриваемый период был разбит на две части: 1961–1990 и 1991–2018 гг.; и для этих подпериодов для

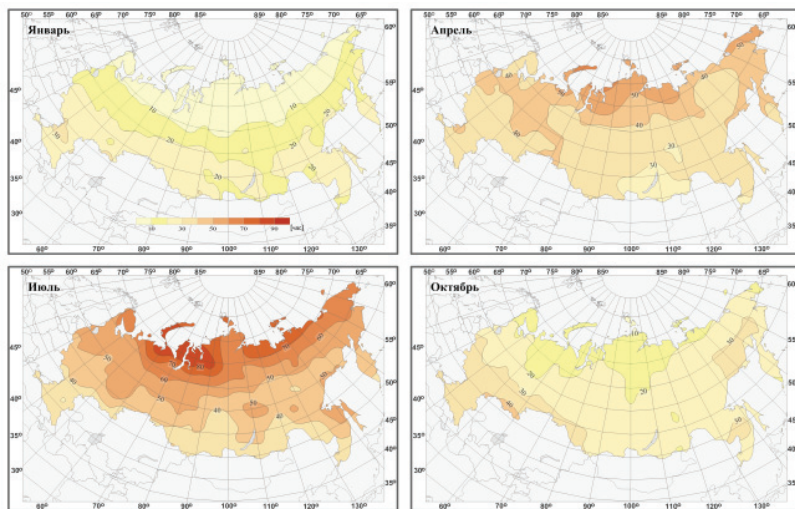


Рис. 4. Стандартные отклонения суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на территории РФ, 1961 – 2018 гг.

каждого месяца получены оценки std на станциях, где число наблюдений превышало 20 лет ($s1$ и $s2$ соответственно). Затем для каждой станции рассчитывалось отношение $ds = s2/s1$, характеризующее изменение (увеличение либо уменьшение) межгодовой изменчивости. Приведённое на рис. 5 распределение ds для двух месяцев (май, август) иллюстрирует разнообразие в географическом положении очагов увеличения и уменьшения межгодовой изменчивости.

Так, в мае на большей части Европейской территории России отмечаются отрицательные значения ds , в то время как в азиатской части страны преобладает тенденция к увеличению межгодовой изменчивости продолжительности солнечного сияния. В августе наблюдается противоположная картина: на Европейской территории наблюдается рост межгодовой изменчивости, а в южной половине азиатской территории ярко выражено уменьшение межгодовой изменчивости.

Для обобщения полученных оценок для каждого месяца было подсчитано число станций, где отношение ds было меньше

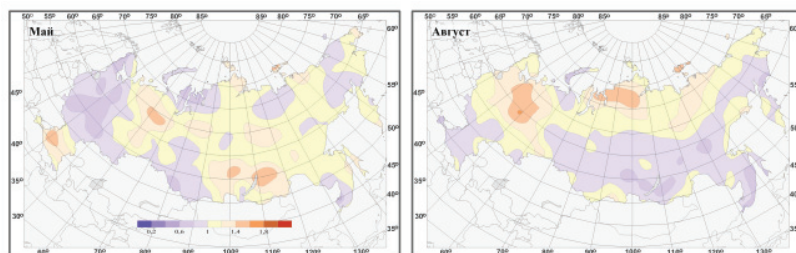


Рис. 5. Пространственное распределение отношений стандартных отклонений суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, рассчитанных за периоды 1991 – 2018 и 1961 – 1990 гг.

0,95 и больше 1,05. При попадании ds в интервал $0,95 < ds < 1,05$ считалось, что межгодовая изменчивость остаётся неизменной. Общее число станций, по которым осуществлялись расчёты, составило 432. Процент станций с увеличением межгодовой изменчивости (PSU) и её уменьшением (PSD) показан в приведённой выше табл. 2. Как видно из таблицы, для пяти месяцев обнаруживается преобладание станций с увеличением межгодовой изменчивости, а для семи месяцев – её уменьшение, причём для трёх из них (январь, март, декабрь) уменьшение изменчивости наблюдается более чем на 50 % станций. Среднее за год (по 12 месяцам) значение PSU составляет около 38 %, а PSD – 45 %.

Географическое распределение областей, где наблюдается преобладание месяцев с увеличением межгодовой изменчивости либо с её уменьшением, показано на рис. 6. Видно, что на европейской территории страны тенденция к росту межгодовой изменчивости проявляется в её восточной части, а к уменьшению – в западной. В азиатской части страны заметно более обширными являются области с увеличением изменчивости. Среднее для станций число месяцев с ростом межгодовой изменчивости составляет 4,5, с уменьшением – 5,4. Различия между этими двумя оценками вряд ли можно считать существенными.

Таким образом, проведённые расчёты не выявили однозначных ярко выраженных тенденций в современных изменениях межгодовой изменчивости продолжительности солнечного сияния на территории России.

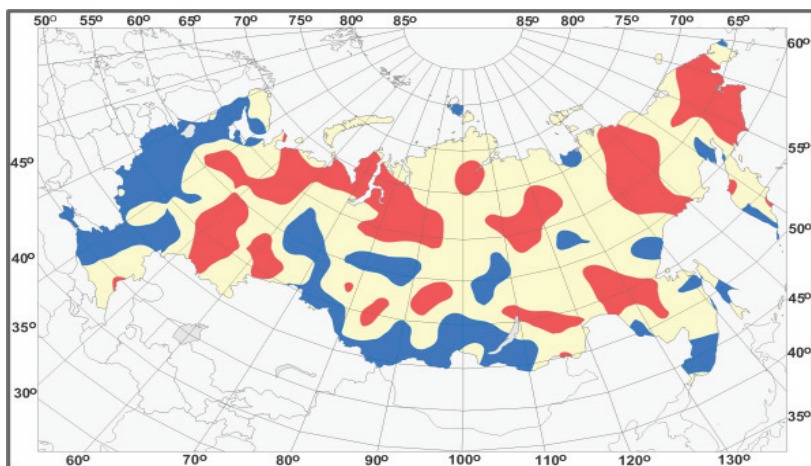


Рис. 6. Географическое распределение станций с преобладанием месяцев с увеличением межгодовой изменчивости (красный цвет) и её уменьшением (синий цвет)

В заключение отметим, что полученные оценки статистик используются для дополнительного контроля базового архива и, что важно, могут использоваться в качестве справочного материала в отраслях экономики, на деятельность которых оказывает влияние солнечное сияние (сельское хозяйство, энергетика и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клещенко Л. К. Мониторинг продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 29 – 46.
2. Климатические условия на территории России. [Http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/93-klimaticheskie-usloviya/179-klimaticheskie-usloviya-na-territorii-rossii](http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/93-klimaticheskie-usloviya/179-klimaticheskie-usloviya-na-territorii-rossii).
3. Научно-прикладной справочник: «Климат России-2018». ВНИИГМИ-МЦД. [Http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii](http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii).
4. Клещенко Л. К. Некоторые результаты статистического анализа данных о продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 69 – 85.
5. Апасова Е. Г., Клещенко Л. К. Описание массива данных суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на станциях России. [Http://meteo.ru/data/160-sunshine-duration#описание-массива-данных](http://meteo.ru/data/160-sunshine-duration#описание-массива-данных).

УДК 004.02:551.4

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЯВЛЕНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК В СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**С. Р. Степаненко¹, М. З. Шаймарданов^{2*},
А. И. Шевченко^{2**}**

¹ г. Обнинск, stepanenko@mail.ru;

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

Введение

Метеорологическая информация предназначена для решения многих задач, среди которых одной из главных является задача информационного обеспечения исследований климата. Для этого требуется достоверная (без ошибок) информация.

Система измерений параметров состояния атмосферы и гидросферы требует неукоснительного соблюдения правил, указанных в наставлениях по измерениям. Однако это не исключает возникновения сбоев в процессе измерений, передачи и первичной обработки данных, в результате чего возникают ошибки, приводящие к неадекватному отображению измеряемых параметров. Ранее, до внедрения ЭВМ в процесс сбора и первичной обработки данных наблюдений, осуществлялся контроль наблюдений только метеорологами-наблюдателями.

В конце 60-х годов прошлого века в систему получения данных о состоянии природной среды началось внедрение ЭВМ. Это послужило одной из причин разработки автоматизированных методов контроля метеорологических данных [1, 2, 5, 7, 9, 10, 13, 14, 17 – 19], которые позволили резко сократить затраты ручного труда и в значительной степени повысить качество данных. По мере развития технологии системы сбора и обработки данных, существенно улучшались и методы контроля, но, начиная с 90-х годов прошлого века, эта работа не ведётся.

В последнее время работа возобновляется, например, создан метод мониторинга качества, который применён при записи данных в роботизированную библиотеку [12].

Однако обязательным этапом автоматизированного контроля является критический анализ ошибок, выявленных ЭВМ, и принятие окончательного решения об их достоверности. В итоге в автоматизированном контроле по-прежнему сохраняется доля ручного труда, требующая большого психологического напряжения в течение длительного времени. Особенно большой объём ручного труда наблюдается в подсистеме контроля систематических ошибок [2, 4]. Кроме того, в существующей системе сбора и первичной обработки отсутствуют методы замены ошибок на достоверные значения, они для долговременного хранения снабжаются соответствующими признаками качества, а само значение сохраняется.

Предлагаемый метод позволит принимать решение о достоверности данных автоматически без дополнительного анализа ошибок метеорологами.

Своевременное обнаружение единичных и систематических ошибок позволяет, во-первых, избежать ошибок при интерпретации данных и, во-вторых, осуществлять контроль проведения наблюдений и следить за исправностью приборов. Система сбора, первичной обработки и накопления метеорологических данных является информационно-измерительной системой (ИИС). Её задача состоит не только в получении мгновенных значений о состоянии природной среды. В настоящее время важной задачей становится также получение образов (объектов) измерений (атмосферные вихри, фронты, грозы, зоны турбулентности, туманы, инверсии, смоги и другие опасные явления) и тенденции их развития, а также отображение результатов, получаемых с помощью ИИС в виде конечного продукта, понятного для использования в различных приложениях.

Получение этих образов по результатам измерений можно рассматривать как искусственный интеллект в области информационных технологий, для чего эмпирические данные должны быть безукоризненными с точки зрения их адекватности и

репрезентативности. Для достижения этой цели необходимо иметь *автоматическую* систему контроля данных (систему обнаружения и исправления единичных и систематических ошибок). Следовательно, постановку и решение задачи **автоматического контроля** можно рассматривать как начальный шаг разработки искусственного интеллекта в области гидрометеорологии.

Цель настоящей статьи – изложить методические основы обнаружения данных с систематическими ошибками и *автоматической* замены их достоверными.

Основы метода автоматического контроля

Задача создания методов *автоматического* контроля (обнаружения единичных и систематических ошибок) метеорологических данных в настоящее время в России не решается, поэтому в предлагаемой статье рассмотрен возможный вариант реанимации решения этого вопроса.

Во-первых, обратим внимание, что *сущность* контроля любых данных (первичных измерений или осреднённых по времени) состоит в выявлении значений, резко отличающихся от соседних членов вариационного ряда эмпирических данных, полученных при *одинаковых* внешних условиях. Постоянство внешних условий – это главное условие *воспроизводимости* результатов измерений, а воспроизводимость опытов является одним из главных требований метрологии [8].

Во-вторых, необходимо чётко определить понятие внешних условий. Объектами измерений являются флуктуации или колебания разных пространственно-временных масштабов. Поэтому внешними условиями для колебания заданного масштаба является состояние колебания большего временного масштаба.

Колебания могут быть вынужденные и внутренние (собственные). Вынужденные колебания обусловлены внешними причинами по отношению к Земле, одной из которых можно считать регулярные колебания в течение года количества солнечной радиации и момента инерции движения Земли вокруг Солнца [15]. Регулярные внешние колебания генерируют в климатической системе внутренние (собственные) нерегулярные колебания.

Собственные колебания атмосферы и океана в результате обратной связи могут изменять свойства подстилающей поверхности и, как следствие, приводить к изменению параметров вынужденных колебаний (суточного и годового масштаба).

Задача ИИС в гидрометеорологии состоит в том, чтобы разложить непосредственно измеряемые гидрометеорологические параметры на классы (образы, объекты, *масштабы колебаний*) и определить *локальные* амплитудно-частотные характеристики образов. Каждый класс метеорологических объектов обусловлен соответствующим масштабом колебаний. Основными характеристиками каждого масштаба колебания являются количество колебаний на заданном временном интервале, их пространственно-временные границы и амплитудные оценки каждого колебания (в отличие от спектрального анализа, в котором рассматривается лишь зависимость средней амплитуды от частоты). Локальные характеристики могут быть чувствительными к наличию в данных грубых единичных ошибок и особенно чувствительными к систематическим ошибкам. Иначе говоря, для определения локальных амплитудно-частотных характеристик резко повышается требование к качеству (*репрезентативности*) эмпирических данных и, соответственно, к технологии и алгоритмам контроля. Кроме того, учитывая постоянно растущие объёмы гидрометеорологических данных, технология контроля должна осуществлять автоматическое принятие решения о достоверности данных и автоматическую замену недостоверных данных на достоверные значения.

Основными масштабами колебаний, как известно [6], являются:

- 1) мезомасштабные (обозначим их как u_1),
- 2) суточные (u_2),
- 3) синоптические (u_3),
- 4) годовые (u_4),
- 5) климатические (u_5).

Алгоритмы автоматического контроля, с одной стороны, должны базироваться на некоторых известных свойствах указанных колебаний; с другой стороны, алгоритмы контроля должны быть достаточно простыми (самодостаточными), не требующими сложных связей с внешними информационными системами.

В задаче автоматического контроля можно использовать следующие простые и достаточно очевидные свойства колебаний.

1. Характерные временные масштабы $L_1 - L_5$ (периоды) колебаний $u_1 - u_5$ представляют возрастающую последовательность $L_1 \ll L_2 \ll L_3 \ll L_4 \ll L_5$.

2. Единичное колебание любого масштаба L_k образует элементарную волну с постоянным периодом (суточные и годовые колебания) или с переменным периодом, но таким L_k , что $L_k \ll L_{k+1}$. Каждую элементарную волну можно представить как последовательность $u_{t_1} < u_{t_2} > u_{t_3}$, где (для определённости) t_1, t_3 – моменты времени, когда волна достигает минимальных значений, а t_2 – момент времени, когда волна достигает максимальных значений.

3. Колебание каждого временного масштаба u_k можно рассматривать как *равновесный* процесс, установившийся по отношению к процессу u_{k-1} . Например, синоптические колебания u_3 можно рассматривать как равновесный процесс по отношению к мезомасштабным колебаниям u_1 , а состояние климата u_5 является установившимся (равновесным, при заданном склонении Солнца) по отношению к синоптическим колебаниям u_3 .

4. Два элементарных колебания заданного временного масштаба u_k *линейно* связаны между собой и, как следствие, линейно связаны с усреднённым колебанием по совокупности состояний при фиксированных значениях внешних условий (состояний u_{k+1}).

5. Все колебания $u_1 - u_5$ изменяются во времени взаимосвязанно.

6. Период колебаний мезомасштабных колебаний L_1 много больше дискретности первичных измерений L_0 ($L_1 \gg L_0$).

7. Колебания u_{k-1} можно рассматривать как погрешности измерений колебаний u_k . Например, годовые колебания u_4 можно рассматривать как погрешности измерений колебаний климата u_5 , а колебания синоптического масштаба – как погрешности измерения годовых колебаний, и т. д.

8. Колебания u_k проявляются как изменение параметров (или характерных точек) колебаний u_{k-1} . Например, колебания

u_k – это временной ряд $u_{k-1, t1}$, или $u_{k-1, t2}$, или $\bar{u}_{k-1, t0} = (u_{k-1, t1} + u_{k-1, t2})/2$ и т. д.

Обоснование необходимости автоматического контроля и исправления ошибок среднемесячных значений

В настоящей работе мы акцентируем внимание на контроле среднемесячных значений потому, что эти данные, как правило, являются основой эмпирического моделирования колебаний климата – это во-первых. Во-вторых, ошибки среднемесячных значений могут свидетельствовать о наличии грубых значений первичных измерений. Поэтому своевременное выявление ошибок среднемесячных значений позволяет осуществлять управление системой наблюдений.

Перечисленные свойства колебаний позволяют разработать комплексный метод контроля среднемесячных значений метеорологических данных ошибок по времени и по пространству.

Отклонения среднемесячных значений от многолетних при заданных внешних условиях в каждой точке сетки можно считать погрешностями измерений во времени среднемесячных полей, обусловленные совокупностью короткопериодных колебаний. Можно ожидать, что распределения погрешностей при одинаковых внешних условиях за разные интервалы времени будут подобными между собой. Это позволяет все отклонения в точке представить в виде множества линейно взаимосвязанных функций порядковых статистик или в виде линейной регрессионной зависимости порядковых статистик в каждой реализации (выборке) от усреднённых значений по всем реализациям. При отсутствии ошибок, отклонения от уравнения регрессии не будут превышать размаха усреднённой реализации. В этом сущность первого критерия контроля среднемесячных значений (контроля временной совокупности).

В основе второго критерия контроля лежит свойство линейной зависимости каждого среднемесячного поля от среднего многолетнего поля для заданного времени года (при заданных внешних условиях) (этот факт неоднократно подтверждён в [11], т. е. каждое среднемесячное поле можно описать линейной

зависимостью от многолетнего поля для любой горизонтальной сетки. Если эта зависимость является статистически эффективной, то отклонения от неё (неслучайной функции) не будут превышать размаха самой функции (уравнения регрессии). В этом состоит сущность второго критерия контроля среднемесячных данных.

Таким образом, мы предлагаем два критерия сравнения погрешностей измерений среднемесячных значений с размахом неслучайных функции. Среднемесячное значение в заданной точке сетки можно считать достоверным, если оно удовлетворяет обоим критериям сравнения. Если некоторое значение поля $u_t(x_0, y_0)$ не удовлетворяет обоим критериям, то его можно *заменить* значением, соответствующим значению уравнения регрессии.

Далее рассмотрим практическое применение изложенного подхода на примере контроля среднемесячных значений температуры воздуха за период с 1896 по 2006 год на 166 станциях, взятых из Ежемесячника ч. 1, и для ежедневных данных уровней воды на 21 посту в бассейне реки Амур за период 2000 – 2013 гг.

Контроль по времени. Однородность по времени будем проверять по отклонениям от средних многолетних значений независимо в каждой точке за каждый месяц. Пусть

$$e_t(x_0, y_0) = u_t(x_0, y_0) - \bar{u}_t(x_0, y_0),$$

где $\bar{u}_t(x_0, y_0)$ – среднее многолетнее значение в точке (x_0, y_0) .

Значения $e_t(x, y)$ обычно считаются независимой случайной величиной и для оценки статистической однородности (выявления ошибок) используются статистические критерии [3, 16].

Однако применение статистических критериев порождает много ложных ошибок, требующих экспертного (ручного) анализа и принятия решения. Возникновение ложных ошибок можно объяснить тем, что любой статистический критерий, применяемый для обнаружения ошибок, представляет *отношение двух* независимых случайных величин: в числителе случайная величина связана с крайним членом выборки, а в знаменателе – случайная величина, получаемая по той же выборке. Отношение двух случайных величин не может быть однозначной характеристикой. Это создаёт неопределённость выводов и приводит к необходимости

решать задачу проверки статистической гипотезы, которая является неоднозначной (вероятностной) по определению. Для однозначного вывода о характере отклонения необходимо, чтобы в знаменателе была *неслучайная* переменная.

Мы предлагаем значения $e_t(x_0, y_0)$ считать сомнительными (требующими проверки однородности по пространству), если одновременно выполняются следующие условия:

$$1) |e_{p1}| > p_1 R_p, \quad (1)$$

$$2) e_{p2} - e_{p4} > p_2 R_p, \quad (2)$$

$$3) |e_{pn}| > p_1 R_p, \quad (3)$$

$$4) e_{pn} - e_{p,n-1} > p_2 R_p, \quad (4)$$

где $e_{p1}, e_{p4}, e_{p,n-1}, e_{p,n}$ – члены вариационного ряда отклонений, p_1, p_2 – параметры контроля, R_p – размах неслучайной эмпирической функции математических ожиданий совокупности порядковых статистик $\bar{u}(x_0, y_0)$.

Поскольку выделенный термин в статистической литературе, по-видимому, отсутствует, покажем его сущность на модельном примере.

Промоделируем две совокупности по 1 000 случайных чисел, по нормальному и логнормальному закону распределения. Разделим каждую совокупность на 50 выборок по 20 элементов в каждой выборке. Каждую выборку упорядочим по неубыванию. Каждое значение упорядоченной выборки называется порядковой статистикой. Найдём теперь среднее значение каждой порядковой статистики по совокупности соответствующих выборок. При увеличении количества выборок среднее значение каждой порядковой статистики будет стремиться к постоянной величине (математическому ожиданию). Каждая реализация порядковых статистик (каждая упорядоченная выборка e_p) линейно связана с их математическим ожиданием $\bar{e}_p$, поскольку *природа* каждой выборки и математического ожидания является одной и той же, т. е.

$$e_p = a + b \bar{e}_p + \varepsilon, \quad (5)$$

где параметры a, b определяются по МНК.

Связь e_p и $\bar{e}_p$ доказывают высокие коэффициентом детерминации R^2 (в модельном примере для логнормального закона значение R^2 в 76 % случаев больше 0,90 и лишь в 6 % случаев

значения R^2 находятся в интервале $[0,72, 0,78]$). Значительные отклонения порядковых статистик от уравнения регрессии упорядоченных выборок на их усреднённую выборку может служить индикатором ошибки. Наибольшее отклонение по модулю от уравнения регрессии, нормированное на *размах* эмпирического математического ожидания порядковых статистик R_p в модельном примере не превышает 0,22 и 0,58 для нормального и логнормального распределения, а нормированная разность крайних членов отклонений от регрессии не превышает 0,20 и 0,32 для нормального и логнормального распределения соответственно. Эти значения можно принять в качестве начального приближения параметров контроля q_1, q_2 , которые могут уточняться в процессе эксплуатации системы контроля.

Таким образом, вместо вероятностной оценки достоверности данных, можно задать точные границы, выход за которые однозначно указывает на несогласованность данных по времени.

Пространственный контроль. Для момента времени t^* , когда условия по времени (1) – (4) не выполняются, оценим в окрестности точки (x_0, y_0) степень пространственной однородности поля $u_{t^*}(x_v, y_v)$, $v = 1, 2, 3, \dots, n \geq 15$.

Для этого на основании свойств (3), (4) представим поле среднемесячных значений $u_{t^*}(x_v, y_v)$ в виде

$$u_{t^*}(x_v, y_v) = a + bf(x_v, y_v) + e_{t^*}(x_v, y_v), \quad (6)$$

где $f(x_v, y_v) = \sum u_j t^*(x_v, y_v) / m$ – среднее многолетнее поле для заданного месяца t^* , $j = 1, m$, m – период наблюдений, $v = 1, n$, n – количество узлов аппроксимации.

Обоснование разложения (6) приведено, в частности, в [13]. Если горизонтальная сетка содержит достаточно большое количество узлов (например $n \geq 30$), то можно принять, что ошибка $\Delta_{t^*}(x_0, y_0)$ не оказывает влияния на оценку параметров a, b .

Отметим существенные особенности выражения (6) от функции, используемой в технологии межстанционного контроля ГГО [2, 4]. В методе ГГО аппроксимация поля осуществляется в окрестности каждой точки (x_i, y_i) плоскостью $\tilde{y}_v(x_v, y_v)$ по 5 – 6 точкам («влияющим» станциям), $i = 1, N$, N – количество

всех контролируемых пунктов наблюдений. Список «влияющих» для каждого i составляется заранее экспертом-метеорологом. Если отклонение фактического значения от вычисленного по уравнению аппроксимации превышает заранее заданный уровень, то значение контролируемой переменной в точке (x_v, y_v) выводится в таблицу для последующего анализа специалистом-метеорологом. Поскольку количество узлов сетки невелико, то наличие систематической ошибки может сильно влиять на функцию $\tilde{y}(x_v, y_v)$ и ошибка будет «размазана» на множестве отклонений $e(x_v, y_v) = u(x_v, y_v) - \tilde{y}(x_v, y_v)$. Именно по этой причине, как показал опыт применения этого метода для контроля среднемесячных значений метеорологических данных, таблицы пространственного контроля всегда содержат очень большое количество подозреваемых значений, требующих большого ручного труда (визуального анализа). Это обстоятельство является главным аргументом для разработки автоматического контроля, при котором не требуется визуальный анализ для принятия решения.

В межстанционном анализе используется *фундаментальное свойство непрерывности полей*. Но для автоматического контроля необходимо:

- 1) увеличить область аппроксимации (количество «влияющих» до 20 – 30 или более),
- 2) аппроксимирующая функция должна иметь минимальное количество параметров. Тогда можно ожидать, что грубая ошибка будет локализована по пространству. Метод аппроксимации (6), в котором независимой переменной является эмпирическая функция $f(x, y)$, полученная усреднением по множеству реализаций полей для заданного месяца, полностью удовлетворяет этим требованиям.

Для оценки пространственной однородности $e(x_v, y_v)$ упорядочим их по неубыванию и обозначим полученный ряд e_p . Среднемесячное значение $u_f^*(x_0, y_0)$ будем считать ошибкой, если оно является наименьшим или наибольшим значением ряда e_p и для него выполняются условия:

$$1) |e_{p1}| > q_3 R_f, \quad (7)$$

$$2) e_{p2} - e_{p1} > q_4 R_f \quad (8)$$

или

$$3) |e_{p_n}| > q_3 R_f, \quad (9)$$

$$4) e_{p_n} - e_{p_n-1} > q_4 R_f, \quad (10)$$

где e_{p_1} , e_{p_n} – первый и последний члены ряда e_p , q_3 , q_4 – параметры контроля. Значения q_3 , q_4 назначаются исходя из физических соображений. Чем меньше область аппроксимации функции (6), тем меньше R_f и, соответственно, меньшими могут быть значения q_3 , q_4 . Оптимальное соотношение между размером области аппроксимации (количеством точек n) и желаемыми значениями параметров p_3 , p_4 можно определить эмпирически, но, вообще говоря, их выбор может быть задачей будущего искусственного интеллекта системы получения гидрометеорологических данных. В реальных примерах применения метода приняты значения: $q_3 = 0,5$ и $q_4 = 0,25$.

Примеры применения изложенного метода контроля

1. Рассмотрим данные архива среднемесячных значений температуры воздуха на 166 станциях Ежемесячника ч. 1 за период наблюдений с 1896 по 2006 год. Оценка статистической однородности архива по классическому критерию [3, с. 262]: $\eta = \max |u - \bar{u}|/s^*$ показывает, что в 38 случаях среднемесячные значения не удовлетворяют этому критерию и эти случаи необходимо верифицировать визуальным (ручным) анализом.

Если использовать предлагаемый алгоритм контроля по критериям (1) – (10), то лишь одно значение является статистически неоднородным. В табл. 1 для этого случая приведены значения среднемесячной температуры и невязки пространственного уравнения регрессии (6). Автоматически восстановленное («правильное») значение T_r по формуле (6) выделено жирным шрифтом. Очевидно, что ошибочное значение 28,40 может быть следствием двух причин:

- 1) очень грубой ошибки в первичных данных,
- 2) результатом систематической ошибки.

В ГГО резкие отклонения среднемесячных значений от значений на ближайших станциях принято считать результатом систематических ошибок [4].

Таблица 1

Поле среднемесячных значений температуры воздуха, август 1966 года

NN	Долгота	Широта	T	T_r	$E = T - T_r$
1	33,90	46,50	28,40	24,09	4,31
2	35,40	45,00	22,80	23,37	-0,57
3	34,00	45,00	24,10	24,67	-0,57
4	34,20	44,50	21,90	22,54	-0,64
5	35,00	48,60	24,60	24,96	-0,36
6	32,00	47,00	22,80	22,44	0,36
7	34,60	49,60	23,70	23,57	0,13
8	38,20	46,00	21,80	20,99	0,81
9	36,10	49,90	24,80	24,73	0,07
10	30,60	46,50	22,10	20,82	1,28
11	39,10	45,00	22,40	23,02	-0,62
12	39,10	44,10	23,50	24,16	-0,66
13	30,20	48,80	24,40	24,85	-0,45
14	37,40	51,20	19,40	20,07	-0,67
15	36,30	51,70	20,00	19,58	0,42
16	28,90	45,40	19,40	19,33	0,07
17	28,90	47,00	22,20	23,07	-0,87
18	30,50	50,40	21,50	22,16	-0,66
19	28,70	46,30	19,50	20,15	-0,65
20	41,10	45,00	21,80	22,54	-0,74

Примечание. T – наблюденные значения; T_r – расчётные по уравнению регрессии (6).

2. Изложенный метод можно использовать и для контроля других данных, например для контроля средних за сутки значений высоты уровня воды. Для примера рассмотрим ежедневные уровни воды на 21 посту в бассейне р. Амур за период 2000 – 2013 гг. Список постов приведён в табл. 2.

Для контроля рассматриваются отклонения ежедневных данных от *среднепентадных* значений независимо за каждый месяц. В качестве среднепентадных значений использовались робастные оценки (медианные значения за пятидневку).

Таблица 2

Характеристики постов для контроля высоты уровней воды

NN	Номер поста	H_0 , м	L , км	Река	Название поста
1	6265	419,60	1068	Зея	Купури
2	6275	217,47	649	Зея	З. Слобода

Окончание табл. 2

NN	Номер поста	H_0 , м	L , км	Река	Название поста
3	6280	182,62	501	Зея	Поляковский
4	6283	169,70	416	Зея	Кухтерин луг
5	6285	163,65	310	Зея	Граматыха
6	6286	152,98	271	Зея	Мазаново
7	6287	140,26	188	Зея	Суражевка
8	6291	134,44	149	Зея	М. Сазанка
9	6295	123,97	43	Зея	Белогорье
10	6296	119,74	3	Зея	Благовещенск
11	6544	205,00	621	Зея	Овсянка
12	6421	155,99	57	Томь	Белогорск
13	6424	134,30	10	Томь	Светилровка
14	6005	250,94	2618	Амур	Джалинда
15	6010	199,53	2388	Амур	Черняево
16	6016	160,53	2168	Амур	Кумара
17	6020	133,18	2015	Амур	Сергеевка
18	6022	119,88	1941	Амур	Благовещенск
19	6023	114,63	1921	Амур	Гродеково
20	6024	107,64	1831	Амур	Константиновка
21	6027	87,52	1641	Амур	Иннокентьевка

Примечание. H_0 – высота поста над уровнем моря; L – расстояние от устья реки.

Статистическая однородность отклонений e_i от линейной зависимости (5) проверялась по критериям (1) – (4). Всего было выявлено 131 случай, когда эти критерии не выполнялись. Для каждого случая по критериям (5) – (8) выполнялась проверка статистической однородности невязок $e(x_v, y_v)$, полученных по всем постам ($N = 21$). В результате пространственная неоднородность невязок подтвердилась лишь в одном случае (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты пространственного контроля уровней воды
за 17 сентября 2009 года**

Пост	X	Y	Y_p	$E = Y - Y_p$
1	292,5	589,0	322,8	266,2
2	336,0	336,0	363,3	-27,3
3	447,5	470,0	466,9	3,1
4	410,0	392,0	432,0	-40,0
5	158,0	156,0	197,8	-41,8
6	165,0	165,0	204,3	-39,3

Окончание табл. 3

Пост	X	Y	Y_p	$E = Y - Y_p$
7	444,5	447,0	464,1	-17,1
8	329,0	323,0	356,8	-33,8
9	193,0	182,0	230,3	-48,3
10	578,5	567,0	588,7	-21,7

Примечание. X, Y – средние многолетние и фактические значения за данный день.

Выводы

В основе метода выявления систематических ошибок лежит сравнение отклонений от линейного уравнения регрессии с размахом колебаний независимой переменной регрессии. Используется два уравнения. В одном уравнении независимой переменной является неслучайная эмпирическая функция оценки математических ожиданий совокупности порядковых статистик отклонений контролируемой переменной, а зависимой переменной – их текущая реализация. В другом уравнении независимой переменной является среднее многолетнее поле в окрестности точки, а в зависимой – фактическое поле контролируемой переменной.

Показано, что предлагаемый метод является эффективным для контроля архива среднемесячных значений температуры воздуха и ежедневных значений уровней воды на 21 посту в бассейне реки Амур за 2000 – 2013 годы.

Изложенный метод, безусловно, можно применять и для аэрологических данных, поскольку колебания параметров атмосферы на высотах имеют более гладкий характер, по сравнению с колебаниями полей у поверхности земли.

В изложенном методе не используются критерии математической статистики, т. е. *соотношения* обобщённых характеристик распределения случайной величины (минимальные и максимальные значения, средние, медиана, дисперсия, квантиль и др.), поскольку они приводят к большому количеству ложных ошибок.

Заключение

Представленный в статье метод апробирован на фактических данных, которые с метеорологических станций регулярно поступают во ВНИИГМИ-МЦД. Там они обрабатываются и включаются

в фонд данных для долговременного хранения и дальнейшего использования при обеспечении различных пользователей.

Изложенный алгоритм автоматического контроля реализован в исследовательской программе авторов. Прикладная значимость разработки методов автоматического контроля не вызывает сомнения. Это обусловлено необходимостью оперативного усвоения растущих объёмов данных о природной среде, высокое качество которых (отсутствие единичных и систематических ошибок) трудно обеспечить автоматизированными методами контроля (с применением значительной доли ручного труда).

Ценность предлагаемого метода обусловлена применимостью его для контроля метеорологических, гидрологических, океанографических, аэрологических и других данных о состоянии природной среды.

Метод можно реализовать в виде самостоятельного модуля и включить в существующую систему первичной обработки для накопления и обслуживания в последующем пользователей информацией Госфонда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О. А., Черных И. В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных. Обнинск, 2013. 306 с.
2. Беспалов Д. П., Светлова Т. П. Научно-методические основы построения системы контроля режимной метеорологической информации // Труды ГГО. 1980. Вып. 435. С. 3 – 9.
3. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.
4. Рекомендации по анализу результатов пространственного контроля режимной метеорологической информации. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 176 с.
5. Назарова И. В. Автоматический контроль ежедневных данных основных метеорологических наблюдений // Автоматическая проверка и исправление данных метеорологических наблюдений. Экспресс-информация. Обнинск, 1971. Вып. 6(11). С. 30 – 40.
6. Монин А. С. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969. 184 с.

7. Пуголовкин В. В., Степаненко С. Р., Шаймарданов М. З. О выявлении систематических ошибок в метеорологических архивных данных // Метеорология и гидрология. 1996. № 1. С. 58 – 67.

8. Селиванов М. Н., Фридман А. Э., Кудряшова Ж. Ф. Качество измерений. Метрологическая справочная книга. Л.: Лениздат, 1987. 292 с.

9. Степаненко С. Р., Шаймарданов М. З. О статистическом контроле метеорологической информации // Otazkybudovaniaautomatizchychsystemo vzberu, kontroly, spravovania a bancydathydrometeorologickychuddajov, 1979, Bratislavamalyjavornik. С. 42 – 48.

10. Степаненко С. Р., Шаймарданов М. З. Об эффективности статистического метода контроля метеорологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 111. С. 59 – 63.

11. Степаненко С. Р., Воронцов А. А. Новый подход решения проблемы качества данных по морской природной среде // Наука и современность. 2012. Часть 1. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2012. С. 29 – 35.

12. Шаймарданов В. М. О контроле качества информации, поступающей в фонд данных // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. 2011. Вып. 564. С. 166 – 177.

13. Шаймарданов М. З., Степаненко С. Р., Дьяченко Б. И., Апарин Б. В. О контроле качества приземной метеорологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1980. Вып. 67. С. 30 – 45.

14. Шаймарданов М. З., Пуголовкин В. В. Автоматизированные системы и технологии сбора, обработки и накопления данных гидрометеорологических наблюдений. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2002. 226 с.

15. Шерстюков Б. Г. Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океан. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2019. С. 5 – 9.

16. Химмельблауд Д. Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир, 1973. 957 с.

17. Collins W. G. The Operational Complex Quality Control of Radiosonde Heights and Temperatures at the National Centers for Enviromental Prediction Part II: Examples of Error Diagnosis and Correction from Operational Use // J. Appl. Meteorol. 2001. Vol. 40, N 2. P. 152 – 168.

18. Durre I., Vose R. S., Wuertz D. B. Robust automated quality assurance of radiosonde temperatures // J. Appl. Meteorol. Climatol. 2008. Vol. 47, N 8. P. 2081 – 2095.

19. Thorne P. W., Vose R. S. Reanalysis suitable for longterm trends: are they really achievable? // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2010. Vol. 91, N 3. P. 353 – 361.

УДК 551.501:004

ОБРАБОТКА СИСТЕМОЙ ОМЕГА ДАННЫХ, ПОСТУПАЮЩИХ ПО КАНАЛАМ СВЯЗИ В КОДЕ BUFR

Л. Н. Сенова

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

Введение

Информация со всего земного шара поступает в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в центр коммутации сообщений (ЦКС) по каналам глобальной системы телесвязи (ГСТ) как в традиционных буквенно-цифровых кодовых формах, так и в двоичных кодовых формах. В настоящее время всё более очевиден переход на таблично-ориентированные кодовые формы (ТОКФ), что потребовало создания новых программных средств для приёма, обработки и усвоения такой информации.

Переход на ТОКФ был официально запущен комиссией по Основным системам (КОС) в 2002 году. В ходе последующих совещаний КОС был представлен и уточнён многолетний график перехода, получивший название «матрицы перехода», которая представлена в документе «Отчёт о положении дел в области перехода на таблично-ориентированные кодовые формы. Межпрограммная экспертная группа по обеспечению и мониторингу представления данных (МПЭГ-ОМПД) от 25 сентября 2015 г.» [7].

Предполагалось, что в период перехода по Глобальной сети телесвязи будут передаваться данные как в ТОКФ, так и в традиционных буквенно-цифровых кодах (ТБК), а к 2015 году параллельное распространение ТБК и ТОКФ для категории данных TEMP/PILOT, SYNOP и CLIMAT будет прекращено. Но из-за значительной разницы в состоянии завершения перехода на ТОКФ между странами – членами ВМО – в настоящее время в ГСТ циркулируют сводки как в ТБК, так и ТОКФ. И эта ситуация

будет ещё продолжаться неопределённое время. Необходим строгий анализ, чтобы завершить передачу ТБК по сети ГСТ, ведь данные ТОКФ только лучшего или аналогичного качества должны заменить соответствующие бюллетени ТБК. Тем не менее ВМО больше не поддерживает традиционные буквенно-цифровые коды Всемирной службы погоды. В настоящее время все страны – члены ВМО – планомерно заменяют на BUFR ранее используемые традиционные коды, ограничивающие прогресс в обмене и распространении метеорологических данных.

Особый интерес во всём мире к использованию BUFR для передачи данных радиозондирования проявляют потребители аэрологической информации, поскольку они заинтересованы в использовании максимально полного объёма данных, получаемых с использованием современных автоматизированных систем радиозондирования.

В отличие от традиционного кода КН-04 ТЕМП (FM 35), изначально ориентированного на передачу данных радиозондирования при ручной обработке, BUFR позволяет передавать данные с результатами обработки на всех имеющихся уровнях (с высоким вертикальным разрешением) с привязкой к полётному времени и географическим координатам радиозонда, что позволяет существенно увеличить точность представления пространственного и временного распределения метеорологических величин в атмосфере. При использовании BUFR сохраняется возможность передавать данные на уровнях особых точек и стандартных изобарических поверхностей.

На сети Росгидромета данные радиозондирования в коде BUFR с 2011 г. уже передают АЭ Долгопрудный, Мурманск и Нижний Новгород в тестовом режиме. За это время отечественным разработчикам технологий использования аэрологических данных в коде BUFR пришлось немало потрудиться, чтобы освоить проводившиеся изменения и подготовиться к массовому внедрению.

С 1.11.2017 г. согласно Приказу Росгидромета № 174 от 20.04.2017 г. начата оперативная передача аэрологических данных в коде BUFR с аэрологической сети Росгидромета, регламентируемая «Порядком передачи результатов радиозондирования с

аэрологической сети Росгидромета в коде FM 94 BUFR», введённым в действие вышеуказанным Приказом Росгидромета.

Преимущества передачи данных в ТОКФ налицо: это и масштабируемость данных, и более высокая точность значений, и высокое разрешение данных радиозондирования, и возможность передачи метаданных в каждом сообщении, и прекращение обработки сложных правил кодирования (которые были необходимы в ТБК для минимизации длины сообщения), и возможность отказаться от передачи аэрологических данных частями А, В, С, D.

Общие сведения о BUFR

Кодовая форма (или код) FM 94 BUFR (Binary Universal Form for Representation meteorological data – двоичная универсальная форма для представления метеорологических данных) является одним из видов ТОКФ, предложенных Всемирной метеорологической организацией (ВМО) как универсальный гибкий расширяемый формат для обмена данными всех видов гидрометеорологических наблюдений

Код BUFR представляет компактный способ передачи данных за счёт двоичного представления данных и является машинно-ориентированным, поскольку и кодирование, и декодирование возможны только с использованием компьютера при наличии соответствующего программного обеспечения. ВМО рекомендует использовать BUFR во всех существующих и вновь разрабатываемых автоматизированных системах наблюдений.

Сообщение в коде BUFR состоит из непрерывной последовательности битов, образованной из последовательности октетов (1 октет = 8 битам). Термины «сообщение BUFR» и «раздел» описывают логические объекты для оказания помощи при определении BUFR. Сообщение BUFR состоит из одного или более поднаборов соответствующих метеорологических данных, определяемых, описываемых и представляемых с помощью единственного объекта BUFR. Для данных наблюдений каждый поднабор данных обычно соответствует одному наблюдению. Октеды сообщения BUFR группируются в разделы.

Двоичная универсальная форма для представления метеорологических данных (BUFR) состоит из шести разделов:

0 – раздел указателя («BUFR», длина сообщения, номер редакции BUFR),

1 – раздел идентификации (длина раздела, идентификация сообщения),

2 – необязательный раздел (длина раздела и дополнительные элементы для локального использования центрами автоматической обработки данных),

3 – раздел описания данных (длина раздела, количество поднаборов данных BUFR, флаг категории данных, флаг сжатия данных и набор дескрипторов, которые определяют форму и содержание отдельных элементов),

4 – раздел данных (длина раздела и двоичные данные),

5 – раздел конечный (7777).

BUFR называют ещё таблично-ориентированной кодовой формой (ТОКФ) из-за совокупности таблиц, которые позволяют закодировать (а в дальнейшем и декодировать) информацию в двоичном виде. Это:

- таблица А – категории данных;
- таблица В – таблица дескрипторов элементов;
- таблица С – таблица дескрипторов операторов описания данных;
- таблица D – таблица общепринятых последовательностей;
- таблицы кодов и флагов, используемых для кодирования значений элементов.

Каждой совокупности таблиц присвоен свой номер версии. Каждая версия регистрируется ВМО и размещается на сайте [6].

Номер версии таблиц, используемых для декодирования двоичной информации, указан в разделе идентификации сообщения.

Каждый элемент данных имеет свой идентификатор, называемый дескриптором элемента. Семейство дескрипторов элементов делится на классы (идентификация, приборное оснащение, местоположение, значимость, температура, ветер, радиация и др.). Дескриптор элемента занимает 2 октета и содержит 3 части:

- часть F (2 бита) всегда равна 0,

- часть X (6 битов) определяет класс таблицы В,
- часть Y (8 битов) определяет элемент в рамках класса.

Дескриптор элемента должен определять единственный элемент посредством ссылки на таблицу В. Каждая строка в таблице В содержит непосредственно дескриптор элемента, название элемента, единицы измерения, масштаб, начало отсчёта, длину данных в битах.

Очередная версия таблиц скачивается с сайта ВМО, преобразуется к формату, удобному для использования программным обеспечением декодирования, представляет собой отдельный текстовый файл, каждая строка которого соответствует строке таблицы В.

Ниже представлены примеры строк в текстовом файле.

```

...
001024  Wind speed source          CODE TABLE    0      0      5
...
007009  Geopotential height          gpm           0    -1000   17
...
008001  Vertical sounding significance FLAG TABLE    0      0      7
...
011011  Wind direction at 10 m        degree true    0      0      9
...
012001  Temperature/air temperature   K              1      0     12
...

```

В этом файле, отражающем содержимое таблицы В:

- первый столбец – это дескриптор элемента (часть F – первый символ слева, часть X – следующие два символа, часть Y – следующие три символа),
- второй столбец – название элемента,
- третий столбец – единицы измерения,
- четвёртый столбец – масштаб,
- пятый столбец – начало отсчёта,
- шестой столбец – длина данных в битах.

Некоторые элементы определяются посредством кодовых таблиц или таблиц флагов, которые в рамках BUFR пронумерованы согласно значениям X и Y соответствующего дескриптора элемента. Столбец «Единицы измерения» данного элемента содержит значение «CODE TABLE» или «FLAG TABLE» соответственно. То есть, например, элемент «Wind speed source» имеет

идентификатор (дескриптор элемента) «001024», а его значение закодировано в соответствии с кодовой таблицей 1024.

Кроме дескрипторов элементов, при кодировании информации используются ещё дескрипторы операторов и дескрипторы повторов.

Несколько дескрипторов элементов, операторов и повторов могут быть объединены в последовательность. Дескриптор последовательности также занимает 2 октета и содержит 3 части:

- часть F (2 бита) всегда равна 3,
- часть X (6 битов) определяет категорию таблицы D (последовательности местоположения и идентификации, последовательности приземных сводок на суше, последовательности вертикального зондирования и др.),
- часть Y (8 битов) содержит списки объединяемых вместе дескрипторов.

Дескриптор последовательности может содержать также дескрипторы более мелких последовательностей и должен быть эквивалентным соответствующему списку дескрипторов в таблице D.

Примеры последовательностей в тестовом файле, соответствующем таблице D:

```

...
301001  2      001001
               001002

...
301111  6      301001
               001011
               002011
               002013
               002014
               002003

...
309052  11     301111
               301113
               301114
               302049
               022043
               101000
               031002
               303054
               101000
               031001
               303051

...

```

При декодировании последовательно раскрываются все дескрипторы последовательностей и получается набор из дескрипторов элементов и операторов. Этот набор и называется «описанием данных».

За «описанием данных» следует раздел 4 – непосредственно двоичные данные, декодирование которых производится в соответствии с параметрами, представленными в разделе идентификации данных, и описанием данных.

Следует отметить, что представление в коде BUFR не годится для визуального опознавания данных без преобразования с помощью компьютера. Несмотря на то, что внутренняя организация и формат представления данных в коде BUFR сравнительно сложны и требуют значительных усилий для освоения, программное обеспечение обработки BUFR-сообщений, передаваемых по каналам связи, спроектировано таким образом, чтобы полностью оградить пользователя данной информации от необходимости их изучения.

Обработка BUFR-информации системой ОМЕГА

Разработанная в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» технология приёма и обработки оперативных данных, поступающих с каналов связи (система ОМЕГА) [1], в настоящее время включает в себя и программное обеспечение обработки приземных данных (SYNOP, CLIMAT), а также данных вертикального зондирования (PILOT, PILOT SHIP, TEMP, TEMP SHIP), поступивших в коде BUFR.

Основные функции системы ОМЕГА:

- приём по каналам связи оперативной гидрометеорологической и океанографической информации;
- синтаксический разбор кодовых форм и декодирование гидрометеорологических элементов;
- формирование БД на основе системы управления баз данных (СУБД) реляционного типа PostgreSQL.

Аналогично технологии обработки данных, поступающих по каналам связи в символьных кодах, информация в кодах BUFR проходит те же этапы обработки (в соответствии с выполняемыми функциями):

- приём с канала связи;

- предварительный разбор сообщения согласно заголовку сообщения;

- первичная обработка с записью в реляционную базу данных.

Вся работа выполняется в реальном масштабе времени. При этом формируется протокол работы, отражающий количество обработанной информации.

Программа приёма создаёт порт для приёма сообщений и организует соединение с сервером сообщений, производит необходимые действия в соответствии с протоколом передачи, формирует сообщения, содержащие метеорологический бюллетень, записывает сообщения в страховочный файл, создаёт дочерний процесс и передаёт ему сформированные сообщения.

Программа предварительной обработки является фильтром для быстрого съёма информации с выхода программы приёма информации, анализирует текущую дату и в соответствии с расписанием, заданным в управляющем файле, открывает и закрывает необходимые файлы, опознаёт вид данных, передаваемых в сообщении, выполняет контроль заголовка сообщения, игнорирует не подлежащие дальнейшей обработке сообщения согласно фильтру, заданному в управляющем файле, формирует сообщение для дальнейшей обработки, записывает его в страховочный файл и передаёт на первичную обработку.

Программа первичной обработки информации осуществляет выделение телеграмм из сообщений, синтаксический разбор телеграмм, декодирование значений метеорологических элементов в соответствии с форматом передаваемого сообщения, контроль значений метеорологических элементов, запись значений метеорологических элементов в реляционную БД системы CliWare [2, 3]. Для доступа к БД используется ODBC (Open Database Connectivity) с применением структурированного языка запросов SQL.

Программа управляющей интерактивной оболочки является инструментом управления процессом приёма и обработки информации, а также контроля его выполнения, имеет развитый интерфейс, состоящий из меню и окон, позволяющий запускать и останавливать процесс приёма и обработки, наблюдать за ходом выполнения процесса приёма и обработки, используя индикаторы

на панели программного окна, контролировать количество принятой, обработанной и записанной в базу данных информации по видам, редактировать управляющие файлы системы ОМЕГА.

Взаимодействие между процессами организовано через разделяемую память, общую для всех программ системы ОМЕГА.

Кроме основных исполняемых файлов, осуществляющих приём и обработку информации, поступающей по каналу связи в реальном масштабе времени, программный комплекс ОМЕГА располагает дополнительным программным обеспечением, позволяющим обрабатывать информацию из страховочных файлов в пакетном режиме.

Декодирование BUFR-информации осуществляется в соответствии с параметрами идентификации и описания, представленными в разделах 1 и 3, и с использованием соответствующей версии таблиц описания данных. Все значения декодированных элементов размещаются во внутренних массивах для последующей записи в базу данных системы CliWare.

Конечным результатом обработки данных, поступивших по каналам связи в коде BUFR, по аналогии с символьными форматами, являются таблицы реляционной базы данных. Структура таблиц отражает перечень метеорологических параметров согласно виду информации. Вид информации передаётся в разделе идентификации сообщения в октетах 9 (категория данных) и 10 (подкатегория данных) для номера издания BUFR = 3 и октетах 11 и 12 соответственно для номера издания = 4.

Поскольку каждый вид информации имеет свой специфический состав метеорологических параметров, то и программное обеспечение усвоения данных не может быть универсальным и разработано с учётом обработки данных следующих категорий/подкатегорий:

000/000 – ежечасные синоптические наблюдения с фиксированных наземных станций (SYNOP);

000/001 – промежуточные синоптические наблюдения с фиксированных наземных станций (SYNOP);

000/002 – основные синоптические наблюдения с фиксированных наземных станций (SYNOP);

- 000/020 – климатологические наблюдения (CLIMAT);
- 000/006 – одночасовые синоптические наблюдения с автоматических станций;
- 002/001 – сводки данных о ветре на высотах с фиксированных наземных станций (PILOT);
- 002/002 – сводки данных о ветре на высотах с борта судна (PILOT SHIP);
- 002/004 – сводки данных о температуре/влажности/ветре на высотах с фиксированных наземных станций (TEMP);
- 002/005 – сводки данных о температуре/влажности/ветре на высотах с борта судна (TEMP SHIP).

Данные этих категорий/подкатегорий поступают по каналам связи с соответствующими заголовками, где в группе ТТААii вид метеорологической информации (ТТ) представлен символами:

IS – данные приземные/уровня моря, поступающие в коде BUFR,

IU – аэрологические данные, поступающие в коде BUFR.

Обработка данных сокращённых заголовков задаётся в файле настройки системы ОМЕГА на этапе предварительного разбора сообщения.

В соответствии с видами информации были разработаны перечень и структура таблиц реляционной базы данных:

SYNOP_BUFR – таблица для хранения синоптической информации SYNOP;

CLIMAT_BUFR – таблица для хранения климатологической информации CLIMAT;

AIR_STATION_BUFR – таблица для хранения идентификационной и метеорологической части сообщения с информацией вертикального зондирования (не со спутника);

AIR_LEVEL_BUFR – таблица для хранения данных на уровнях вертикального зондирования (не со спутника).

При кодировании (равно как и при декодировании) BUFR-информации с целью универсальности в рамках ВМО рекомендованы для разных видов информации следующие шаблоны первого уровня (или дескрипторы последовательностей первого уровня):

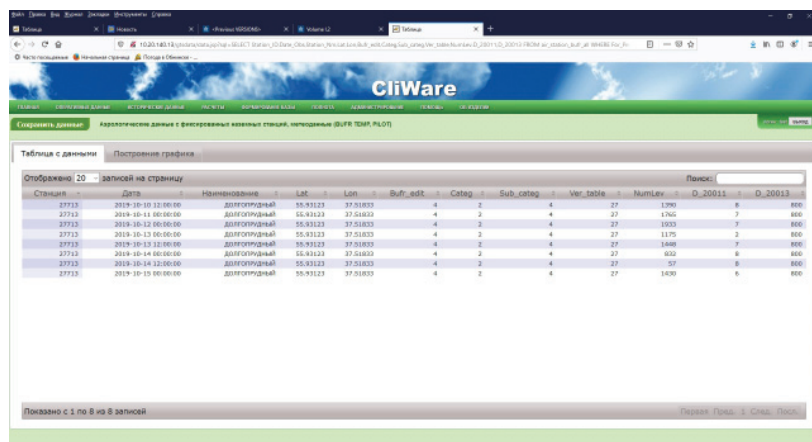
3 07 080, 3 07 086, 3 07 096 – для синоптической информации;

3 07 071, 3 07 073 – для климатологической информации;
3 09 050, 3 09 051, 3 09 052 – для информации вертикального зондирования.

Эти шаблоны и явились определяющим фактором для разработки структуры таблиц базы данных.

При разработке структуры таблицы базы данных для удобства было принято в названии колонки отражать код дескриптора элемента с предшествующим ему символом «D_» (D_12101, D_12102,...). Чтобы вписаться в общую структуру базы данных системы CliWare, каждый метеорологический параметр имеет свой признак контроля качества (колонка с признаком контроля качества элемента имеет то же название, что и сам параметр, но с добавленным в начале символом «Q» (QD_12101, QD_12102,...). Значение признака контроля качества элемента, равное 0, говорит о том, что элемент не контролировался, 1 – элемент контролировался и хороший, 2 – значение сомнительно, 3 – значение забраковано, 4 – восстановлено.

Записанная в базу данных информация может быть доступна как в интерактивном режиме через приложение СУБД, так и средствами доступа системы CliWare 2.1 через интерфейс системы (рис. 1).



The screenshot shows the CliWare 2.1 web interface. The main content area displays a table titled "Таблица с данными" (Data table) with the following columns: Станция (Station), Дата (Date), Наименование (Name), LAT, Lon, BuP_edit, Categ, Sub_catg, var_table, Numlev, and D_20011, D_20013. The table contains several rows of data for station 27713, showing dates from 2019-10-10 to 2019-10-15 and various meteorological parameters with their corresponding quality control values.

Станция	Дата	Наименование	LAT	Lon	BuP_edit	Categ	Sub_catg	var_table	Numlev	D_20011	D_20013
27713	2019-10-10 12:00:00	дополнительный	55.9123	37.51833	4	2	4	27	1390	6	800
27713	2019-10-11 00:00:00	дополнительный	55.9123	37.51833	4	2	4	27	1765	7	800
27713	2019-10-12 00:00:00	дополнительный	55.9123	37.51833	4	2	4	27	1933	7	800
27713	2019-10-13 00:00:00	дополнительный	55.9123	37.51833	4	2	4	27	1175	2	800
27713	2019-10-13 12:00:00	дополнительный	55.9123	37.51833	4	2	4	27	1648	7	800
27713	2019-10-14 00:00:00	дополнительный	55.9123	37.51833	4	2	4	27	632	6	800
27713	2019-10-14 12:00:00	дополнительный	55.9123	37.51833	4	2	4	27	57	8	800
27713	2019-10-15 00:00:00	дополнительный	55.9123	37.51833	4	2	4	27	1430	6	800

Рис. 1. Выбранные средствами системы CliWare 2.1 метеоданные с аэрологической станции Долгопрудный (индекс станции – 27713)

Статистика поступления в базу данных BUFR-информации представлена на рис. 2. Она отражается средствами Web-приложения мониторинга оперативной информации, поступающей по каналам связи (включая информацию в коде BUFR), которое размещено по адресу <http://10.20.140.13/realtimeon/index.jsp>) [8]. Синим цветом выделены строки, относящиеся к BUFR-информации, красным цветом – отсутствие поступления информации (на рисунке красным цветом выделена строка с климатической информацией, которая поступает, как правило, в первой половине месяца).

Тип	Кол-во в час	Кол-во в сутки	Назначение	Описание
11	4	7134	bufr	Атмосферические данные температурного вторичного кодирования
12	4	3005	bufr	Атмосферические данные вторичного кодирования
20	71	1099	bufr	Средственные и экстремальные значения метеорологических параметров
23	3	109	bufr	Прогноз погоды по умолчанию
23	24	1142	bufr	Специальный буферный кодированный кодированный
30	1	1	bufr	Временные наблюдения с фиксированными станциями (BUFR-код 10101)
31	1120	10309	bufr	Прямые наблюдения с фиксированными станциями (BUFR-код 10101)
32	3	240	bufr	Информация о состоянии окружающей среды (BUFR-код 10101)
34	243	14476	bufr	Прямые наблюдения с морских станций
35	3	34	bufr	Средственные метеорологические наблюдения на морских станциях и постах
71	3	1	bufr	Данные метеорологических наблюдений
72	249	1010	bufr	Данные с морских станций с температурой, влажностью и давлением
74	253	35349	bufr	Наблюдения с буи
75	1	173	bufr	Наблюдения за количеством осадков по направлению движения осадков
81	11	1227	bufr	Средственные наблюдения на реках, озерах и водохранилищах
86	36	1805	bufr	Атмосферические данные (температура, влажность, давление) (BUFR-код 10101)
96	4	3005	bufr	Атмосферические данные (температура, влажность, давление) (BUFR-код 10101)
97	1005	14476	bufr	Прямые наблюдения с морских станций (BUFR-код 10101)

Итого наблюдений: за час 7134 за сутки 28981

Рис. 2. Статистика поступления в базу данных оперативной информации

Поскольку при создании BUFR-сообщения отсутствует человеческий фактор, то и единичные ошибки в данных, присущие буквенно-цифровым сообщениям, практически отсутствуют. Но зато часто встречаются системные неточности как результат ошибок в программном обеспечении кодирования. Такие ошибки определяются путём постоянного анализа протоколов обработки информации, разбором сбойных ситуаций. Например, проблема с «плавающей» датой наблюдения внутри данных была решена использованием даты из идентификационной части сообщения. Например, проблема с таким параметром, как последовательный номер обновления, представленным трёхзначным числом

(и это для одной станции 28225 Пермь), была решена путём модификации этого поля в таблице базы данных. Сообщения с отсутствием значения подкатегории, приводящим к невозможности однозначного выбора алгоритма для декодирования данных, исключаются из дальнейшей обработки. «Пустые» сообщения аэрологического зондирования, то есть сообщения, не имеющие метеорологической части и данных на уровнях, принято было не писать в базу данных (это было совместное со специалистами из отдела аэрологии решение). Обнаруженные ошибки в кодировании, как правило, сообщаются куратору по линии ВМО по обработке BUFR-информации, который и решает эти вопросы в рамках ВМО. Много таких проблем было разрешено Александром Петровичем Кацем (главный аэролог ЦАО), который являлся куратором по внедрению международного кода BUFR в системах передачи данных метеорологических наблюдений Росгидромета и ВМО.

Заключение

Созданное в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» программное обеспечение для декодирования и обработки оперативной информации, поступающей по каналам связи в коде BUFR, включено в общую технологию приёма и обработки оперативной информации (система ОМЕГА) и активно используется в рамках системы CliWare 2.1.

Пользователи, которые интересуются дополнительной информацией о ТОКФ, могут найти её в Руководстве ВМО по ТОКФ, русская версия которого размещена на сайте ВМО по адресу [4, 5]. Однако эта информация не является необходимой для успешного освоения и использования BUFR-информации в системе CliWare 2.1. Установка системы CliWare 2.1 в областных центрах по гидрометеорологии, управлениях по гидрометеорологии, научно-исследовательских организациях подразумевает и установку системы ОМЕГА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспрозванных А. В., Потапова Е. П., Сенова Л. Н., Ульянич Н. Л., Шерстюкова Р. А. Приём, обработка и использование метеорологической информации, поступающей с каналов связи //Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 28 – 40.
2. Беспрозванных А. В., Потапова Е. П., Сенова Л. Н., Ульянич Н. Л., Шерстюкова Р. А. Формирование в системе CliWare картографической продукции в международных стандартах //Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 240 – 247.
3. Беспрозванных А. В., Сенова Л. Н., Ульянич Н. Л., Шерстюкова Р. А. Система управления гидрометеорологической информацией и получения климатической продукции CliWare 2.1 – область применения //Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 164 – 181.
4. Наставление по кодам. Международные коды. Том 1.2. Часть В – Двоичные коды. Часть С – Общие элементы двоичных и буквенно-цифровых кодов //Всемирная метеорологическая организация. ВМО-№ 306. Издание 2015 года. Обновлено в 2018 году.(https://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/WMO306_v12/Volumel.2.html).
5. [Http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/Guides/BUFRCREXPreface_ru.html](http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/Guides/BUFRCREXPreface_ru.html).
6. [Https://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/WMO306_v12/PrevVERSIONS/PreviousVERSIONS.html](https://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/WMO306_v12/PrevVERSIONS/PreviousVERSIONS.html).
7. [Http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/MigrationTDCF/PR6868/2015-09-25-PR-6868-OBS-WIS-DRMM-MIGRATION_ru.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/MigrationTDCF/PR6868/2015-09-25-PR-6868-OBS-WIS-DRMM-MIGRATION_ru.pdf).
8. [Http://10.20.140.13/cliware/index.jsp](http://10.20.140.13/cliware/index.jsp).

УДК 004.6:551.5:004.9

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ МАССИВОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А. Е. Колесников¹, П. С. Лобачев², А. В. Колесникова³

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

³ akolesnikova@meteo.ru

Введение

Средства контроля целостности применяются для контроля модификации и искажения информационных ресурсов, файлов и каталогов на протяжении всего их жизненного цикла. Целостность данных является ключевым вопросом при проектировании, реализации и использовании любой информационной системы, которая хранит, обрабатывает и извлекает данные. Обеспечение целостности данных заключается в сохранении информации в неизменном виде при обращении, то есть защита от несанкционированных действий, а также в осуществлении изменений информации только запланированным образом.

Выборка и представление потребителям данных наблюдений и измерений из электронных архивов ЕГФД (Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении) [1] осуществляется инструментами комплекса программных средств АИСОРИ [2] с использованием языка запросов в архивы ЯОД (Язык описания гидрометеорологических данных) [2] файлов. В настоящее время АИСОРИ может предоставлять пользователям выборки данных в виде файлов, содержащих плоские таблицы с разделителями пробел или точка с запятой (текстовый формат CSV).

В свою очередь обработка данных производится по формальным синтаксическим признакам и представляет собой выявление структурных дефектов файлов, оценку качества данных, а также преобразование структуры хранимых архивов в вид, удобный для обслуживания потребителей. Содержательная (семантическая)

проверка производится только для выявления заведомо недопустимых значений параметров (например выхода значений за допустимые границы) [3].

Поэтому любые несанкционированные изменения данных, возникающие в результате операций хранения, извлечения или обработки, включая воздействие вредоносных программ, неожиданный отказ оборудования или человеческий фактор, приводят к ошибкам целостности данных. В информационных системах целостность данных, не передающихся за пределы системы, обеспечивается за счёт комплекса административно-технических мероприятий, в том числе повышения отказоустойчивости и организации возможности восстановления данных, например из резервных копий.

Обеспечение целостности данных является одной из задач информационной безопасности, которую решают в том числе средства защиты информации от несанкционированного доступа (НСД). Средства защиты информации от НСД позволяют отслеживать неизменность данных в автоматическом режиме по заранее настроенному расписанию. При этом, помимо неизменности самих файлов, данные средства защиты могут проверять неизменность прав доступа к объектам и их атрибутов. В случае выявления ошибок при прохождении процедуры контроля целостности, средства защиты имеют возможность сигнализировать о несанкционированном доступе администраторам информационной безопасности, запрещать доступ в систему, сохранять изменения в файлах или возвращать подконтрольные ресурсы в исходное состояние.

Описание предметной области

Одним из уровней системы обслуживания потребителей гидрометеорологической информацией является система режимно-справочных банков данных (РСБД).

Основным источником информации в РСБД являются файлы данных в ЯОД-формате, которые помещаются в каталожную структуру, используемую для ведения РСБД. Таким образом, структура РСБД представляет собой дерево каталогов со своими ветвями, представленных в виде подкаталогов. За годы работы

ВНИИГМИ-МЦД было накоплено большое количество файлов данных. Так, например, структура РСБД по приземной метеорологии состоит из 85 каталогов и подкаталогов, а суммарное количество файлов данных превышает 64 тыс. шт., которые в совокупности занимают около 250 Гб дискового пространства.

Поддержка такого количества файлов данных в актуальном состоянии является трудоёмким и неоперативным процессом. Данный процесс значительно усложняется, когда речь идёт о различных видах гидрометеорологической информации (метеорология, аэрология, гидрология – реки и каналы, океанография, синоптическая метеорология).

Вследствие этого было принято решение о создании автоматизированной системы контроля целостности файлов данных РСБД, которая позволила бы оперативно решать следующие задачи:

- однозначное определение целостности подконтрольного файла данных;
- отслеживание изменений состояний подконтрольного файла данных;
- возможность автоматического создания резервной версии файла данных и восстановление его в исходное состояние;
- протоколирование хода работы на разных этапах контроля целостности.

Общие сведения

На основе проведённого анализа предметной области и поставленных задач были выработаны технические решения для разработки системы контроля целостности. В основе технических решений использовался опыт сотрудников, полученный при эксплуатации информационно-коммуникационного комплекса института.

Реализуемая система контроля целостности состоит из набора программного обеспечения, работающего в связке между собой. Ядро системы состоит из двух модулей: модуля сбора метаинформации о файле данных и модуля управления ходом процедуры контроля.

Модуль сбора метаинформации о файле данных реализован на базе программного обеспечения GNU/AIDE (Advanced Intrusion

Detection Environment) [4, 5]. Основное назначение данного модуля – обнаружение изменений атрибутов файлов, например прав доступа, пользователей-владельцев, размера, количества ссылок на файл и других параметров файлов и т.д.

AIDE создаёт базу метаданных всех файлов, перечисленных в основном конфигурационном файле программы. В базу записываются атрибуты файла и криптографическая контрольная сумма каждого файла. Контрольная сумма вычисляется с использованием одного или комбинации следующих алгоритмов хеширования и шифрования: SHA512, MD5, BASE64 [6].

Модуль управления ходом процедуры контроля представлен в виде набора скриптов, реализующих алгоритм работы контроля целостности (рисунок).

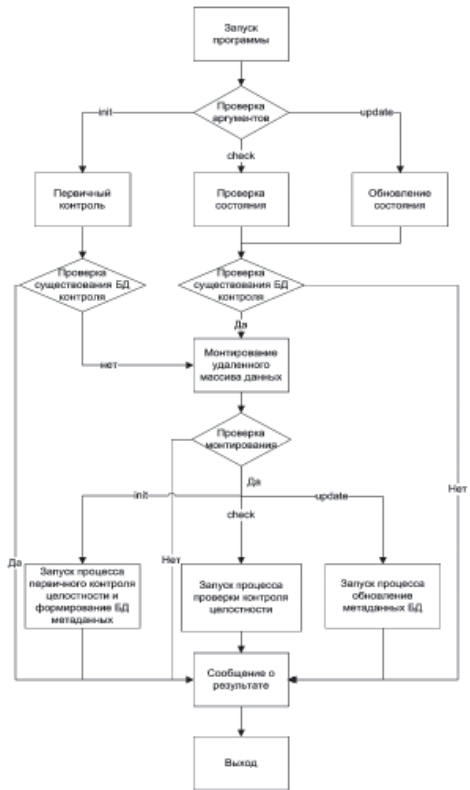


Рисунок. Алгоритм работы системы контроля целостности

Описание алгоритма работы системы контроля целостности

Перед началом фиксации состояния файлов данных происходит проверка доступности и монтирования удалённого каталога РСБД.

Если фиксация производится впервые, то создаётся мастер-версия базы метаданных состояния файлов данных и её копия,

а также мастер-версия файлового образа каталога РСБД. Копия базы метаданных и файловый образ каталога РСБД хранятся в архиве на магнитной ленте в автоматизированной библиотеке. В результате работы создаётся отчёт о ходе выполнения процесса фиксации исходного состояния, который отправляется по электронной почте администратору системы контроля целостности.

Далее на ежедневной основе осуществляется запуск проверки состояния объектов контроля. На данном этапе происходит сопоставление метаданных текущего состояния каждого файла и каталога с исходным состоянием, записанным в базе метаданных. По окончании проверки формируется отчёт, содержащий информацию о всех изменениях, которые были обнаружены.

В процессе ведения каталогов РСБД наступает период, когда происходит обновление информации в РСБД. Для таких случаев в системе контроля целостности предусмотрена процедура обновления базы метаданных о состоянии подконтрольных файлов данных РСБД. Процедура обновления запускается в случае санкционированных изменений структуры, атрибутов файла данных или целого каталога РСБД. При формировании новой базы метаданных происходит архивация состояния каталога РСБД и обновление метаинформации о всём каталоге РСБД. По окончании обновления формируется отчёт с указанием всех изменений, которые были произведены в структуре базы метаданных.

Помимо плановых обновлений информации каталогов РСБД существуют случаи намеренного и непреднамеренного искажения информации. Искращения могут быть следующего характера:

- физические;
- смысловые.

К физическим изменениям относятся такие случаи, как смена атрибутов файлов, удаление/добавление/изменение файлов как объектов файловой системы, аппаратно-программные сбои в ходе эксплуатации.

К смысловым изменениям относятся случаи намеренного искажения структуры информации в файлах данных РСБД.

При выявлении подобных изменений система контроля целостности отправляет уведомление в систему управления

инцидентами ВНИИГМИ-МЦД. При формировании заявки в заголовке указывается название каталога РСБД, в котором произошли изменения, прикрепляется детализированный файл отчёта об изменениях и назначаются специалисты, ответственные за её решение.

Для решения заявки назначаются минимум три специалиста. Одним из специалистов является прикладной администратор РСБД, другой – системный администратор, третий специалист – это администратор системы контроля целостности. Каждый из специалистов осуществляет ряд мероприятий по выявлению и устранению причин данного инцидента. Результатом выполненных мероприятий является решение о необходимом объёме информации, подлежащей восстановлению. После приведения каталога РСБД к исходному состоянию заявка считается решённой и закрывается ответственным специалистом.

Помимо основных функций, о которых было написано ранее, система контроля целостности имеет ряд административно-технических инструментов. Например, для того, чтобы получить доступ к управлению системой контроля целостности, пользователю необходимо пройти ряд проверок безопасности, которые реализованы как внутренними средствами безопасности операционной системы, так и средствами защиты на уровне локальной вычислительной сети. Для отслеживания хода работы системы контроля целостности, в дополнение к внутренней системе отчётности, используется система оперативного мониторинга, которая собирает статистику показателей работоспособности системы, начиная от состояния операционной системы, где размещены каталоги РСБД, до проверки доступности ленточной библиотеки.

Заключение

В результате проделанной работы реализована система контроля целостности каталогов РСБД. Система СКЦ является новым инструментом для введения, обработки и управления гидрометеорологическими данными, расположенными в массивах РСБД. Используя данный инструмент, тематический администратор массива данных РСБД всегда сможет получить информацию об

изменениях в структуре каталога РСБД и детальный перечень изменений атрибутов для файлов РСБД. При реализации системы были использованы современные методы и технологии. Также реализованы механизмы интеграции с системами и технологиями института, в частности интеграция с системой управления инцидентами ВНИИГМИ-МЦД. По результатам тестирования определено, что среднее время проведения проверки контроля целостности составляет около 85 минут. Среднее время процедуры первичного контроля и обновления занимает около 400 минут, причём 75 % времени занимает процедура архивации данных. Разработанная система контроля целостности может быть применена не только к системе РСБД, но и к другим технологиям и системам института.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веселов В. М., Прибыльская И. Р.* Система электронного обслуживания пользователей ЕГФД с использованием Интернет-технологий // Обзор деятельности ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» за 2011 год. 2012. С. 68 – 72. <http://meteo.ru/publications/123-vniigmi-mtsd-review>.
2. *Веселов В. М.* Структура и информационные технологии ЕГФД. История и перспективы // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 5 – 27.
3. *Кофтан Ю. Р., Перетягтько Л. О.* К построению технологии взаимной конвертации баз данных различной структуры для пополнения и верификации данных ЕГФД, а также для обслуживания потребителей // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 126 – 143.
4. *Ariel Maiorano.* Инсталляция и использование AIDE [Электронный ресурс] / Автор Ariel Maiorano. Перевод: А. Куприн // Режим доступа: <http://www.linuxlib.ru/secur/aide.htm>.
5. *Ульянов М. Ю.* Заметки о безопасности Linux: поддержка целостности файлов с помощью AIDE [Электронный ресурс] / Автор: Ульянов М.Ю. // Режим доступа: http://rus-linux.net/nlib.php?name=/MyLDP/sec/AIDE_file_integrity.html.
6. *David Eppstein.* Криптографическая хеш-функция Cryptographic hash function [Электронный ресурс] / Автор: David Eppstein // Режим доступа: https://ru.qwe.wiki/wiki/Cryptographic_hash_function.

УДК 004.6:551.5:004.9

СИСТЕМА ВЗАИМНОЙ КОНВЕРТАЦИИ ДАННЫХ РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЕГФД

Л. О. Перетясько¹, Ю. Р. Кофтан²

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

¹ leon0121@yandex.ru, ² ykoftan@meteo.ru

Хранение электронных данных в Едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД) осуществляется в специальном формате ЯОД [1] (языка описания гидрометеорологических данных), который позволяет сохранить иерархическую структуру данных, получаемых от наблюдательных сетей, и обеспечивает национальную независимость хранения данных в фонде. Работа с данными фонда в формате ЯОД осуществляется с помощью разработанной во ВНИИГМИ-МЦД Системы управления данными Автоматизированной информационной системы обработки режимной информации (СУД АИСОРИ).

Необходимо учитывать, что предназначенный для хранения электронных гидрометеорологических данных формат ЯОД не всегда подходит для эффективного использования данных в решении задач потребителей фонда.

Для повышения качества обслуживания потребителей ЕГФД и предоставления выборок данных из ЯОД-архивов фонда в удобных для пользователей форматах разрабатывается технология и программное обеспечение взаимной конвертации данных различной структуры представления (СВК).

Описание принципов взаимной конвертации, а также моделей данных различной структуры приведено в [2].

Основные принципы конвертации:

I. Данные первичных наблюдений имеют иерархическую структуру.

II. Данные наблюдений в ЕГФД хранятся парой файл ЯОД-описание структуры данных и файл собственно данных в формате ЯОД.

III. Основой для конвертации собственно данных служат файлы ЯОД-описаний.

IV. В составе программных средств взаимной конвертации в обязательном порядке имеются алгоритмы контроля адекватности конвертируемых данных.

1. Функциональные возможности и структура первой версии системы

В первой версии системы взаимной конвертации отрабатывались принципы взаимной конвертации данных иерархической и реляционной структуры. Программное обеспечение системы конвертации разработано на языке C++ с использованием фреймворка Qt [3] и позволяет конвертировать данные в формате ЯОД и формате реляционной базы данных (РБД) [4]. В дальнейшем планируется расширить возможности конвертора для поддержки других форматов хранения данных: плоских таблиц, файлов в формате MS Excel CSV, NetCDF, XML и др.

В настоящее время система реализована для работы с СУБД PostgreSQL [5]. Однако общие принципы конвертации ЯОД в РБД имеют универсальный характер, а так как каждая СУБД обладает своей спецификой, например подключение сторонней программы к базе данных, типы данных, то для каждой отдельной СУБД необходимо проводить исследования, в процессе которых будут выявлены особенности работы с выбранной СУБД и проведена настройка системы конвертации.

Первая очередь системы протестирована на примере конвертации файлов с ЯОД-данными, относящимися к следующим семействам: приземная метеорология – TMS (срочные данные), TMSM (суточные обобщения), TMSS (месячные обобщения), а также АЕРОСТАС (аэрология).

Ввиду того, что алгоритм конвертации данных иерархической структуры (ЯОД-архивов) разрабатывается как универсальный (поддерживающий конвертацию ЯОД-данных любых видов

наблюдений), то для тестирования первой его версии были выбраны аэрологические данные, обладающие простой структурой, и метеорологические данные, обладающие сложной структурой, которая выражается в наличии вложенности (иерархии) данных и разбиении данных на несколько видов записей.

В следующих версиях системы и алгоритма будут учтены особенности конвертации всех ЯОД-архивов, а также протестированы семейства данных, входящие в состав каждого ЯОД-архива.

Некоторые функциональные возможности системы:

1) осуществление взаимной конвертации данных иерархической (в формате ЯОД) и реляционной структуры;

2) визуализация пользователю списка создаваемых таблиц и их атрибутов;

3) возможность выбора пользователем конвертируемых данных (только для конвертации из ЯОД в РБД). Данная возможность обусловлена тем, что потребителям могут потребоваться лишь определённые данные из массивов данных, хранящихся в формате ЯОД. В дальнейшем будет реализован выбор и для обратной конвертации (из РБД в ЯОД);

4) выбор методов проверки выполненной конвертации данных;

5) визуализация пользователю процесса конвертации и результатов проверки адекватности выбранными методами.

Разработанная система разделена на две подсистемы:

1 – Подсистема взаимной конвертации данных. Этапы прямой и обратной конвертации описаны ниже.

2 – Подсистема проверки адекватности выполненной конвертации. (На момент написания статьи реализовано два метода проверки: метод «Петля» и метод проверки связей между данными в обеих структурах данных.)

2. Этапы прямой конвертации

Этапы конвертации иерархических данных в формате ЯОД в реляционную базу данных представлены на рис. 1.

На первом этапе на основе указанных пользователем параметров (имя базы данных, логин, пароль, имя хоста, порт)

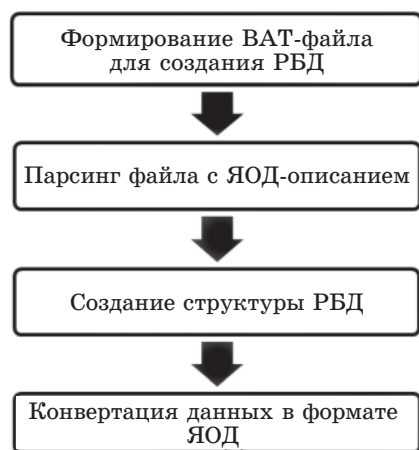


Рис. 1. Этапы конвертации из ЯОД в РБД

```

1 SET PGHOST=localhost
2 SET PGPORT=5432
3 SET PGUSER=postgres
4 SET PGPASSWORD=123
5 C:
6 cd C:\PostgreSQL\9.4\bin\\
7 createdb -O postgres "TMSS_TEST"
8 exit
  
```

Рис. 2. Содержание BAT-файла

автоматически формируется текст BAT-файла, который содержит скрипт для создания БД в СУБД PostgreSQL. Пример содержания BAT-файла представлен на рис. 2.

На втором этапе производится парсинг файла с ЯОД-описанием конвертируемых данных, в результате структура данных в формате ЯОД сохраняется в оперативной памяти до завершения работы программы и используется в дальнейших этапах.

На третьем этапе на основе полученной на предыдущем этапе структуры ЯОД-данных создаётся структура РБД – таблицы и их атрибуты, а также связи между таблицами – путём исполнения автоматически генерируемых SQL-команд.

Пример создаваемой структуры РБД на основе ЯОД-описания метеорологической информации (суточные обобщения) приведён на рис. 3.

На четвёртом этапе выполняется конвертация данных, которая состоит в следующем: считывание заголовка записи (если присутствует), считывание всей записи из файла и рекурсивная обработка её содержимого с параллельным формированием и исполнением SQL-команд для заполнения таблицы в РБД. После завершения обработки данных текущей записи выполняется считывание следующей записи, и так до тех пор, пока не будет обработан весь файл с данными. Если пользователь выбрал конвертацию папки с файлами, то этап повторяется для следующего файла.

На третьем этапе выполняется сопоставление информации о структуре РБД и ЯОД-описания для возможности последующей конвертации.

На четвёртом этапе выполняется непосредственно сама конвертация данных, которая состоит в считывании кортежа из таблицы, содержащей заголовки записей (если таковая имеется). После чего, имея информацию о том, какая эта запись, на основе сопоставленной информации производится считывание данных из таблиц путём выполнения SQL-команд, разбор этих данных и запись в файл с данными.

4. Методы проверки адекватности конвертированных данных, реализованные в программе

4.1. Метод проверки «Петля»

Суть метода заключается в проведении обратной конвертации тех данных, которые были получены в процессе конвертации, которую выбрал пользователь – из ЯОД в РБД, или наоборот.

Основные этапы метода, если пользователь выбрал конвертацию из ЯОД в РБД:

1. Создаётся проверочный файл, куда будут записываться данные.

2. Считывается структура РБД и выполняется её объединение с уже известной структурой ЯОД-данных.

3. Выполняется обратная конвертация: считывается кортеж с номером и заголовком ЯОД-записи, начиная с первого, из таблицы Records; затем поочерёдно считываются и конвертируются кортежи из таблиц, соответствующие группам, входящим в состав текущей записи в ЯОД-описании.

4. На заключительном этапе производится побайтное сравнение исходного файла с данными в формате ЯОД с проверочным файлом. Если в процессе сравнения находятся не соответствующие друг другу байты, то формируется сообщение об их местонахождении. Результаты проверки и информация об ошибочных байтах выводится пользователю на экран (в дальнейшем вывод информации будет усовершенствован).

Основные этапы метода, если пользователь выбрал конвертацию из РБД в ЯОД:

1. Создаётся проверочная РБД, идентичная по структуре исходной, и заполняется данными из файла, полученного в результате конвертации.
2. Для каждой базы данных создаётся дамп-файл.
3. Содержимое дампов сравнивается. Результаты сравнения выводятся на экран.

4.2. Метод проверки связей между данными

Данный метод работает одинаково, независимо от того, какой режим конвертации выбрал пользователь.

Его суть состоит в сравнении модели данных, полученной в результате парсинга файла с ЯОД-описанием и модели данных реляционной базы данных.

В процессе проверки сравниваются:

- названия таблиц с именами записей и групп;
- названия атрибутов таблицы и имена элементов;
- количество атрибутов в таблице и количество элементов в соответствующей группе для проверки того, не были ли утрачены или добавлены лишние в процессе конвертации;
- связи между таблицами и связи между группами, которые им соответствуют.

Результаты проверки выводятся пользователю на экран.

Третий планируемый метод – сравнение результатов адекватных запросов к данным в первой очереди СВК – не реализован.

5. Анализ результатов работы системы

На рис. 5 – 7 представлено окно, в котором пользователь выбирает способ преобразования (режим конвертации), а также указывает необходимые для конвертации параметры.

Окно, демонстрирующее прогресс конвертации и позволяющее пользователю выбрать методы проверки адекватности, представлено на рис. 8 и 9.

Окно, демонстрирующее и позволяющее пользователю выбрать таблицы и их атрибуты, которые будут созданы в результате конвертации, представлено на рис. 10.

Результаты проверки адекватности данных методом «Петля» при конвертации данных из формата ЯОД в РБД, и наоборот, представлены на рис. 11 и 12 соответственно.

На рис. 13 представлено окно результата проверки адекватности данных методом проверки связей между данными.

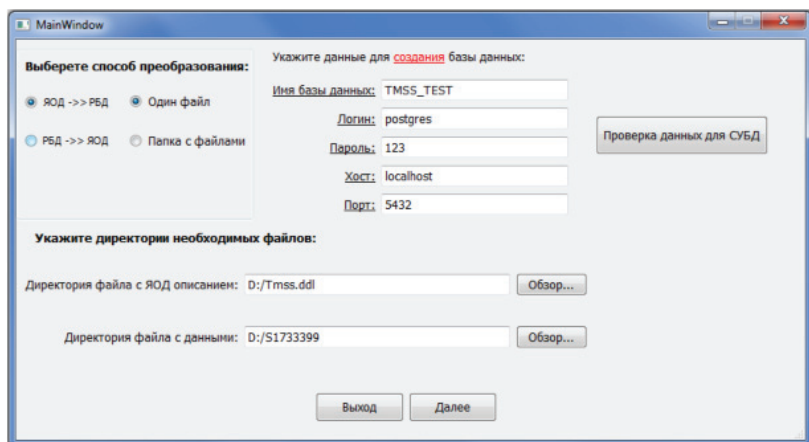


Рис. 5. Вид окна в режиме конвертации ЯОД-данных в РБД одного файла

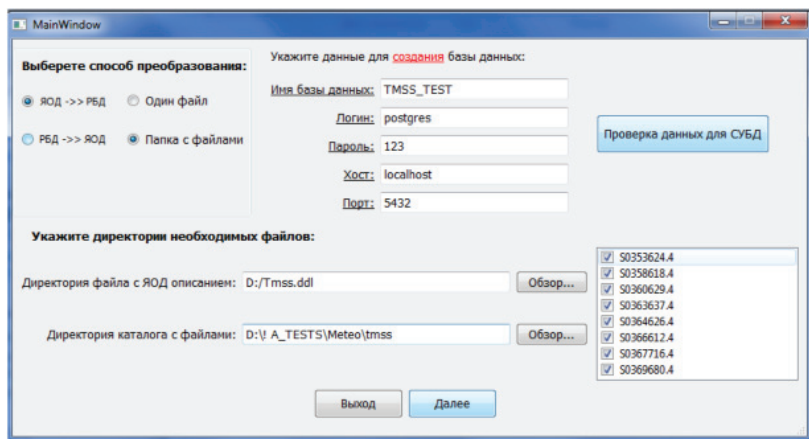


Рис. 6. Вид окна в режиме конвертации ЯОД-данных в РБД папки с файлами

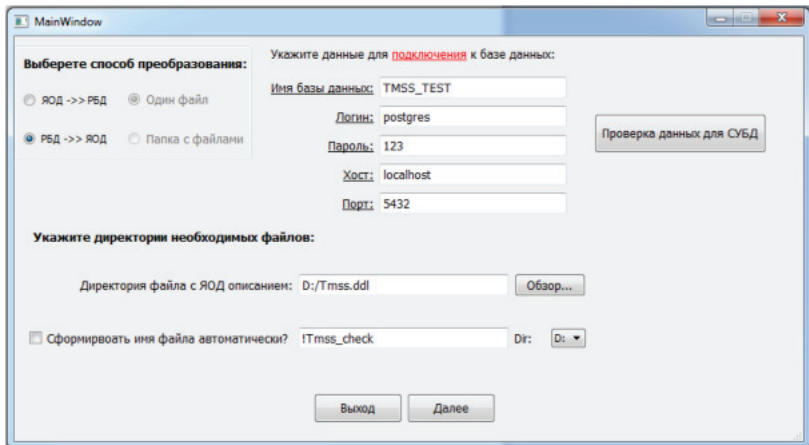


Рис. 7. Вид окна в режиме конвертации РБД в файл/файлы с данными в формате ЯОД

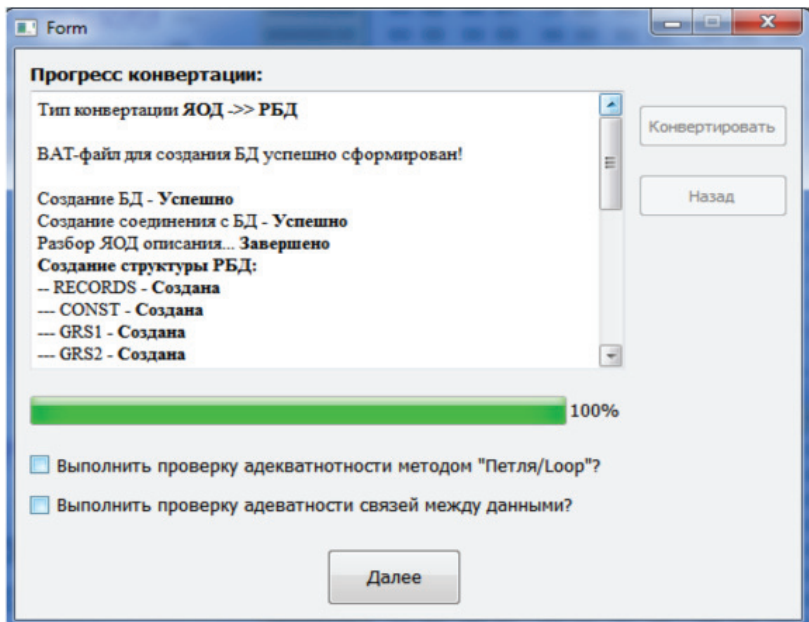


Рис. 8. Окно процесса конвертации и выбора методов проверки

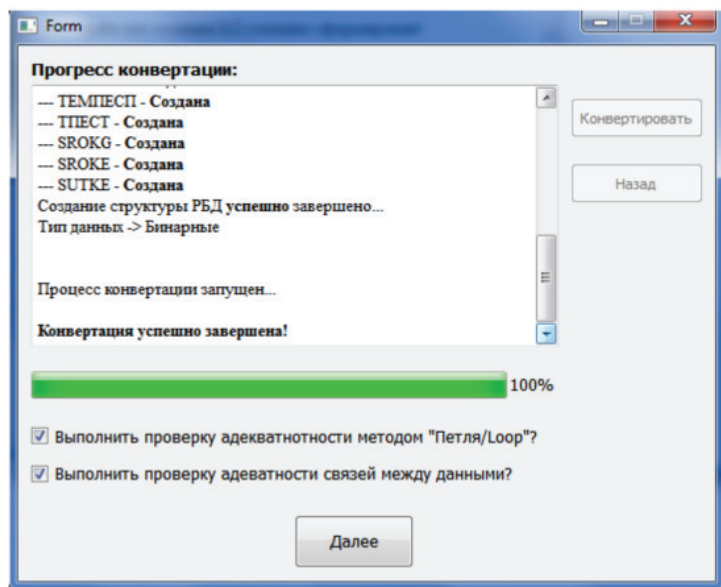


Рис. 9. Окно процесса конвертации и выбора методов проверки

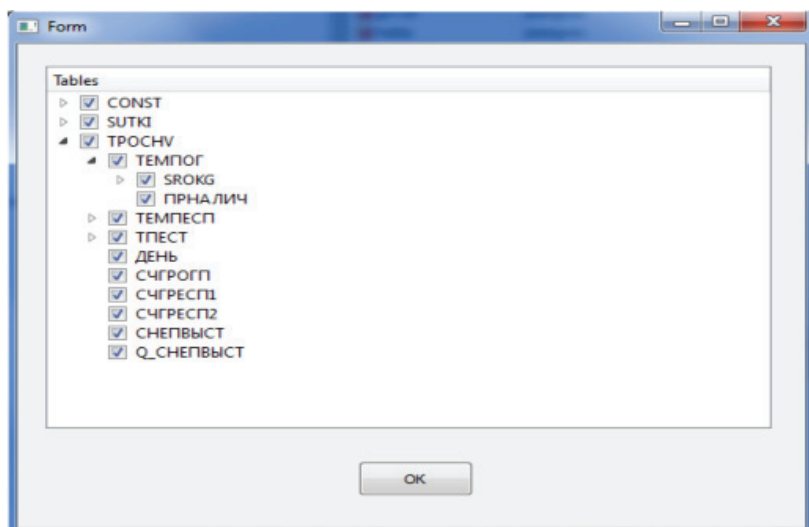


Рис. 10. Создаваемые таблицы и их атрибуты

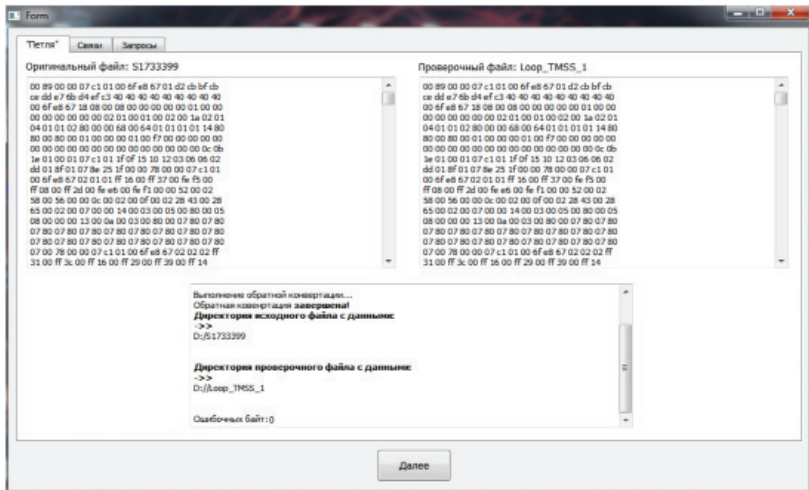


Рис. 11. Результаты проверки методом «Петля» при конвертации из ЯОД в РБД

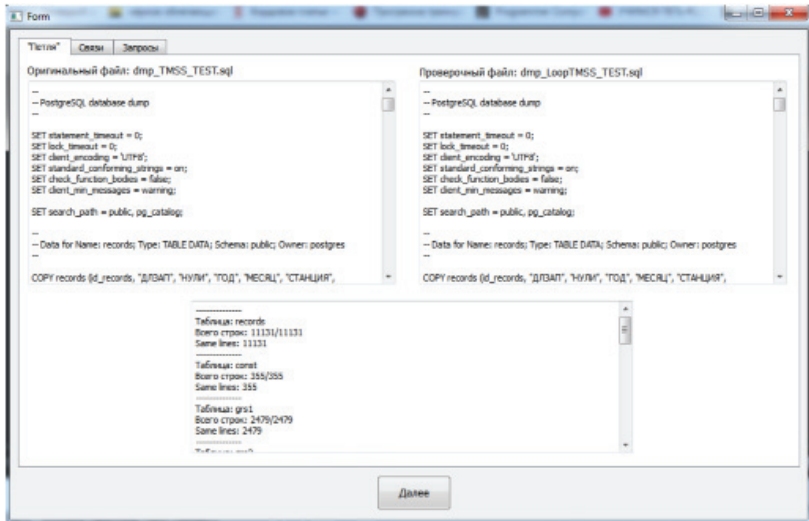


Рис. 12. Результаты проверки методом «Петля» при конвертации РБД в данные в формате ЯОД

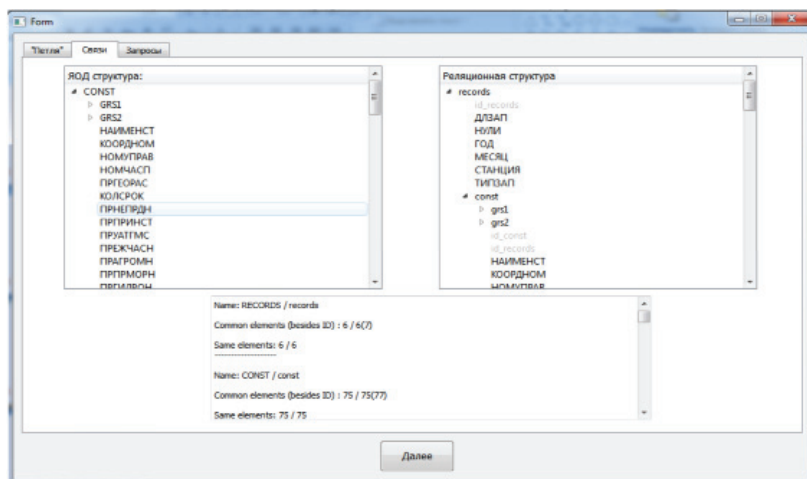


Рис. 13. Окно результатов метода проверки связей между данными

Из результатов обоих методов видно, что конвертация произведена без искажения данных.

Результаты конвертации данных иерархической структуры в формате ЯОД в РБД представлены на рис. 14 и 15.

	id_records [PK] serial	ДЛЗАП smallint	НУЛИ smallint	ГОД smallint	МЕСЯЦ smallint	СТАНЦИЯ integer	ТИПЗАП smallint
1	1	137	0	1985	1	7333991	1
2	2	120	0	1985	1	7333991	2
3	3	120	0	1985	1	7333991	2
4	4	120	0	1985	1	7333991	2
5	5	120	0	1985	1	7333991	2

Рис. 14. Пример данных из таблицы RECORDS

	id_sutki [PK] serial	id_records bigint	ДЕНЬ smallint	DATA smallint	ТЕМВСПСТ numeric(5,1)	q_TEMВСПСТ smallint	ТЕМВМАСТ numeric(5,1)	q_TEMВМАСТ smallint	ТЕВМИНСТ numeric(5,1)	q_TEMМИНСТ smallint
1	1	2	1	1	-23.4	0	-20.1	0	-26.7	0
2	2	3	2	2	-20.7	0	-19.6	0	-23.4	0
3	3	4	3	3	-24.0	0	-20.7	0	-26.0	0
4	4	5	4	4	-26.7	0	-25.2	0	-27.4	0
5	5	6	5	5	-29.2	0	-27.3	0	-30.7	0
6	6	7	6	6	-27.5	0	-26.3	0	-30.1	0
7	7	8	7	7	-28.3	0	-26.1	0	-31.3	0

Рис. 15. Пример данных из таблицы SYTKI

Заключение

Разработанная версия СВК уже может использоваться для конвертации данных. Дальнейшее развитие технологии взаимной конвертации баз данных различной структуры будет состоять в следующем:

1) поддержка всех известных семейств файлов с данными в формате ЯОД – TM1_SU, Voshod и прочие;

2) расширение набора поддерживаемых форматов – плоские таблицы, файлы формата CSV, NetCDF, XML и другие;

3) усовершенствование текущих методов проверки адекватности и реализация метода сравнения результатов адекватных запросов к данным;

4) увеличение производительности за счёт использования алгоритмов многопоточной обработки данных;

5) добавление возможности выборочной конвертации по запросу с условиями отбора данных;

6) усовершенствование пользовательского интерфейса.

Реализация данной технологии и ПО системы взаимной конвертации позволит расширить спектр услуг ЕГФД и обеспечить эффективную обратную связь с потребителями данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселов В. М. Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1995. Вып. 160. С. 41 – 54.

2. Кофтан Ю. Р., Перетягко Л. О. К построению технологии взаимной конвертации баз данных различной структуры для пополнения и верификации данных ЕГФД, а также для обслуживания потребителей // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181 С. 126 – 144.

3. Шлее М. Qt 4.8. Профессиональное программирование на C++. Спб.: БХВ-Петербург, 2012. 912 с.

4. Райордан Р. Основы реляционных баз данных / Пер. с англ. М.: Издательско-торговый дом «Русская редакция», 2001. 384 с.

5. The PostgreSQL Global Development Group. Документация PostgreSQL 9.4 [Электронный ресурс] 1996 – 2015. URL: <https://postgrespro.ru/docs/postgresql/9.4/> (Дата обращения: 18.05.2020).

УДК 551.501:004

WEB-ТЕХНОЛОГИИ ДОСТУПА К ЯОД-АРХИВАМ

Г. Н. Зверева¹, О. А. Мирзеабасов²

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

¹ gnzvereva@meteo.ru, ² oami@yandex.ru

Введение

Удалённый доступ к данным из архивов Единого государственного фонда данных об окружающей среде (ЕГФД) был организован достаточно давно [1] на базе Web-сервера приложений «Байконур», выполняющегося на платформе Windows 7. Особенностью реализации этой технологии, получившей название Web АИСОРИ [2], была интеграция со штатными средствами доступа к информации, хранящейся в формате языка описания гидрометеорологических данных (ЯОД). Отсутствие промежуточных программных слоёв позволяло эффективно выполнять запросы на извлечение из ЯОД-архивов табличных подмножеств данных. Система Web АИСОРИ была использована в первую очередь для организации удалённого доступа к специализированным массивам для климатических исследований.

Характеристики созданной платформы – единый формат хранения данных, схожая структура метаописаний данных, общее программное ядро обработки запросов – позволили распространить разработанную технологию и на другие массивы данных, в том числе на другие архивы ЕГФД (Океанология, Гидрология, Аэрология...). В частности, по технологии Web АИСОРИ построена Web-версия научно-прикладного справочника «Климат России» [3]. Кроме того, с помощью этой технологии осуществляется доступ сотрудников УГМС к данным метеорологических архивов.

Интенсивное использование системы выявило и некоторые проблемы, связанные в первую очередь с естественным устареванием используемых инструментов разработки и развёртывания.

Прекратилась поддержка как Web-сервера приложений «Байконур», так и версии операционной системы, для которой разрабатывалась технология Web АИСОРИ, что повлекло за собой неустойчивое функционирование программного комплекса. Прямой перенос на другую платформу оказался сопряжён с трудностями администрирования и управления иерархической системой конфигурационных файлов.

Для решения возникших проблем были предложены различные варианты обновления существующей системы. Для обеспечения устойчивости функционирования было принято решение перейти на платформу GNU/Linux (дистрибутив CentOS), часть настроек, связанных с управлением пользователями и общесистемными параметрами, перенести под управление СУБД PostgreSQL [4], пользовательский интерфейс и часть функциональности реализовать в виде Web-приложения на языке программирования Java и развернуть комплекс на сервере приложений WildFly [5].

1. Архитектура выбранного решения

Основной трудностью программной реализации намеченного подхода являлась проблема обмена данными между Java-приложением и модулем, непосредственно выполняющим запрос на выборку данных из ЯОД-архивов. Требовалось также учитывать специфику данных – иерархическая организация (в том числе конфигурационных файлов), ЯОД как средство описания данных и ЯОД как язык запросов, используемая по умолчанию кодировка.

Рассматривались следующие возможные варианты решения:

- обмен данными через СУБД;
- портирование программы выбора данных на Linux;
- использование виртуальных машин или эмуляторов для запуска программы выборки данных.

Первое решение могло быть реализовано, но оно сопряжено с интенсивной работой СУБД, а также потребовало бы довольно сложных механизмов синхронизации. Второй вариант – с портированием ядра обработки запросов – был отвергнут из-за тесной интеграции существующих исходных кодов с библиотеками времени исполнения Borland C++ для платформы Windows.

Таким образом был выбран третий вариант, получивший название «Web АИСОРИ М» и использующий модифицированную версию программы выборки информации из ЯОД-архивов. Общая схема работы системы представлена на рис. 1 и заключается в следующей последовательности операций.

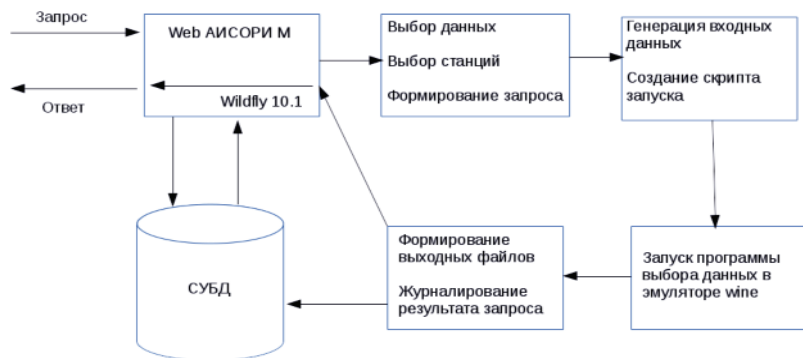


Рис. 1. Схема обработки запросов в системе Web АИСОРИ М

Пользователь системы авторизуется, выбирает необходимые станции, фиксирует категорию данных, формирует поля запроса и, если требуется, условия отбора данных. Поля запроса и условия отбора преобразуются в ЯОД-запрос по шаблону, соответствующему категории данных. Система сохраняет в виде файлов в рабочей области список идентификаторов отобранных станций, созданный запрос в формате ЯОД, а также служебные файлы, необходимые для запуска программы выполнения запроса.

Модуль отбора данных запускается в эмуляторе, считывает входные файлы и параметры настройки, проверяет их корректность и выполняет запрос, сохраняя результат в требуемом формате в файле с заданным именем.

Все имена создаваемых файлов формируются по шаблонам, включающим общий уникальный идентификатор сеанса пользователя. После выполнения запроса и загрузки результата промежуточные файлы автоматически удаляются из рабочей области. Система фиксирует в таблицах базы данных результаты действий пользователей – объём выгруженных данных, время сеанса.

Помимо основной системы, реализующей Web-интерфейс пользователя, в состав комплекса Web АИСОРИ М включены также дополнительные и вспомогательные модули, предназначенные для выполнения административных и служебных задач – управление пользователями, загрузка метаданных, просмотр статистики использования системы.

При проектировании структуры базы данных учитывалась возможность расширения задач системы – например для доступа к другим ЯОД-архивам.

В базе данных Web АИСОРИ М хранится следующая информация:

- данные о пользователях разных категорий с привязкой к идентификатору используемой системы;
- таблицы, описывающие структуру данных (разделы архивов, шаблоны ЯОД-запросов, списки станций, связанных с каждым архивом);
- системные настройки, включая шаблоны имён служебных файлов, шаблоны команд, размещение рабочей области;
- журналы событий (неудачные авторизации, действия пользователей);
- объявления и комментарии.

2. Описание возможностей Web АИСОРИ М

В настоящее время в Системе удалённого санкционированного доступа к ресурсам ЕГФД Web АИСОРИ М ВНИИГМИ-МЦД предоставляет доступ к Режимно-справочному банку данных (РСБД) «Метеорология», содержащему нормализованные по единой методике ЯОД-архивы электронных данных приземных метеорологических наблюдений, выстроенных во временные ряды по одной метеорологической станции за определённый период наблюдений.

Для конкретного УГМС доступны данные наблюдений по метеостанциям его зоны ответственности.

Созданная во ВНИИГМИ-МЦД Система электронного обслуживания удалённых пользователей с использованием Интернет-технологий Web АИСОРИ М предназначена:

- для обслуживания сотрудников УГМС данными РСБД по их территории с использованием Интернет-технологий;
- для свободного обслуживания по сети Интернет всех желающих данными специализированных массивов (далее – спец-массивы), созданных на основе архивов ЕГФД.

Специализированные массивы для климатических исследований созданы на основе выборок из нормализованных метеорологических архивов.

В настоящее время в рамках Web АИСОРИ М ведётся опытная эксплуатация удалённого доступа к научно-прикладному климатическому справочнику «Климат России».

Таблица 1

**Обобщённые сведения о существующих
специализированных массивах**

№ п/п	Название массива	Количество станций
Месячные данные		
1	Температура воздуха	518
2	Сумма осадков	518
3	Число дней с осадками больше или равно 1 мм	518
4	Атмосферное давление на уровне станции	518
5	Атмосферное давление на уровне моря	503
6	Продолжительность солнечного сияния	411
7	Упругость водяного пара	518
8	Среднемесячные значения параметров атмосферы	23
9	Среднемесячные значения в пограничном слое атмосферы	13
Ежедневные данные		
10	Температура воздуха и количество осадков	600
11	Температура почвы на глубинах до 320 см	458
12	Данные о температуре почвы (по термометру Савинова)	315
13	Характеристики снежного покрова	620
14	Маршрутные снегосъёмки	517
Срочные данные		
15	Основные метеопараметры	518
16	Атмосферные явления	518
17	Срочные данные радиозондовых наблюдений	12

При проектировании общей структуры системы и пользовательского интерфейса учитывалась функциональность интерфейса Web АИСОРИ. Кроме того, был осуществлён перенос

существующей на определённый момент базы данных зарегистрированных пользователей в новую систему, что позволяет пользователям, зарегистрированным до этого момента, получать доступ и к первой версии системы, и к модернизированной.

Вход в систему для зарегистрированных пользователей осуществляется вводом логина и пароля, в противном случае пользователь должен пройти процедуру регистрации, указав свои данные (рис. 2):

The image shows two side-by-side web forms. The left form is titled 'Регистрация' (Registration) and contains fields for 'Логин' (Login), 'Пароль' (Password), 'Повторите пароль' (Repeat password), 'Имя' (Name), 'E-mail', 'Страна' (Country, set to Russia), 'Город' (City), and 'Организация' (Organization). The right form is titled 'Специализированные массивы для климатических исследований' (Specialized arrays for climate research) and includes a login section with fields for 'Логин' (Login), 'Пароль' (Password), and 'E-mail'. It also features a 'Зарегистрированных пользователей 16487' (Registered users 16487) counter and a 'Регистрация' (Registration) button.

Рис. 2. Регистрация. Вход в систему

После авторизации пользователю доступен список новостей и объявлений. При необходимости можно оставить комментарий или задать вопрос по работе системы (кнопка КОММЕНТАРИИ). Администраторы системы регулярно просматривают комментарии и отвечают на вопросы.

Дальнейшая работа заключается в указании требуемых параметров раздела и источника данных, а также списка станций (рис. 3). Пользователь может выбрать раздел базы данных (сроки, сутки, месяц), при этом появляется возможность указать массив (источник данных), находящийся в выбранном разделе. Кроме того, при выборе источника данных отображается связанный с ним список станций. Пользовательский интерфейс позволяет управлять списком выбора станций, после чего можно перейти на страницу задания параметров запроса.

Задание параметров запроса заключается как в выборе полей самого запроса, так и задания возможных ограничений – например, год, месяц, день, срок (в зависимости от источника данных и структуры запроса).

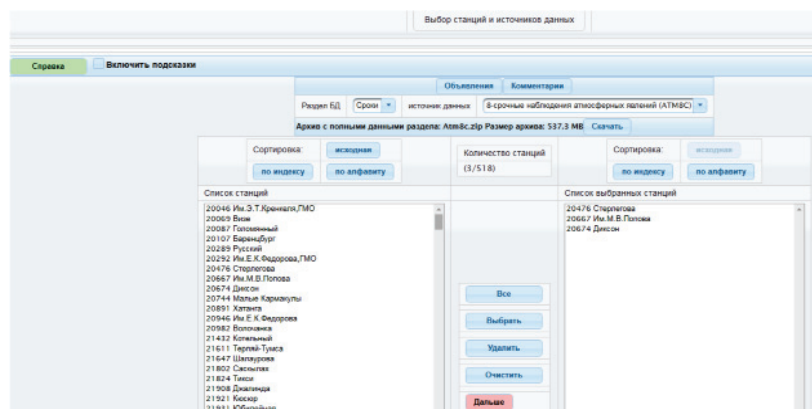


Рис. 3. Выбор станций и параметров

Результат выборки частично выводится на экран. Упакованный zip-архив, содержащий файлы с полной выборкой, названиями столбцов и списком станций, выгружается на локальный компьютер пользователя по кнопке ЗАГРУЗИТЬ (рис. 4).

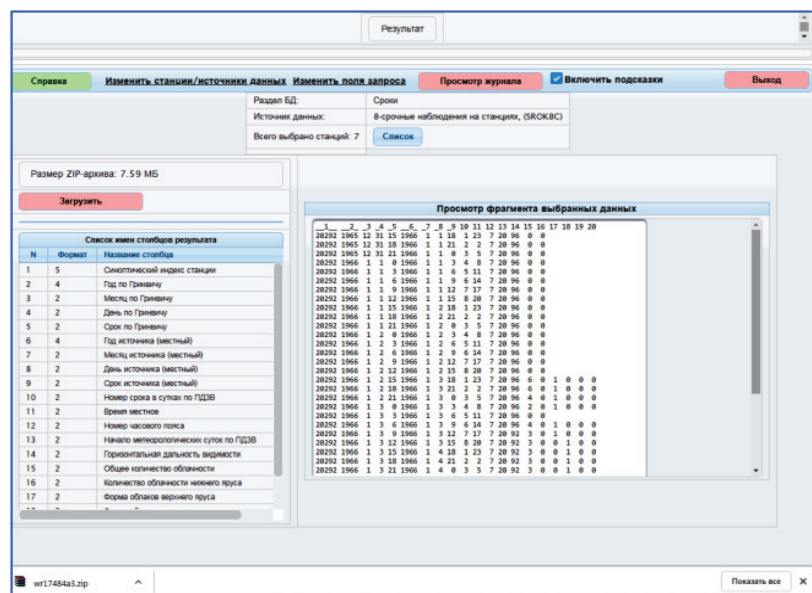


Рис. 4. Результат выборки. Загрузка

3. Универсализация выбранного подхода

Архитектура модулей системы, проверенная на организации удалённого доступа к спецмассивам, была применена для обслуживания определённых категорий пользователей ЕГФД. К отличиям можно отнести отсутствие процедуры регистрации – пользователи добавляются в базу данных администратором. Кроме того, начальный список станций для дальнейшего выбора данных зависит от настроек пользователя и определяется наличием привязки его к конкретному УГМС.

Некоторые изменения внутренней структуры этой версии Web АИСОРИ М связаны с наличием, как правило, нескольких типов запросов к каждому источнику данных.

В целях балансировки нагрузки и управления версия Web АИСОРИ М для доступа к ЕГФД развёрнута на другом экземпляре сервера приложений WildFly. На этом же сервере приложений развёрнута и общая система администрирования, в задачу которой входят управление пользователями, отслеживание комментариев, публикация объявлений, средства обновления информации о данных.

Доступ удалённых пользователей к полной базе данных предоставляется для каждого УГМС по согласованию с руководством ВНИИГМИ-МЦД.

Администратор базы регистрирует пользователя в соответствии с предоставленным им в заявке логином и паролем.

Список доступных источников данных представлен в табл. 2.

Таблица 2

Источники данных РСБД

№ п/п	Название архива	Данные
1	TM1_SU	Суточные до 1965 г.
2	СУТ66	Суточные 1966 – 1976 гг.
3	СУТ77	Суточные 1977 – 1983 гг.
4	ВОСХОД	8-срочные 1966 – 1976 гг.
5	TM0_SR	3-срочные до 1871 – 1935 гг.
6	TM1-SR	4-срочные до 1936 – 1965 гг.
7	TMM1	Наблюдения на станциях 1977 – 1984 гг
8	TMC	Наблюдения на станциях с 1984 г.
9	TMSCM	Месячные наблюдения на станциях с 1984 г.
10	TMCC	Суточные обобщения с 1984 г.

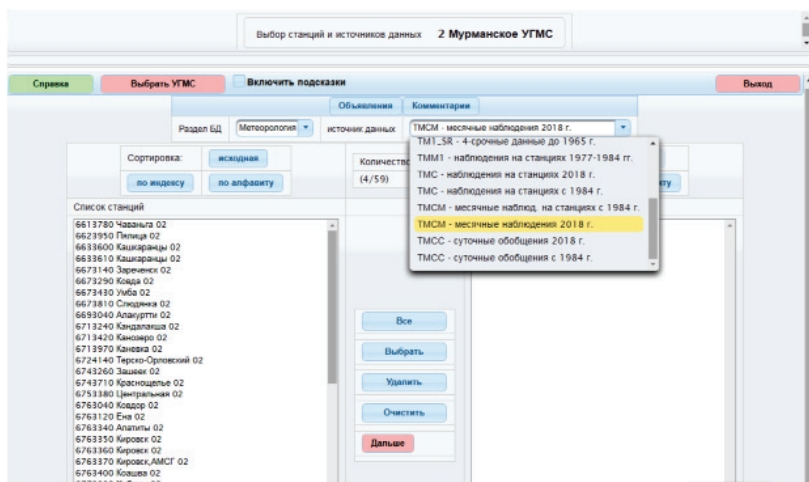


Рис. 5. Выбор источника данных

В каждом архиве можно выбрать нужные элементы из выпадающего меню.

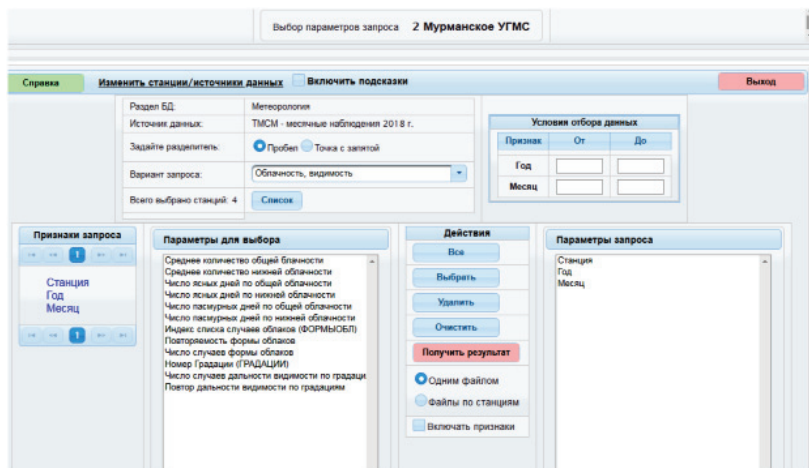


Рис. 6. Выбор элементов

Заключение

В настоящее время система Web АИСОРИ М надёжно поддерживает удалённый доступ к специализированным массивам для зарегистрированных пользователей. Кроме того, с помощью этой же технологии осуществляется санкционированный доступ к ЕГФД зарегистрированных сотрудников УГМС.

Дальнейшее развитие комплекса Web АИСОРИ М включает улучшение возможностей пользовательского интерфейса: сохранение шаблонов запросов и истории выбора данных с возможностью их повторения, разработку более удобных модулей администрирования (включая управление пользователями), создание модуля генерации отчётов и статистики. Отдельным направлением является перевод формальной грамматики ЯОД в формат, используемый средствами автоматических генераторов лексических анализаторов, что позволит осуществлять доступ к данным без промежуточного ПО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прибыльская И. Р., Веселов В. М. АИСОРИ – Web-технология «удалённый доступ к ЯОД-архивам» // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2002. Вып. 170. С. 163 – 172.
2. Веселов В. М. Структура и информационные технологии Госфонда. История и перспективы // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2014. Вып. 177. С. 5 – 27.
3. Булыгина О. Н. и др. Научно-прикладной электронный справочник «Климат России» // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2012. Вып. 176. С. 302 – 312.
4. Волков А., Джуба С. Изучаем PostgreSQL 10. ДМК Пресс, 2019. С. 400.
5. Ritchie C. WildFly Configuration, Deployment, and Administration – Second Edition. Packt Publishing, 2014. P. 404.

УДК 681.518:551.5

ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АГРО-ЕЖЕГОДНИК

**Л. И. Романенко¹, А. Ю. Згура², Е. В. Амельченко³,
А. И. Шевченко⁴**

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

¹ lir@meteo.ru, ² isapfe@bk.ru, ³ amelchenko@meteo.ru,

⁴ ashevchenko.@meteo.ru

Программно-технологический комплекс (ПТК) АГРО-ЕЖЕГОДНИК – многофункциональная подсистема, средствами которой реализуется:

- Формирование Базы первичных данных (БПД) в областных и территориальных центрах по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения окружающей среды (УГМС, ЦГМС) по зоне ответственности УГМС при помощи средств экспорта-импорта, на основе которой подготавливаются массивы данных для пополнения первичными данными агрометеорологических наблюдений Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды, её загрязнении (ЕГФД).
- Формирование на основе БПД таблиц агрометеорологического ежегодника в электронном виде.
- Создание Базы с данными таблиц Агрометеорологического ежегодника (БДАМЕ).
- Возможность использования БПД в ЦГМС и УГМС в оперативном режиме при составлении агрометеорологических прогнозов, оперативных справок, выявлении предпосылок возникновения опасных (ОЯ) и особо опасных явлений (ООЯ).

1. Формирование Базы первичных агрометеорологических данных по территории региона

Для формирования БПД информация накапливается за сельскохозяйственный год с августа предыдущего года и за весь

текущий год. Исходными данными являются данные первичных наблюдений полевых книжек КСХ-1м, КСХ-2м, КСХ-3, таблиц ТСХ-4, ТСХ-5, занесённые на наблюдательной сети при помощи программно-технологического комплекса ARMAGRO [1 – 3] или при помощи программно-технологического комплекса АГРО-ЕЖЕГОДНИК – файл local.mdb [1, 3], также данные из книжек первичной записи метеорологических наблюдений КН-1.

Сбор данных БПД, формируемых комплексом ARMAGRO, содержащих первичные агрометеорологические данные наблюдений станций и постов Росгидромета, осуществляется после окончания сезона наблюдений. С наблюдательных пунктов (станция, пост) передаётся в ЦГМС или УГМС массив файлов экспорта с данными наблюдений КСХ-1м, КСХ-2м, КСХ-3м, ТСХ-4м, ТСХ-5м, КН-1.

В ЦГМС (УГМС) осуществляют импорт присланных из наблюдательных пунктов файлов экспорта в базу данных ЦГМС и УГМС и формирование БПД по территории ответственности. Кроме того, производится импорт в БПД информации из комплекта месячных метеорологических таблиц станций и постов ТМС и ТМП для замены накапливаемой в течение года метеорологической информации, не проходившей контроль, необходимой как для оперативного использования (в ПТК ARMAGRO), так и для формирования таблиц агрометеорологического ежегодника [4].

Производится критический анализ полноты и качества данных. Контроль данных – синтаксический, статистический, смысловой (на логических связях между параметрами), пространственный и т. п. [5].

Подготовленная база впоследствии передаётся в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» для последующего переформирования в формат Языка описания гидрометеорологических данных (ЯОД) ЕС ЭВМ и пополнения ЕГФД, а также используется для формирования таблиц агрометеорологического ежегодника.

2. Структура таблиц агрометеорологического ежегодника

Формирование агрометеорологического ежегодника – одна из главных функций агрометеоролога – специалиста ЦГМС и УГМС. Его

содержание и структура определяется «Методическими указаниями по составлению агрометеорологического ежегодника для земледельческой зоны Российской Федерации (РД 52.33.725–2010)» [6], «Изменениями № 1 к РД 52.33.725–2010» [7] и «Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам», выпуск 11, часть 1, 2000 [8].

В общей структуре макет ежегодника содержит определённый перечень таблиц, в которых должны быть представлены результаты стандартных агрометеорологических и метеорологических наблюдений, проводившихся на сельскохозяйственных полях, сенокосах, пастбищах за прошедший сельскохозяйственный год [6, 8].

Таблицы Агрометеорологического ежегодника сгруппированы в разделы. Раздел 1 – «Метеорологическая информация», раздел 2 – «Агрометеорологическая информация».

В разделе 1 размещаются 12 таблиц с обобщёнными за каждую декаду, а также за сезоны вегетационный и осенне-зимне-весенний значениями метеорологических параметров. Представлены их средние значения, экстремальные за период, суммы за период, повторяемость определённых значений.

В разделе 2 таблицы ежегодника сгруппированы по группам культур и видам наблюдений. Множеству макетов таблиц для определённой группы культур (или отдельной культуры) присвоены постоянные коды, состоящие из главного номера и индекса, определяющего вид наблюдения. Индекс отделяется от главного номера точкой.

Культуры, данные наблюдений за которыми помещаются в ежегоднике, сгруппированы в 52 группы (соответственно, во 2-м разделе Методических указаний имеется 52 группы таблиц). Внутри группы может быть до 16 таблиц с разными видами наблюдений, отличающихся индексами.

Для каждой культуры составляются таблицы с результатами фенологических наблюдений, агротехническими мероприятиями, данными наблюдений за ростом, развитием, состоянием, элементами продуктивности, структуры урожая, повреждениями, условиями перезимовки, определениями влажности почвы,

температурой почвы, осадками на полевых наблюдательных участках. Структура раздела 2 агрометеорологического ежегодника представлена на рис. 1 на примере множества таблиц, формируемых по каждой озимой культуре.

Код	Наименование сельскохозяйственной культуры	Код	Наименование сельскохозяйственной культуры
14	Озимые зерновые культуры	23	Картофель
16	Яркие зерновые культуры	24	Корнеплоды
18	Просо, сорго, чумиза	26	Клевер
19	Рис		
20	Лен		
21	Хмель		
22	Подсолнечник		
23	Картофель		
24	Корнеплоды		
26	Клевер		
1	Гречиха		
2	Кукуруза		
3	Овес яровой		
4	Полба		
5	Просо		
6	Пшеница озимая		
7	Пшеница яровая		
8	Рис		
9	Рожь озимая		
10	Рожь яровая		
11	Сорго		
12	Тритикале озимая		
13	Чумиза		
14	Ячмень озимый		
15	Ячмень яровой		
16	Овес зимний		
17	Тритикале яровая		
18	Горох		
19	Нут		
20	Соя		
21	Чечевица		
22	Минь		
23	Фасоль		
24	Артишок		
25	Баклажан		
26	Дыня		
27	Кабачок		
28	Капуста кочанная		
29	Капуста цветная		
30	Лук		

Рис. 1. Структура раздела 2 агрометеорологического ежегодника

В зависимости от набора наблюдаемых на конкретной территории культур и видов наблюдений в разделе 2 конкретного ежегодника может содержаться от 150 до 300 таблиц. Объём отдельной таблицы зависит от вида помещаемых в неё данных (набора параметров), а также и от количества культур и пунктов, данные которых помещаются в конкретный ежегодник.

Основные элементы таблиц ежегодника:

- код таблицы (главный номер и индекс);
- название таблицы;
- заголовок таблицы («шапка»);
- содержание таблицы (обобщённые и обработанные по определённым алгоритмам данные наблюдений);
- внутритабличные заголовки, представляющие подзаголовки в виде строк текстовой информации между данными,

относящимися к данным всех граф, расположенных ниже. В этих строках нет разделения на графы, они должны располагаться вне граф. Обычно это названия административных областей, названия сельскохозяйственных культур, сведения о почвенных разрезах для определения агрогидрологических свойств почвы и прочее;

Информация в различных таблицах представлена в числовом и текстовом форматах, возможны сноски и примечания.

3. Этапы разработки программного обеспечения комплекса АГРО-ЕЖЕГОДНИК

Разработка программно-технологического комплекса АГРО-ЕЖЕГОДНИК проводилась в несколько этапов. Данные этапы включали в себя:

- проработку методических основ;
- уточнение структуры и формирование информационной составляющей: справочных таблиц (кодификаторов), управляющих таблиц; структуры таблиц, содержащих данные наблюдений и отчётной продукции;
- разработку алгоритмов формирования таблиц ежегодника;
- разработку программных модулей формирования таблиц и рабочего стола ПТК АГРО-ЕЖЕГОДНИК.

3.1. Методическая основа

До 2018 года на сети Росгидромета формирование агрометеорологического ежегодника производилось средствами устаревших комплексов AMFD2 и AGRO под управлением MS DOS [9], при этом на станциях и постах информационные работы не были автоматизированы, и данные наблюдений заносились в компьютер в ЦГМС или УГМС. Отдельные параметры, как например дата наступления мягкопластичного состояния почвы, в электронные таблицы ежегодника заносились вручную.

Комплексы AMFD2 и AGRO создавались в соответствии с РД 52.33.224–1987 «Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника», модернизировались в соответствии с разработанными ФГБУ «ВНИИСХМ» в 2006 г. «Изменениями № 1 РД 52.33.217–99 «Наставление гидрометеорологическим

станциям и постам, выпуск 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть I. Основные агрометеорологические наблюдения. Книги 1 и 2» [10] и РД 52.33.725–2010 «Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника для земледельческой зоны Российской Федерации» [6].

В процессе создания ПТК АГРО-ЕЖЕГОДНИК возникла необходимость в разработке и утверждении изменений к РД 52.33.725–2010, вызванная необходимостью:

- Адаптации действующего РД 52.33.725–2010 к новым автоматизированным технологиям сбора, обработки и накопления агрометеорологической информации, функционирующим на сети Росгидромета.

- Учёта вышедших и внедрённых в 2015 году Изменений № 2 РД 52.33.217–99 «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, выпуск 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть 1. Основные агрометеорологические наблюдения. Книги 1 и 2» [11]. В данных Изменениях были внесены изменения и уточнения в методики обработки отдельных видов наблюдений, уточнены и дополнены многие каталоги названий и шифров наблюдаемых параметров (например фаз развития сельскохозяйственных культур, полевых работ), которые присутствуют в описании методик расчётов и в заголовках таблиц РД 52.33.725–2010.

- Учёта предложений оперативно-производственных подразделений УГМС и ЦГМС по оптимизации трактовки и расчёта отдельных агроклиматических параметров, включаемых в агрометеорологический ежегодник. К таким параметрам относятся беззаморозковый период, дата наступления мягкопластичного состояния почвы (определяющая начало полевых работ), дата перехода среднесуточных температур через 0 °С, результаты наблюдений на посевах с кормовыми смесями и др.

- Уточнения критериев выборки экстремальных и рассчитываемых значений.

- Возобновления наблюдений в ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» за хлопчатником, началом наблюдений за новой перспективной культурой – сафлор.

- Введения измерения отдельных агрометеорологических величин на метеорологической площадке ежедневно, что не отражалось в прежних таблицах и введения таблиц с порядковым номером 90 с данными ежедневных наблюдений.
- Введения таблиц с порядковым номером 80, содержащих данные наблюдений, проводимых на участках с паром, зябью, залежью, стернёй, на поле после уборки пропашной культуры.
- Проведения редакции содержания и структуры (расположения и группировки параметров) таблиц ежегодника с целью оптимального представления материала пользователям.

Все указанные выше дополнения и изменения нашли отражение в документе «Изменение № 1 РД 52.33.725–2010 Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника для земледельческой зоны Российской Федерации» [7], разработанном ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», который введён в действие Приказом Росгидромета № 389 от 17.09.2018 года.

3.2. Информационная база

Информационная и в значительной степени справочная и сервисная составляющие (ССИ) формируются из массивов первичных данных наблюдений – БПД АРМ агрометеоролога-наблюдателя – файл *local.mdb* – [3]. ССИ дополняются разработчиками технологического комплекса необходимыми для обобщений по территории ЦГМС или УГМС сведениями, а также сервисной и управляющей информацией непосредственно для целей формирования ежегодника [4].

К справочной информации относятся таблицы, содержащие всевозможные кодификаторы и списки возможных обозначений видов данных, например **cult**, **addindex**, **kodif**, **stat**, **phases** и др.

К управляющей информации относятся таблицы, содержащие формализованно описанные условия, указывающие на особенности формирования отдельных агрегатов БПД и таблиц ежегодника, например **extindex**, **destblank**, **conditon**, **funcs**, **modify** и др.

Непосредственно данные наблюдений – таблицы с данными всех форм ввода данных с именами **fnnnn**, где *nnnn* – шифр, соответствующей формы ввода данных наблюдений.

3.3. Алгоритмы формирования таблиц ежегодника

Для разработки программ создания таблиц ежегодника подготавливались описания алгоритмов формирования для каждой таблицы ежегодника. Подготовка алгоритма заключается в формализованном описании процесса формирования для каждого параметра каждой таблицы ежегодника с указанием исходных параметров, их размещения в БПД, условий их идентификации, способа преобразования и других условий. Весь набор таблиц ежегодника (206 форм) подразделён на 20 типов. Для каждого типа таблиц разрабатывался типовой алгоритм в виде таблицы базы данных. Описание условий в каждом типе таблиц имеет свои правила и структуру. Для каждой из 206 форм таблиц ежегодника составлялось описание в соответствии с её типом.

Ниже приведён алгоритм формирования таблицы 11.3 агрометеорологического ежегодника «Высота и густота стояния растений ранних яровых зерновых культур в различные фазы развития».

Алгоритм формирования таблицы 11.3

blank_outE	col_outE	form_in	col_in	str_in	Усло- вие1	Усло- вие2	Усло- вие3	Усло- вие4
form 11-3	1	destblank	stat					
form 11-3	2	Stat	nm			col shifr=stat из destblank		
form 11-3	3	extindex	val	index=13	Пара- метр KK=1			
form 11-3	4	109	5	5	col 3=01	108 форма	col 4=13	col 5≥50
form 11-3	5	109	5	5	col 3=02	108 форма	col 4=03	col 5≥50. Помещать густоту в дату ближайшую к дате массового наступления фазы.
form 11-3	6	109	5	5	col 3=02	108 форма	col 4=04	col 5≥50
form 11-3	7	109	5	5	col 3=02	108 форма	col 4=04	col 5≥50
form 11-3	8	109	5	5	col 3=02	108 форма	col 4=19	col 5≥50

form 11-3	9	109	5	5	col 3=03	108 форма	col 4=05	col 5≥50
form 11-3	10	109	5	5	col 3=03	108 форма	col 4=06	col 5≥50
form 11-3	11	109	5	5	col 3=03	108 форма	col 4=07	col 5≥50
form 11-3	12	109	5	5	col 3=04	108 форма	col 4=07	col 5≥50
form 11-3	1	destblank	stat					
form 11-3	2	extindex	val	index=13				
form 11-3	13	111	4	1	col 3=01	108 форма	col 4=13	col 5≥50
form 11-3	14	111	4	1	col 3=02	108 форма	col 4=19	col 5≥50
form 11-3	15	111	4	1	col 3=02	108 форма	col 4=05	col 5≥50
form 11-3	16	111	4	1	col 3=03	108 форма	col 4=05	col 5≥50
form 11-3	17	111	4	1	col 3=02	108 форма	col 4=07	col 5≥50
form 11-3	18	111	4	1	col 3=03	108 форма	col 4=07	col 5≥50

3.4. Программные средства (ПС) ПТК АГРО-ЕЖЕГОДНИК

Программные средства (ПС) комплекса АГРО-ЕЖЕГОДНИК реализованы в операционной системе Windows на языке программирования Pascal (в среде разработки Borland Delphi 7), а также с использованием языка разметки HTML для структурированного вывода данных и языка запросов SQL для обращения к базе данных MS Access.

ПС представляют собой три независимых приложения с графическим интерфейсом **Station**, **YearReport** и **Logo**.

Приложение Station перенесено из комплекса ARMAGRO с наращиванием сервисными, алгоритмическими и программными средствами для формирования таблиц ежегодника. При этом сохранены функции ввода данных наблюдений в ПК, их обработка, получение отчётной продукции, накопление информации в БПД, благодаря чему комплекс может использоваться в ЦГМС и УГМС для централизованного занесения данных наблюдений на технический носитель и создания БПД по пунктам, не оснащённым

компьютерами. Приложение Station необходимо в ПТК АГРО-ЕЖЕГОДНИК также для редактирования в процессе критического контроля данных первичных наблюдений, присланных с наблюдательной сети, и подготовки их к формированию таблиц агрометеорологического ежегодника, а также последующей архивации баз первичных данных и баз данных отчётов в ЕГФД Росгидромета.

Приложение YearReport обеспечивает последующую, более сложную обработку данных, и получение таблиц ежегодника. Третье (Logo) служит для заставки ПТК.

Составление таблиц ежегодника по БПД – это процесс получения отчёта в виде двумерного массива строк – прямоугольной таблицы из X колонок/столбцов и Y строк/рядов. Для формирования отчёта выбираются данные из форм наблюдений под определёнными номерами, осуществляется их обработка по заданному алгоритму, часто довольно сложному. YearReport разбит на три независимых части. Подключаемые модули получения отчётов (МО) – модули DLL (pl_year.dll, pl_year2.dll, pl_year18.dll), внутри которых реализованы алгоритмы составления отчётов-таблиц, они отвечают за формирование всей отчётности в программе YearReport.

DLL – динамически подключаемая библиотека – специальный модуль, состоящий из набора функций (программный код) и ресурсов, которые могут совместно использоваться разными программами. При этом не важно, на каком языке написаны эти программы, они просто должны правильно обращаться к DLL. Для этого нужно знать интерфейс DLL (список его функций, способ передачи параметров в эти функции и получения результата, адрес или описатель для ресурса). Все эти модули расположены в поддиректории plugins программы YearReport. При запуске YearReport проверяет, какие совместимые модули присутствуют в подкаталоге plugins и запрашивает у найденных модулей набор отчётов, которые они могут формировать.

Для доступа к базам данных используют модуль доступа Interfacer.dll, разработанный для ПТК АГРО-ЕЖЕГОДНИК. Модуль доступа содержит функции получения форм наблюдений под нужными номерами, обработки данных в этих формах по условию, получения ключевых параметров форм (культура, номер участка

и т.д., список всех возможных параметров приведён в справочной таблице addindex в БПД) и др. Этим функциям достаточно для простых выборок данных, необходимых для формирования отчёта. Сам алгоритм отчёта должен быть реализован в МО.

Для создания нового МО программист должен уметь обращаться к функциям DLL в модуле Interfacer.dll и может создавать собственные DLL. Управляющая программа AccessReport при запуске составляет список всех МО из поддиректории plugins, а затем может вызывать функции конкретного МО для получения доступных в нём отчётов. Если МО не удовлетворяет требованиям к его интерфейсу, то он не будет загружен в AccessReport, и при попытке загрузки будет показано сообщение об ошибке.

Также для доступа к данным в нужном формате используются некоторые возможности MS Access, такие как создание запросов внутри БД и применение в таких запросах функций Visual Basic. Обращение извне к этим запросам происходит так же, как обращение к обычным таблицам.

Данная схема позволяет разрабатывать ПС формирования отчётов разными программистами, а также значительно упрощает процедуру обращения к БПД для выборки необходимых для отчётов данных.

Все отчёты программы AccessReport записываются в базу данных отчётов, а также дублируются в выбранную директорию в виде текстовых файлов в одном из форматов:

- 1) doc – формат MS Word;
- 2) htm – этот формат является «родным» для AccessReport, так как именно в нём первоначально создаётся отчёт, но такой файл может, кроме web-браузеров, также открываться в MS Word и OpenOffice/LibreOffice. Формат выбирается в зависимости от настроек AccessReport.

4. Генератор таблиц агрометеорологического ежегодника

Генератором отчётов обеспечивается дружественный интерфейс. Рабочий стол вызывается опцией главного меню <Ежегодник>.



Первое рабочее окно (рис. 2) содержит опции: **<Настройка>**, **<Ежегодник>**, **<База данных отчётов>**.

Опцией **<Настройка>** вызывается рабочее окно, которое появляется первым при вызове генератора таблиц (рис. 2). Окно содержит поля для вызова на экран раскрывающихся списков для выбора сельскохозяйственного года, за который формируется ежегодник, УГМС, областей, станций, по которым будут создаваться таблицы ежегодника (на рис. 2 справа от рабочего окна приведён пример раскрывающегося списка станций Самарского ЦГМС).

Опцией **<Ежегодник>** вызывается рабочее окно (рис. 3) с панелью инструментов (поля опции, кнопки, флажки), которыми обеспечиваются все действия по формированию таблиц ежегодника, вызова таблицы для редактирования, вывода на печать, сохранения таблицы в файле.

На панели инструментов имеются: поле для размещения перечня вариантов формирования таблиц, опция **<Внешний вид>**, вызываемое ею меню позволяет установить для создаваемого отчёта оптимальные с точки зрения пользователя вид, размер и цвет шрифта, толщину и цвет контуров таблиц; кнопки: **<Создать>**, которой инициируется формирование выбранного набора таблиц, **<Редактировать>**, которой можно вызвать созданную таблицу для

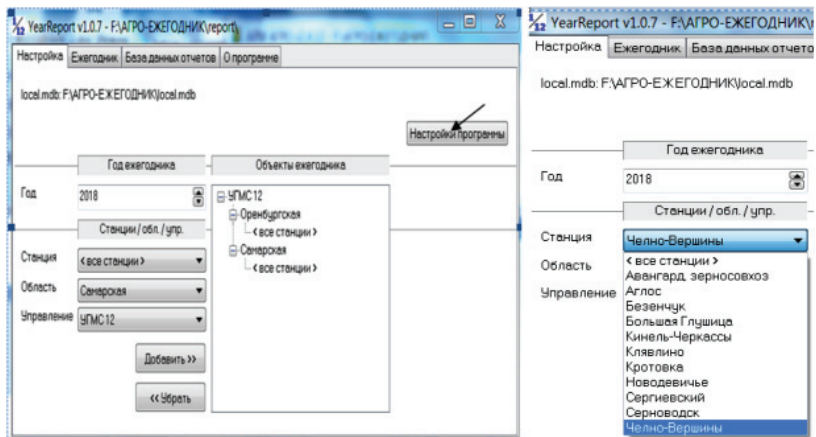


Рис. 2. Рабочее окно настройки генератора таблиц ежегодника

редактирования, <Печать>, флажок «После создания сохранять в файл».

В случае сбоя в процессе формирования таблиц проводится диагностика и выдаются сообщения о причине, вызвавшей сбой.

На рис. 3 представлены рабочие окна с фрагментами сформированной таблицы 10.3 раздела 2 «Агрометеорологическая информация» агрометеорологического ежегодника.

Для вывода на печать таблиц в среде генератора таблиц служит кнопка «Печать», с помощью которой вызывается меню печати, предоставляющее возможность определить условия для вывода на печать. Например, задать печатание нескольких копий или печать отдельных страниц и др.

YearReport v1.0.7 - F:\АГРО-ЕЖЕГОДНИК\report\

Настройка Ежегодник База данных отчетов О программе

Таблицы 3
Таблицы 4
Таблицы 5
Таблицы 6
Таблицы 7
Таблицы 10
Таблицы 11
Таблицы 12
Таблицы 13
Таблицы 14

Внешний вид

Создать Ежегодник за 2018 год

Редактировать Печать ☒ После создания сохранить в файл

Таблица 10.3
Высота и густота стояния растений озимых зерновых культур в различные фазы развития

Высота растений, см, при фазе развития

Станция, пост	Номер участка	3-й лист	кущение	до конца листа	выход в трубку	появление нижнего стеблевого узла	кошение	цветение	молочная спелость	длина колоса
Номер	Наименование				до отгиба верхнего листа				общая	
(6) Пшеница озимая Оренбургская										
28817	Троицкое Ас	23	15	16	23	9	22	47	59	59
28916	Шарлык	5	9	13	15	5	10	39	55	70
57654	Плещаново	1	11	18	22	9	25	53	57	63
57603	Курмановка	17	8	14	20	8	19	44	56	70
35011	Сорочинск	17	16	20	20	10	23	81	86	93
35015	Новосергиевка	4	11	7	9	5	11	37	50	72
(9) Рожь озимая										
57614	Северное	25	12		14	9	30	61	105	118
57653	Талпы	5	15	17	27	10	22	73	99	117
57656	Логановка	6	13	14	15	7	13	48	54	63
35022	Троицкое Т	29	15	17	21	7	18	56	66	137

Описание таблицы 10.3

Густота стояния, шт. / 1 м², при фазе развития

Станция, пост	Номер участка	растений	3-й лист	кущение	появление нижнего стеблевого узла	стеблей	стеблей с колосом	стеблей с колосом	молочная спелость
Номер	Наименование								
(6) Пшеница озимая Оренбургская									
28817	Троицкое Ас	23	383	546	589	590	577	582	567
28916	Шарлык	5	283	421	749	749	550	749	550
57654	Плещаново	1	386	683	636	644	470	647	476
57603	Курмановка	17	389	609	877	877	845	877	845
35011	Сорочинск	17	143	295	311	311	297	311	297
35015	Новосергиевка	4	219	496	512	801	718	798	789
(9) Рожь озимая									
57614	Северное	25	490		690	720	690	720	690

Рис. 3. Рабочее окно с фрагментом сформированной таблицы ежегодника

5. Возможность использования в ЦГМС БПД в оперативном режиме

Специалисты ЦГМС и УГМС имеют возможность запрашивать со станций файлы экспорта в течение года за любой период и формировать БПД по нужной территории. Это позволяет в любой декаде производить расчёты накопления сумм активных и эффективных температур, определять даты перехода среднесуточных температур через определённые значения (5 °С, 10 °С и т. д.), определять условия развития и формирования урожая сельскохозяйственных культур и использовать многие другие наборы функций при составлении декадных бюллетеней, агрометеорологических прогнозов, оперативных справок, для выявления предпосылок возникновения опасных (ОЯ) и особо опасных явлений (ООЯ).

Заключение

02.02.2018 года вышел приказ Росгидромета № 49 «О внедрении программно-технологического комплекса АГРО-ЕЖЕГОДНИК». В соответствии с данным приказом с 01.03.2018 года в производственную эксплуатацию ФГБУ УГМС внедряется ПТК АГРО-ЕЖЕГОДНИК. Применение устаревших технологий AGRO и AMFD2 при создании фонда агрометеорологических данных и таблиц агрометеорологического ежегодника отменяется.

Специалисты-обработчики сообщают, что освоение комплекса прошло в целом успешно, и работы в текущей конфигурации ПТК АГРО-ЕЖЕГОДНИК освоены в полном объёме. ПТК АГРО-ЕЖЕГОДНИК значительно облегчает формирование таблиц и сокращает затраты времени на получение ежегодника, а проверка составленных таблиц в последней обновлённой версии показала высокое качество и универсальность созданного ПТК по формированию БПД и агрометеорологического ежегодника.

Комплекс АГРО-ЕЖЕГОДНИК – это развивающаяся система. С учётом нужд сети и интеграции технологических решений в комплекс включаются технологии разрабатываемых новых методик наблюдений, методик проведения анализа и контроля информации. Производится модернизация с учётом изменений и дополнений в отраслевых РД (наставления, методические указания).

В настоящее время разрабатывается перевод программных модулей комплекса из среды платной разработки Delphi в открытую среду разработки программного обеспечения Lazarus. Разрабатывается возможность использовать в качестве СУБД не только MS Access, но и другие СУБД (PostgreSQL, SQLite), возможность использования ОС из семейства Linux/UNIX, возможность сохранять отчёты в виде файлов формата LibreOffice/OpenOffice без необходимости установки офисных пакетов, таких как MS Office, LibreOffice или OpenOffice.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романенко Л. И., Сомова С. М., Згура А. Ю. Развитие и внедрение автоматизированных технологий сбора и обработки режимной агрометеорологической информации // Труды ГУ «ВНИИСХМ». 2013. Вып. 38. С. 357 – 366.
2. Программный комплекс автоматизированного рабочего места агрометеоролога-наблюдателя (ARMAGRO). URL: <http://meteo.ru/it/130-armagro> (дата обращения: 26.05.2020).
3. Романенко Л. И., Згура А. Ю., Шевченко А. И. Автоматизированное рабочее место агрометеоролога (ARMAGRO) // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 146 – 163.
4. Романенко Л. И., Згура А. Ю., Пуголовкин В. В. Технологическая основа создания программных средств формирования агрометеорологического ежегодника на базе АРМ агрометеоролога-наблюдателя // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 102 – 111.
5. Романенко Л. И., Згура А. Ю. Средства контроля качества агрометеорологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 90 – 104.
6. Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника для земледельческой зоны Российской Федерации. Обнинск, 2010. 141 с.
7. Изменение № 1 РД 52.33.725–2010 Методические указания по составлению агрометеорологического ежегодника для земледельческой зоны Российской Федерации. Обнинск, 2018. 59 с.
8. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, выпуск 11, часть 1, книги 1 и 2. М.: Росгидромет, 2000. 630 с.
9. Романенко Л. И. Состояние разработок и внедрений автоматизированных систем сбора, обработки и накопления режимной агрометеорологической информации // Труды ГУ «ВНИИСХМ». 2010. Вып. 37. С. 228 – 243.
10. Изменение № 1 РД 52.33.217–99 «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, выпуск 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть I. Основные агрометеорологические наблюдения. Книги 1 и 2». М., 2006. 53 с.
11. Изменение № 2 РД 52.33.217–99 «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, выпуск 11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть I. Основные агрометеорологические наблюдения. Книги 1 и 2». Обнинск, 2015. 87 с.

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 186

Подписано к печати 08.12.2020 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 12,67. Тираж 300 экз. Заказ № 41.

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

УДК 551.524.3 (470 + 571)

Климатические характеристики заморозков на территории России. Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 5 – 20.

По ежедневным данным о температуре воздуха на 488 метеорологических станциях России за период от начала наблюдения на станции до 2018 г. проведено исследование пространственного распределения основных характеристик заморозков: числа дней с заморозком, продолжительности безморозного периода, дат последнего заморозка весной и первого заморозка осенью.

Анализ полученных результатов позволил выявить региональные особенности распределения данных характеристик и их изменения на территории РФ. На фоне глобального потепления уменьшение безморозного периода наблюдается в северных областях ЕТР и центральных районах Западной Сибири, а наиболее значительное увеличение безморозного периода отмечается в центральных областях ЕТР и на Чукотке.

Полученные данные могут быть использованы в агропромышленном комплексе для рационального размещения сельскохозяйственных культур, выработки эффективных и своевременных адаптационных мер от неблагоприятных погодных условий и изменений климата.

Ключевые слова: заморозки, продолжительность безморозного периода, дата последнего заморозка весной и первого заморозка осенью.

Ил. 7. Библиогр. 13.

УДК 551.576.1:551.58

Описание базы данных «Срочные данные о границах облачных слоёв, восстановленных по результатам радиозондовых наблюдений температуры и влажности на 58 станциях территории Российской Федерации и соседних регионов». Черных И.В., Алдухов О.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 21 – 34.

База данных содержит информацию о границах облачных слоёв, восстановленных по срочным радиозондовым наблюдениям в слое атмосферы от уровня земли до высоты 10 км, проводимых на 58 станциях территории РФ и соседних регионов за период 1964 – 2018 гг. Они получены с использованием СЕ-метода, разработанного для определения границ и количества облачности по профилям температуры и влажности на основе данных срочных радиозондовых наблюдений. Данные могут быть использованы для проведения прикладных и исследовательских работ по изучению климата и его изменений.

Ключевые слова: облачные слои, вертикальная макроструктура, данные радиозондирования атмосферы.

Табл. 3. Библиогр. 32.

УДК 551.501 551.508

Специализированные электронные климатические информационные продукты для адресного обслуживания пользователей. Колкер А.Б., Гочаков А.В., Воронина Л.А., Белая Н.И., Брусенко Е.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 35 – 45.

В статье приводится описание работы автоматизированной технологии обработки информационных потоков, поступающих в автоматизированный центр сбора гидрометеорологических данных (АСПД) по каналам связи, и создание специализированной климатической информационной продукции для адресного обслуживания пользователей на базе СУБД-, Web-технологий. Цель данной работы – создание автоматизированной технологии формирования по станциям ранжированных рядов экстремально тёплых (холодных), сухих (влажных) лет, лет с самым низким (высоким) давлением.

Ключевые слова: автоматизированные информационные технологии, климатические данные, электронный архив ранжированных рядов температуры воздуха, осадков, давление на уровне моря, давление на уровне станции в декадном и месячном разрешении.

Ил. 5. Библиогр. 7.

УДК 551.58 + 004.6

Создание массивов данных о среднесуточной и среднемесячной температуре воздуха на метеорологических станциях мира на основе источников открытого доступа. Шерстюков Б.Г. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 46 – 56.

Выполнен анализ содержания и полноты двух зарубежных архивов данных наблюдений за температурой воздуха на метеорологических станциях мира, описаны их технические особенности и трудности прямого использования в работе по анализу климата Земли (архивы NCDC и ECA). Обнаружено, что данные по одной станции за разные интервалы лет, как правило, представлены в архивах отдельными файлами, а в списке станций помечены как разные станции. Выполнено слияние временных отрезков ряда, принадлежащих одной станции, в единый ряд. Устранены некоторые ошибки в списке станций. После сопоставления двух архивов выполнено слияние станций дублёров, с целью заполнения пропусков в каждом из них. Создан объединённый массив суточной и месячной температуры воздуха для исследований климата

Ключевые слова: температура воздуха, данные наблюдений, архив, метеорологические станции.

Ил. 3. Библиогр. 8.

УДК 551.524

Гомогенизация климатических рядов на примере среднемесячной температуры воздуха. Финаев А.Ф., Разуваев В.Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 57 – 68.

В статье представлен обзор современных программных продуктов по выявлению (гомогенизации) неоднородности климатических рядов. Используя пакет RHtest, выполнена гомогенизация среднемесячной температуры воздуха для 518 метеорологических станций России. Получена статистическая информация о неоднородности рядов.

Ключевые слова: климат, метеорология, температура воздуха, гомогенизация, однородные ряды.

Ил. 7. Табл. 1. Библиогр. 19.

УДК 551.501.777 : 551.583

Интенсивность осадков: методы измерений, базы данных наблюдений, использование данных интенсивности осадков в исследовании климата и для решения прикладных задач. Швець Н.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 69 – 89.

В вопросах по дальнейшему исследованию климата важное место занимает изучение связи интенсивности экстремальных осадков и температуры в период глобального потепления. Важная роль в решении этой задачи отводится самим данным наблюдения. В настоящей статье приведены сведения о методах измерения интенсивности осадков, об имеющихся во ВНИИГМИ-МЦД базах данных наблюдений, об использовании метеорологических наблюдений за интенсивностью осадков в исследовании климата и в расчётах специализированных характеристик для различных отраслей экономики и жизнедеятельности.

Ключевые слова: климат, специализированная база данных, интенсивность осадков.

Ил. 5. Библиогр. 27.

УДК 551.465.7

О климатологии штормовых циклонов, выходящих на европейскую территорию России из различных районов генезиса. Вязилова Н.А., Вязилов А.Е. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 90–100.

Представлено исследование интегрального количества штормовых циклонов, выходящих на европейскую территорию России (ЕТР) из различных районов генезиса, в зимнюю и летнюю половины года за период с 1979 по 2018 г. Траектории циклонов рассчитаны автоматизированным методом на основе данных приземного давления реанализа-2 NCAR/NCEP DOE (США). К штормовым относились циклоны с максимальной скоростью ветра более 17,2 м/с, согласно шкале Бофорта. Представлены примеры траекторий штормовых циклонов, выходящих на ЕТР из различных районов генезиса. Показаны особенности межгодовой изменчивости количества штормовых циклонов за период исследования.

Ключевые слова: штормовые циклоны, штормовой ветер, районы генезиса циклонов.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр. 10.

УДК 551.521.11 (470 + 571)

Региональные особенности режима солнечного сияния на территории России в 2019 году. Клещенко Л.К. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 101–117.

Рассматривается географическое распределение месячных норм (средних многолетних значений за 1981–2010 гг.) продолжительности солнечного сияния и её относительных аномалий на территории России в 2019 году. Приводятся средние аномалии для физико-географических регионов и федеральных округов РФ.

Суммарная за год продолжительность солнечного сияния в среднем для территории России в 2019 г. была близка к норме, при этом зимой и летом наблюдалось преобладание отрицательных аномалий, а весной и осенью – положительных. Особенностью прошедшего года можно считать существенный дефицит солнечного сияния в европейской части страны зимой 2018/19 гг. (71 % от нормы), являющийся рекордным с 1961 года.

Анализ оценок линейного тренда показал, что метеорологические условия 2019 г. способствовали некоторому ослаблению положительных тенденций в многолетних изменениях продолжительности солнечного сияния: в среднем для территории РФ и её европейской части положительный тренд для 1976–2019 гг. несколько уменьшился.

Ключевые слова: мониторинг климата, продолжительность солнечного сияния, средние многолетние значения, географическое распределение, региональные средние, месячные и сезонные аномалии, оценки линейного тренда.

Ил. 5. Табл. 3. Библиогр. 8.

УДК 551.521.11:551.583.1

Оценки межгодовой изменчивости продолжительности солнечного сияния на территории России. Клещенко Л. К. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 118 – 125.

На основе созданного в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» архива получены оценки экстремумов (минимумов и максимумов) месячных сумм продолжительности солнечного сияния на метеорологических станциях РФ и разностей между ними, а также стандартных отклонений за период 1961 – 2018 гг. Рассмотрены сезонные особенности географического распределения полученных статистик. На основании анализа стандартных отклонений для двух периодов (1961 – 1990 и 1991 – 2018 гг.) сделан вывод об отсутствии ярко выраженных однонаправленных тенденций в изменениях межгодовой изменчивости продолжительности солнечного сияния на территории России в конце XX – начале XXI веков.

Ключевые слова: продолжительность солнечного сияния, экстремумы месячных сумм, стандартные отклонения, межгодовая изменчивость, географическое распределение.

Ил. 6. Табл. 2. Библиогр. 5.

УДК 004.02:551.4

Метод автоматического выявления систематических ошибок в системе обработки метеорологических данных. Степаненко С. Р., Шаймарданов М. З., Шевченко А. И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 126 – 141.

Изложен автоматический метод обнаружения и исправления систематических ошибок в метеорологических данных. Метод протестирован на фактических данных для среднемесячных значений температуры воздуха за период с 1896 по 2006 год на 166 станциях, взятых из Ежемесячника ч. 1, и для ежедневных данных уровней воды на 21 посту в бассейне реки Амур за 2000 – 2013 годы.

Ключевые слова: метеорологические данные, грубые систематические ошибки, автоматический метод контроля, статистические критерии, метод разложения полей, ежедневные значения уровней воды на реках.

Табл. 3. Библиогр. 19.

УДК 551.501:004

Обработка системой OMEGA данных, поступающих по каналам связи в коде BUFR. Сенова Л. Н. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 142 – 155.

В связи с переходом передачи гидрометеорологических данных по сетям ГСТ на таблично-ориентированные кодовые формы потребовалось создание специфического программного обеспечения для обработки информации, поступающей по каналам связи в кодах BUFR, которое было разработано в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и успешно внедрено в существующую технологию приёма и обработки оперативной информации OMEGA.

Ключевые слова: ГСТ, каналы связи, оперативные данные, BUFR, ТОКФ, база данных.

Ил. 2. Библиогр. 8.

УДК 004.6:551.5:004.9

Система контроля целостности массивов гидрометеорологических данных. Колесников А.Е., Лобачев П.С., Колесникова А.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 156 – 162.

Работа посвящена построению системы контроля целостности массивов гидрометеорологических данных, содержащихся в системе АИСОРИ РСБД. Содержит постановку задачи, описание используемых инструментов, описание алгоритма работы системы контроля целостности и результаты, полученные в ходе выполнения работы.

Ключевые слова: Росгидромет, ЕГФД, язык описания данных (ЯОД), режимно-справочные банки данных (РСБД), контроль целостности.

Ил. 1. Библиогр. 6.

УДК 004.6 : 551.5 : 004.9

Система взаимной конвертации данных различной структуры для обслуживания потребителей ЕГФД. Перетяцько Л.О., Кофтан Ю.Р. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 163 – 175.

Статья посвящена результатам работы первой версии системы взаимной конвертации (СВК) данных различной структуры для обслуживания потребителей ЕГФД. Реализована взаимная конвертация данных иерархической и реляционной структур и некоторые алгоритмы контроля адекватности конвертированных данных. Содержит описание структуры и алгоритмов разработанной системы, анализ результатов её работы и предложения по дальнейшему развитию системы.

Ключевые слова: система конвертация данных, язык описания данных (ЯОД), структура системы, алгоритмы конвертации, методы проверки адекватности, процесс конвертации.

Ил. 15. Библиогр. 5.

УДК 551.501 : 004

Web-технологии доступа к ЯОД-архивам. Зверева Г.Н., Мирзеебасов О.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 176 – 185.

Программный комплекс Web АИСОРИ М был разработан с целью повысить надёжность доступа к специализированным массивам данных. Комплекс представляет собой Web-приложение Java, позволяющее авторизованным пользователям формировать запросы по выборке данных. Сформированный запрос вместе со списком станций передаётся для дальнейшей обработки программе непосредственного доступа к данным. В случае успешного завершения процесса пользователь может просмотреть полученные данные или сохранить сформированный архив на своём компьютере. Действия пользователя автоматически фиксируются в системном журнале.

Разработанная технология доступа имеет достаточную степень универсальности и применяется для доступа к другим ресурсам.

Ключевые слова: Росгидромет, ЕГФД, удалённый доступ, Web АИСОРИ М, спецмассивы, язык описания данных (ЯОД), СУБД, РСБД, ЯОД-запросы, ЯОД-архивы.

Ил. 6. Табл. 2. Библиогр. 5.

УДК 681.518:551.5

Программно-технологический комплекс АГРО-ЕЖЕГОДНИК. Романенко Л.И., Згура А.Ю., Амельченко Е.В., Шевченко А.И. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 186 – 201.

Рассматривается программно-технологический комплекс АГРО-ЕЖЕГОДНИК, осуществляющий обработку информации, формирование таблиц агрометеорологического ежегодника из информации баз первичных данных (БПД) и Баз данных отчётов (БДО), полученных в пунктах наблюдений средствами ПТК ARMAGRO. Излагаются методическая основа, принципы построения программно-технологических средств, базовые средства, интерфейс генератора таблиц ежегодника.

Ключевые слова: агрометеорологический ежегодник, программно-технологический комплекс, база данных, методическая основа, генератор таблиц.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 11.

UDC 551.524.3 (470+571)

Climate characteristics of frosts over the Russian territory. Korshunova N.N., Davletshin S.G. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 5 – 20.

Spatial distribution of major characteristics of frosts (number of frost days, duration of frostless period, date of last spring frost and date of first autumn frost) was studied from daily air temperature data obtained at 488 Russian meteorological stations for the period from the onset of observations up to 2018.

The analysis of the results obtained made it possible to reveal regional peculiarities of the distribution of these characteristics and their changes over the Russian territory. In the face of global warming, the frostless period decrease is recorded in northern European Russia and central Western Siberia, while the most significant increase in frostless period is observed in central European Russia and Chukotka.

The data obtained can be used by agro-industrial complex for optimal distribution of agricultural crops and for taking effective and timely measures of adaptation to unfavourable weather and climate change.

Keywords: frosts, duration of frostless period, date of last spring frost and date of first autumn frost.

Fig. 7. Ref. 13.

UDC 551.576.1:551.58

Description of database «Hourly data on cloud-layer boundaries reconstructed from temperature and humidity radiosonde observations at 58 stations of the Russian Federation and the neighboring regions». Chernykh I.V., Aldukhov O.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 21 – 34.

The database contains information on the cloud-layer boundaries reconstructed from hourly radiosonde observations in the atmospheric layer from the ground surface to the 10-km height. The observations were conducted at 58 stations in Russia and the neighboring regions in the period 1964 – 2018. The data were obtained by using CE-method developed to determine the boundaries and amount of clouds based on temperature and humidity profiles that were obtained from hourly radiosonde observations. The data can be used in climate and climate change research and applied studies.

Keywords: cloud layers, vertical macrostructure, upper air data.

Tab. 3. Ref. 32.

UDC 551.501 551.508

Specialized electronic climate information products for user-targeted service.

Kolker A.B., Gochakov A.V., Voronina L.A., Belaya N.I., Brusenko E.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 35 – 45.

The paper describes the operation of automated technology for processing of information flows arriving at the Automated Hydrometeorological Data Transfer Center (ADTC) through communication channels, and the creation of specialized climate information products for targeted service of users based on DBMS- and Web-technologies. The purpose of this study is to create the automated technology for the formation of ranked arrays of extremely warm (cold), dry (wet) years, and years with the lowest (highest) atmospheric pressure.

Keywords: automated information technologies, climatic data, electronic archive of ranked series of air temperature and precipitation, sea level pressure, station level pressure in ten-day and monthly resolution.

Fig. 5. Ref. 7.

UDC 551.58 + 004.6

Creation of data sets on mean daily and mean monthly air temperature at meteorological stations of the world based on open access sources.

Sherstyukov B.G. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 46 – 56.

The analysis of the content and completeness of two foreign archives of air temperature observations at meteorological stations of the world is carried out. Their technical features and difficulties of direct use in analyzing the Earth's climate are described (NCDC and ECA archives).

It was found that the data for one station for different intervals of years are generally presented in archives as separate files, and in the list of stations these are marked as different stations. The merging of the time segments in the row that belong to one station into a single row is performed. Fixed some errors in the list of stations. After comparing the two archives, the backup stations were merged to fill in the gaps in each of them. A combined array of daily and monthly air temperatures for climate research is created.

Keywords: air temperature, observation data, archive, meteorological stations.

Fig. 3. Ref. 8.

UDC 551.524

Homogenization of climate data series with average monthly air temperature taken as an example. Finaev A.F., Razuvaev V.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 57–68.

The article provides an overview of modern software products intended to detect heterogeneity of climate data series (homogenization process). Homogenization of average monthly air temperature was done for 518 weather stations in Russia using the RHtest package. Statistical information on heterogeneity of data series was obtained.

Keywords: climate, meteorology, air temperature, homogenization, homogeneous data series.

Fig. 7. Tab. 1. Ref. 19.

UDC 551.501.777 : 551.583

Precipitation intensity: measurement techniques, observation databases, use of precipitation intensity data in climate research and in solving application problems. Shvets N.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 69–89.

In climate research, the study of the relation between extreme precipitation intensity and air temperature plays an important role under global warming. In solving this problem, a significant part is played by the observation data proper. The present paper describes precipitation intensity measurement techniques, observation databases held in RIHMI-WDC, and the use of meteorological observations of precipitation intensity in climate research and in calculations of specialized characteristics for different economic sectors and livelihoods.

Keywords: climate, specialized database, precipitation intensity.

Fig. 5. Ref. 27.

UDC 551.465.7

On climatology of storm cyclones entering European Russia from different genesis regions. Vyazilova N.A., Vyazilov A.E. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 90 – 100.

The paper presents the study of the integral number of storm cyclones entering European Russia from different genesis regions during winter and summer seasons in 1979–2018. Storm cyclone tracks were calculated based on automated cyclone identification and tracking algorithm using the 6-hourly SLP dataset from NCEP/NCAR DOE reanalysis. According to Beaufort scale, storm cyclones are those with the maximum wind speed higher than 17.2 m/s. Some examples of storm tracks in European Russia are represented on the maps. The features of the interannual variability of the storm cyclones number are shown.

Keywords: storm cyclone tracks, storm genesis region, storm wind.

Fig. 3. Tab. 2. Ref. 10.

UDC 551.521.11 (470 + 571)

Regional features of the sunshine regime on the territory of Russia in 2019. Kleschenko L.K. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 101 – 117.

Geographical distribution of monthly norms (average long-term values for the period 1981–2010) of sunshine duration and its relative anomalies on the territory of Russia in 2019 is considered. Average anomalies for physical-geographical regions and Federal districts of the Russian Federation are given.

The total annual duration of sunshine for the territory of Russia in 2019 was, on the average, close to normal, with the predominance of negative anomalies in winter and summer, and positive ones in spring and autumn. A specific feature of the past year can be considered to be represented by a significant deficit of sunshine in the European territory in the winter season 2018/19 (71 % of the norm), which has been a record since 1961.

The analysis of linear trend estimates showed that meteorological conditions in 2019 contributed to a slight weakening of positive trends in long-term changes of the sunshine duration: on average, for the territory of the Russian Federation and its European part, the positive trend for the period 1976–2019 slightly decreased.

Keywords: climate monitoring, sunshine duration, long-term average values, geographical distribution, regional means, monthly and seasonal anomalies, linear trend estimates.

Fig. 5. Tab. 3. Ref. 8.

UDC 551.521.11:551.583.1

Estimating interannual variability of sunshine duration over the Russian territory. Kleschenko L. K. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 118 – 125.

Extremes (minima and maxima) of monthly sunshine duration, the differences between these and standard deviations are estimated for the period 1961–2018 based on the RIHMI-WDC data archive. Seasonal specific features of geographical distribution of the statistics obtained are considered. From the analysis of standard deviations for the two periods (1961 – 1990 and 1991 – 2018) it is concluded that prominent unidirectional trends in interannual variability of sunshine duration are not found on the Russian territory in the late 20th – early 21st centuries.

Keywords: sunshine duration, extremes of monthly totals, standard deviations, interannual variability, geographical distribution.

Fig. 6. Tab. 2. Ref. 5.

UDC 004.02:551.4

Method of detection of coarse systematic errors in the meteorological data processing system. Stepanenko S. R., Shaimardanov M. Z., Shevchenko A. I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 126 – 141.

A method of automated detection and correction of systematic errors in meteorological data is described. The method has been tested and verified using actual mean monthly air temperature data for the period 1896 – 2006 at 166 stations that are taken from the Monthly Bulletin (Part 1) and daily water level data from 21 level gauges in the Amur River basin for the period 2000 – 2013.

Keywords: meteorological data, coarse systematic errors, automatic control, statistical criteria, method of decomposition of fields, daily values of river water levels.

Tab. 3. Ref. 19.

UDC 551.501:004

Processing of data arriving via communication channels in the BUFR code by using OMEGA system. Senova L.N. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 142 – 155.

Since hydrometeorological data came to be transmitted via GTS networks in table-oriented code forms, this made it necessary to create specific software for processing of data received through communication channels in BUFR codes. The software was developed at RIHMI-WDC and successfully introduced into the existing OMEGA technology of operational data reception and processing.

Keywords: GTS, communication channels, operational data, BUFR, database.

Fig. 2. Ref. 8.

UDC 004.6:551.5:004.9

Hydrometeorological data sets integrity monitoring system of. Kolesnikov A.E., Lobachev P.S., Kolesnikova A.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 156 – 162.

The work is devoted to the creation of a system for monitoring the integrity of hydrometeorological data arrays containing in the AISORI RSBD system. It contains the problem statement, description of the tools used and description of the algorithm of the integrity control system, as well as the results obtained in the course of the work.

Keywords: Roshydromet, UNIFIED STATE DATA FUND, data description language (DDL), reference databases (RSBD), integrity control.

Fig. 1. Ref. 6.

UDC 004.6:551.5:004.9

The system of mutual conversion of data of different structure for providing service to the Unified State Data Fund users. Peretyatko L.O., Koftan Yu. R. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 163 – 175.

The article is devoted to the results of the first version of the mutual conversion system (MCS) of hierarchical and relational data structure. It contains a description of the structure and algorithms of the developed system, the analysis of its results and suggestions for further development of the system.

Keywords: data conversion system, hydrometeorological data description language (DDL), system structure, conversion algorithms, methods of adequacy check, conversion process.

Fig. 15. Ref. 5.

UDC 551.501:004

Web Access to DDL-Archive. Zvereva G.N., Mirzeabasov O.A. Proceedings of the RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 176 – 185.

The Web AISORI M software package was developed to improve the reliability of access to specialized data sets. The package is a Java web application that allows authorized users to form data selection queries. The generated query along with the list of stations is passed to the direct data access program for further processing. If the process is completed successfully, the user can view the received data or save the generated archive. User actions are automatically recorded in the system log.

The access technology developed has a sufficient degree of universality and is applied to obtaining access to other resources.

Keywords: Roshydromet, remote access, Web AISORI M, specialized data sets, data description language (DDL), DBMS, DDL-queries, DDL-archives.

Fig. 6. Tab. 2. Ref. 5.

UDC 681.518:551.5

Software complex AGROMETEOROLOGIST-OBSERVER. Romanenko L.I., Zgura A.Yu., Amelchenko E.V., Shevchenko A.I. Proceedings of RIHMI-WDC. 2020. N 186. P. 186 – 201.

The subject of the article is the AGROMETEOROLOGIST-OBSERVER software complex. It processes information, creates tables of the agrometeorological yearbook from the information of the primary agrometeorological databases (PDB) and Report Databases (BDO), obtained from observation points by means of the Agrometeorologist's Automated Workstation (ARMAGRO). The methodological basis, principles of construction of software and technological tools, basic tools and interface of the Yearbook tables generator are described.

Keywords: software complex, databases, agrometeorological observations, basic methods.

Fig. 4. Tab. 1. Ref. 11.