

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

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



*Под редакцией
доктора физико-математических наук В. М. Шаймарданова
и доктора физико-математических наук А. М. Стерина*

ОБНИНСК
2026

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 д.ф.-м.н. В.М. Шаймарданов

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

Секретарь Т.В. Махова

*Члены редколлегии: д.т.н. Е.Д. Вязилов, к.г.н. Е.В. Гниломедов,
д.г.н. А.Д. Клещенко, к.г.н. Н.Н. Коршунова, д.ф.-м.н. А.Ф. Нерушев,
к.ф.-м.н. С.Г. Сивачок, д.ф.-м.н. С.О. Старков, д.г.н. Б.Г. Шерстюков,
к.ф.-м.н. А.В. Хохлова*

В сборнике содержатся статьи, подготовленные сотрудниками ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по некоторым из направлений деятельности института. Уделено внимание разработке и совершенствованию систем сбора и обработки гидрометеорологической информации, информационных систем Росгидромета. Освещаются проблемы обработки климатических данных, влияния изменений климата на природные системы, информационного обеспечения решения задач прикладной климатологии.

Сборник будет полезен специалистам в области автоматизации обработки и представления гидрометеорологической информации, заинтересованным в развитии систем сбора, обработки и архивации информации об окружающей природной среде, её использовании для уточнения представлений о структуре и изменениях климата и для решения задач прикладной климатологии.

The book contains papers on some of the RIHMI-WDC activity areas. The papers are prepared by the employees of the Institute. Special attention is given to the development and improvement of hydrometeorological data collection and processing systems and Roshydromet's information systems. The following problems are covered in the papers: climate data processing, impact of climate change on natural systems, and information support of solving the problems of applied climatology.

This collection will be useful to specialists in the field of automated processing and presentation of hydrometeorological information who are interested in the development of systems of environmental data collection, processing and archiving, the application of these data to clarify the ideas about the climate structure and change and to solve the problems of applied climatology.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Духов Е.В., Хохлова А.В.</i> Доработанный программный комплекс для определения климатических условий рассеяния в пограничном слое атмосферы в заданной точке по радиозондовым данным	5
<i>Воронцов А.А., Баталкина С.А.</i> Единая многоуровневая разномасштабная картографическая основа для применения в информационных системах Росгидромета.....	17
<i>Бурова М.С.</i> Влияние изменений климата на выращивание озимой и яровой пшеницы в Рязанской области.....	25
<i>Володин Р.В.</i> Исследование взаимосвязи между средним баллом облачности и основными метеопараметрами на территории Таймырского муниципального района.....	39
<i>Финаев А.Ф.</i> Результаты гомогенизации данных атмосферного давления на станциях Российской Федерации.....	52
<i>Амельченко Е.В., Амельченко В.А., Зубрицкая Е.Н., Гузеев Г.А.</i> Разработка кроссплатформенной автоматизированной системы сбора, обработки и накопления режимных данных наземных метеорологических станций Росгидромета с учётом увеличения дискретности наблюдений метеорологических параметров	65
<i>Гниломедов Е.В.</i> Современные и прогнозируемые изменения гидрологических характеристик рек Дальнего Востока и Забайкалья	81
<i>Воробьёва Л.Н., Санина А.Т.</i> Динамика воздействия неблагоприятных условий погоды и экономический эффект гидрометеорологического обеспечения сельского хозяйства.....	93
<i>Шерстюков А.Б.</i> Мониторинг температуры почвогрунтов России на глубинах до 320 см в 2021–2025 гг.	105

CONTENTS

<i>Dukhov E.V., Khokhlova A.V.</i> A modified software package for determining the climatic conditions of dispersion in the boundary layer of the atmosphere at a given point based on radiosonde data.....	5
<i>Vorontsov A.A., Batalkina S.A.</i> A unified multi-level multi-scale cartographic base to be used in Roshydromet information systems.....	17
<i>Burova M.S.</i> The impact of climate change on the cultivation of winter and spring wheat in the Ryazan region.....	25
<i>Volodin R.V.</i> Research of the relationship between the average cloud cover and the main meteorological parameters in the Taimyr municipal district.....	39
<i>Finaev A.F.</i> Results of atmospheric pressure data homogenization at hydrometeorological stations in the Russian Federation.....	52
<i>Amelchenko E.V., Amelchenko V.A., Zubritskaya E.N., Guzeev G.A.</i> Development of a cross-platform automated system for collecting, processing, and accumulating regime data from Roshydromet's ground-based meteorological stations, taking into account the increased discreteness of observations of meteorological parameters.....	65
<i>Gnilomedov E.V.</i> Current and projected changes in the hydrological characteristics of the rivers of the Far East and Transbaikalia	81
<i>Vorobyeva L.N., Sanina A.T.</i> Dynamics of the impact of adverse weather conditions and the economic benefit from hydrometeorological support of agriculture	93
<i>Sherstiukov A.B.</i> Monitoring of soil temperature in Russia at depths up to 320 cm in 2021–2025	105

УДК 551.554

ДОРАБОТАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАССЕЯНИЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В ЗАДАННОЙ ТОЧКЕ ПО РАДИОЗОНДОВЫМ ДАННЫМ

Е.В. Духов, А.В. Хохлова¹

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

Введение

При проектировании крупных потенциально загрязняющих объектов обычно требуется знание климатических условий в нижнем слое атмосферы, которые показывают, каким образом и куда будет распространяться примесь (аэрозоль, пыль, частицы сажи, различные химические соединения). Климатические условия рассеяния примеси характеризуются температурно-ветровым режимом и параметрами устойчивости атмосферы в пограничном слое. Наиболее полный набор климатических характеристик требуется при проектировании АЭС. В ряде документов регламентированы необходимые требования, в том числе перечислены характеристики температурно-ветрового режима и другие климатические параметры в пограничном слое, которые должны быть рассчитаны по многолетним данным наблюдений для точки, в которой проектируется строительство объекта [4, 6, 8]. Базовый набор этих параметров включает в себя следующее:

- *Ветровой режим в пограничном слое:*
 - средняя и результирующая скорости ветра на заданных высотах и в слоях;
 - распределение скорости ветра по направлениям в 8 и 16 румбах, средние скорости ветра в этих направлениях, с градациями по значению скорости ветра, на заданных высотах;
 - повторяемость штилей и слабых ветров.

- *Характеристики температурной стратификации и устойчивости атмосферы в пограничном слое:*
 - средние вертикальные градиенты температуры воздуха в заданных слоях;
 - повторяемость, интенсивность и мощность приземных температурных инверсий;
 - повторяемость, интенсивность и мощность приподнятых температурных инверсий в заданных слоях.
- *Комплексные характеристики:*
 - повторяемость категорий устойчивости атмосферы;
 - характеристики слоя перемешивания: высота, средняя скорость ветра и вертикальный градиент температуры;
 - совместная повторяемость скоростей и направлений ветра при разных классах устойчивости атмосферы на заданных высотах.

Определение этих характеристик производится на основе многолетних аэрологических данных, которые содержатся в массивах Госфонда АЭРОСТАБ и АЭРОСТАС [1, 3, 5]. Если в окрестности точки имеется аэрологическая станция, то необходимые параметры могут быть рассчитаны непосредственно по данным этой станции. При отсутствии близких станций используются данные реанализа [6, 7] либо комбинация аэрологических станций, расположенных в пределах радиуса корреляции метеорологических элементов. В последнем случае за каждый срок необходимо иметь данные зондирования с нескольких аэрологических станций. Эти данные затем интерполируются в требуемую точку. Формирование временных рядов синхронных наблюдений с ближайших станций по массиву АЭРОСТАС является отдельной задачей. В предыдущей работе авторов [2] было уделено особое внимание вопросу поиска ближайших наблюдений и их пространственной интерполяции, при этом для удобства работы и обеспечения быстрого поиска аэрологические данные массива АЭРОСТАС преобразованы в базу данных.

К настоящему времени программный комплекс доработан и может быть использован для определения климатических условий рассеяния примеси в пограничном слое в точке с заданными

географическими координатами по данным окружающих аэрологических станций.

Общая схема программного комплекса

Программный комплекс состоит из базы аэрологических данных и приложений, которые выполняют обработку данных, расчёт климатических параметров и их представление. Ключевыми элементами являются процедуры вертикальной интерполяции с сохранением формы исходных профилей и весовая пространственная интерполяция, учитывающая расстояние между станциями и расчётной точкой. Особое внимание уделяется повышению устойчивости расчётов в нижнем приземном слое, наиболее чувствительном к различиям между станциями и условиям приведения профилей к высоте расчётной точки, а также применению дополнительных процедур отбора данных при выполнении горизонтальной интерполяции, повышающих устойчивость расчётов в условиях неоднородности наблюдений.

Общая схема обработки включает следующие основные этапы:

- формирование набора аэрологических станций, используемых в расчёте;
- вертикальную интерполяцию профилей метеопараметров на каждой станции за каждый срок;
- пространственную интерполяцию полученных профилей в расчётную точку за каждый срок;
- анализ каждого температурно-ветрового профиля в заданной точке и вычисление требуемых метеорологических параметров за каждый срок;
- расчёт статистических характеристик по многолетним месяцам, сезонам и срокам за весь период;
- представление результатов.

Обновлённая база аэрологических данных

В ходе доработки программного комплекса были изменены структура и формат хранения аэрологических данных. В обновлённой версии базы данных расширен состав хранимой информации: в частности, уровни наблюдений могут храниться без

обязательной привязки к высоте, что позволяет учитывать данные, заданные только по давлению. Это повысило универсальность представления аэрологических профилей.

Сравнение характеристик исходной и обновлённой версий базы данных показало, что при увеличении объёма данных по времени наблюдений и числу записей удалось существенно сократить занимаемый дисковый объём за счёт устранения избыточных полей и оптимизации структуры хранения. В рамках оптимизации дата и время наблюдений были вынесены в отдельную таблицу, что позволило исключить их дублирование в записях профилей и дополнительно снизить объём хранимых данных.

В частности, количество уникальных дат наблюдений увеличилось с 73 321 до 108 982 на сентябрь 2025 года, а общее число записей (строк, уровней) — с 563 до 861 млн. При этом объём базы данных сократился с 66,5 до 43 ГБ.

На рис. 1 представлена архитектура базы данных.

Таблица `stations` предназначена для хранения справочной информации об аэрологических станциях и содержит их идентификаторы, географические координаты, высоту над уровнем моря, а также агрегированные характеристики объёма наблюдений и временных границ данных по каждой станции.

Таблица `datetimes_lut` предназначена для хранения уникальных дат и времени наблюдений. Вместо многократного сохранения одинаковых значений даты и времени в основной таблице каждому моменту наблюдения присваивается числовой идентификатор. Такой подход уменьшает объём хранимых данных.

Таблица `measurements` является основной таблицей наблюдений и содержит значения метеорологических параметров на отдельных уровнях: давление, геопотенциальную высоту, температуру, дефицит точки росы, направление и скорость ветра, а также показатели качества данных.

Таблица `processed_files` используется для хранения информации о файлах первичных данных, уже обработанных и загруженных в базу. Наличие данной таблицы позволяет контролировать процесс загрузки и предотвращать повторную обработку одних и тех же файлов.

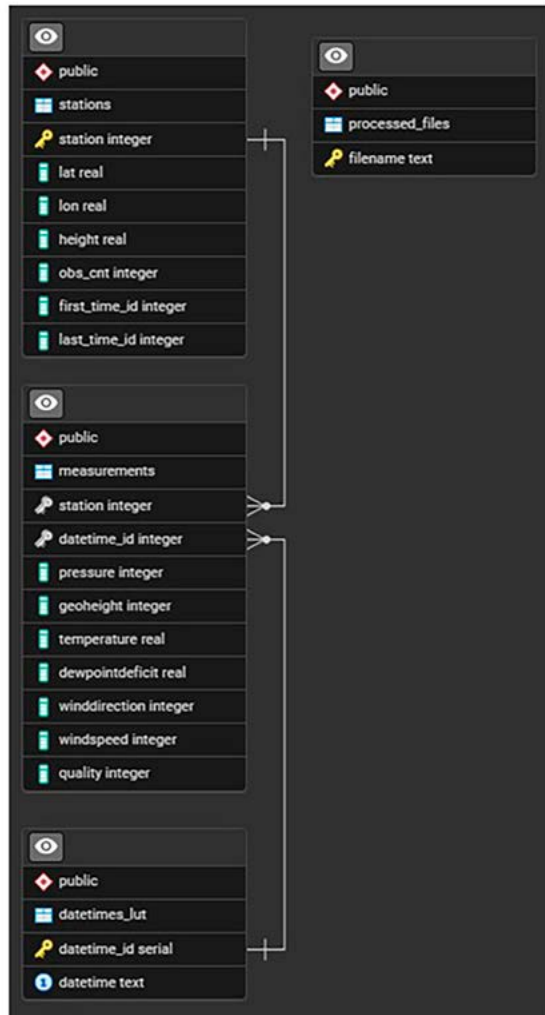


Рис. 1. Архитектура базы аэрологических данных

Таким образом, предложенная структура базы данных обеспечивает нормализованное хранение радиозондовых наблюдений, минимизацию избыточности, а также эффективную поддержку выборок по станции, времени и уровню.

Выполнение расчётов

Для интерактивной настройки и управления процессом расчёта в программном комплексе реализован графический интерфейс пользователя. Графический интерфейс обеспечивает полный цикл взаимодействия пользователя с программным комплексом, включая настройку параметров, запуск вычислений и контроль процесса расчёта без необходимости прямого обращения к конфигурационным файлам и внутренним структурам данных.

В каталоге установки программного комплекса размещён пакетный файл «Запуск», обеспечивающий инициализацию системы и загрузку графического интерфейса.

После запуска приложения отображается главное окно, содержащее следующие основные вкладки:

- **«Расчёт»**, предназначенная для отображения основной информации о текущей конфигурации и запуска вычислительного процесса. На данной вкладке пользователь видит координаты расчётной точки, высоту точки, параметры вертикальной интерполяции аэрологических данных, ограничения по давлению, максимальное расстояние до используемых станций, перечень выбранных аэрологических станций, а также пути к базе данных и каталогу формирования результатов. Таким образом, вкладка «Расчёт» выполняет роль сводного экрана, позволяющего перед запуском проверить основные исходные условия расчёта и запустить обработку данных.

- **«Настройки»**, предназначенная для задания параметров программного комплекса без ручного редактирования файла config.ini. На данной вкладке пользователь задаёт используемые аэрологические станции, координаты и высоту расчётной точки, минимальное давление вертикальной интерполяции, максимальное расстояние до станций и режим сохранения промежуточных файлов, а также отображаются пути к базе данных и каталогу отчётов. Перечень аэрологических станций, используемых в расчёте, задаётся пользователем вручную. Дополнительно во вкладке «Настройки» указывается максимальное расстояние до расчётной точки, позволяющее контролировать удалённость

выбранных станций. В расчёт включаются только станции, для которых имеются необходимые радиозондовые данные, пригодные для вертикальной и пространственной интерполяции. Также во вкладке настраиваются параметры температурных инверсий, слоя перемешивания и статистик ветрового режима: расчётные слои, сроки зондирования, градиенты, высоты и диапазоны скоростей ветра. Изменённые параметры можно сохранить или сбросить.

- **«Карта станций»**, обеспечивающая визуализацию сети аэрологических станций на географической карте и используемая для выбора станции или группы станций, по данным которых выполняются расчёты. Карта позволяет наглядно оценить пространственное распределение станций относительно точки расчёта, а также контролировать максимальное расстояние до используемых источников данных. Пример отображения карты станций приведён на рис. 2.

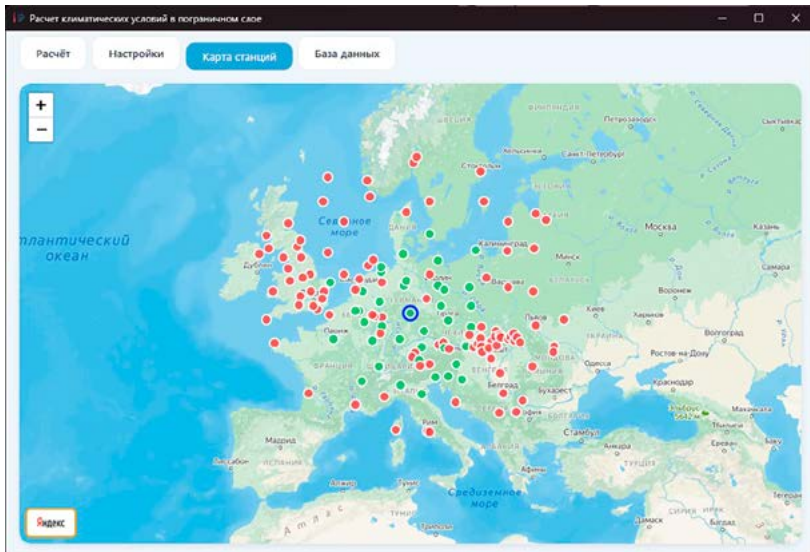


Рис. 2. Вкладка «Карта станций» графического интерфейса

На рисунке показаны станции, расположенные в окрестности точки с координатами 50,57° с.ш., 10,42° в.д., где расположена

аэрологическая станция Майнинген. Она выделена синим цветом. Зелёными кружками обозначены станции, данные которых пригодны для расчётов, красным кружкам соответствуют станции, находящиеся на больших расстояниях либо с неполными данными.

В результате обработки данных и выполнения расчётов программный комплекс генерирует выходные данные объёмом от 50 МБ до 2–4 ГБ. Конечный размер файлов зависит от пользовательской настройки и составляет ~50 МБ: если опция «Сохранять данные интерполяции» отключена, и 2–3 ГБ, если опция «Сохранять данные интерполяции» включена.

Для анализа и представления результатов формируется комплект из четырёх сводных Excel-файлов, содержащих статистики для разных временных периодов:

- месячную статистику;
- сезонную статистику;
- общую статистику за весь период;
- сводную таблицу.

Каждый из этих четырёх файлов имеет одинаковую внутреннюю структуру по 21 тематическому листу. Таким образом, общее количество листов для детального просмотра составляет 84 (4 файла × 21 лист). Параллельно для отчётности или документации формируется 21 отдельный файл в формате Microsoft Word, каждый из которых содержит оформленную таблицу, соответствующую одному из 21 тематических разделов.

Иллюстрация работы комплекса

Для проверки работы комплекса был выполнен ряд расчётов для двух контрольных точек, в качестве которых выбраны аэрологические станции Майнинген (50,57° с.ш., 10,42° в.д.) и Витим (59,43° с.ш., 112,56° в.д.). Станция Майнинген расположена в европейском регионе с густой аэрологической сетью. Станция Витим, напротив, расположена в сибирском регионе с бедным освещением. Климатические параметры, рассчитанные по данным окружающих станций для точек с координатами контрольных станций, сопоставляются с аналогичными параметрами, рассчитанными по данным этих станций.

Полный комплект выходных параметров имеет значительный объём, поэтому ниже приведены только некоторые результаты, иллюстрирующие работу комплекса:

- годовой ход результирующей скорости ветра на высоте 100 м (рис. 3);
- распределение скорости ветра по направлениям в 8 румбах за весь период времени на высоте 100 и 500 м (рис. 4);
- повторяемость штилевых условий ($V < 2$ м/с) на высоте 10 и 200 м (рис. 5);
- средний градиент температуры в слое перемешивания и повторяемость слоя перемешивания ниже 0,5 км (рис. 6).

Как можно видеть из рисунков, в целом климатические характеристики, определённые по интерполированным данным, адекватно отражают картину, построенную по данным измерений. Основную проблему, как было сказано ранее, представляет собой самый нижний слой, где могут иметь место существенные несоответствия, обусловленные в первую очередь рельефом, разницей в высоте станций над уровнем моря и локальными климатическими условиями.

Заключение

Созданный программный комплекс позволяет достаточно быстро выполнять расчёты параметров, необходимых для оценки климатических условий рассеяния примеси в пограничном слое атмосферы в произвольно заданной точке по данным ближайших аэрологических станций. Безусловным преимуществом комплекса является то, что он основан на специально созданной базе аэрологических данных, в которую включены только качественные данные. Это позволяет делать быструю выборку синхронных данных и выполнять их пространственную интерполяцию в требуемую точку.

Проверка работоспособности комплекса с использованием контрольных станций показала, что в целом интерполированные данные соседних станций адекватно отражают климатические условия в контрольных точках. Исключение может составлять только самый нижний слой атмосферы, особенно в тех случаях, когда окружающие станции расположены выше контрольной точки.

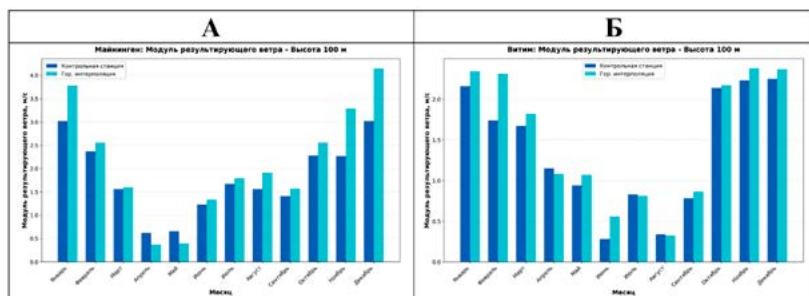


Рис. 3. Годовой ход результирующей измеренной (синий цвет) и интерполированной (голубой цвет) скорости ветра на высоте 100 м; А — контрольная станция Майнинген, Б — контрольная станция Витим

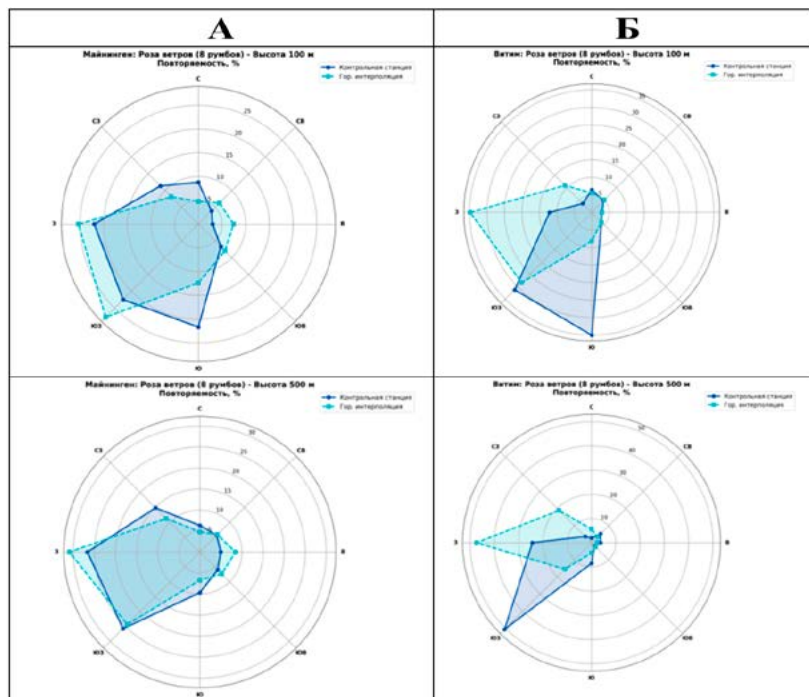


Рис. 4. Распределение по направлениям измеренной (синий цвет) и интерполированной (голубой цвет) скорости ветра на высоте 100 м (вверху) и 500 м (внизу); А — контрольная станция Майнинген, Б — контрольная станция Витим

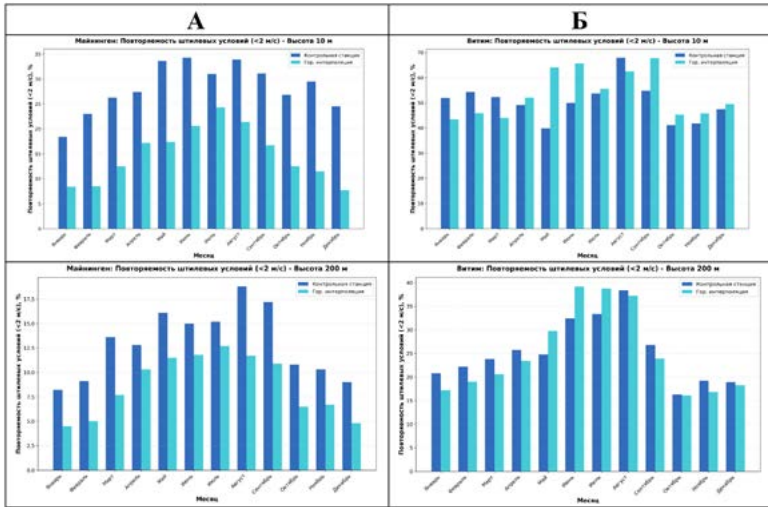


Рис. 5. Повторяемость штилевых условий ($V < 2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) по измеренной (синий цвет) и интерполированной (голубой цвет) скорости ветра на высоте 10 м (вверху) и 200 м (внизу); А — контрольная станция Майнинген, Б — контрольная станция Витим

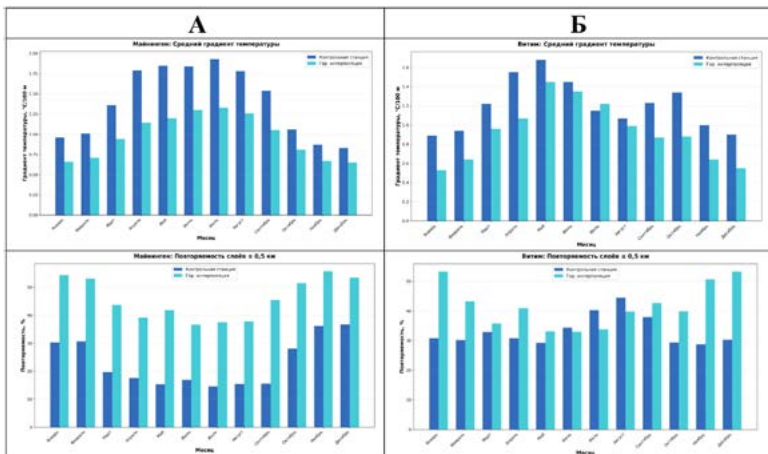


Рис. 6. Характеристики слоя перемешивания: вверху — средний вертикальный градиент температуры, внизу — повторяемость слоя перемешивания с высотой менее 0,5 км по измеренным (синий цвет) и интерполированным (голубой цвет) данным; А — контрольная станция Майнинген, Б — контрольная станция Витим

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Том 1: Контроль качества и обработка данных. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2013. 306 с.
2. Духов Е.В., Хохлова А.В. Программный комплекс для определения климатических условий рассеяния в пограничном слое атмосферы в заданной точке по радиозондовым данным // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2025. Вып. 193. С. 173–181.
3. Казначеева В.Д., Руденкова Т.В. Организация текущих аэрологических данных на магнитных лентах ЕС // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1985. Вып. 115. С. 91–108.
4. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере: справочное пособие / Под ред. Э.Ю. Безуглой. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 328 с.
5. Руденкова Т.В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.
6. Свод правил 151.13330.2012 Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть I: Инженерные изыскания для разработки предпроектной документации (выбор пункта и выбор площадки размещения АЭС). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103171?ysclid=licuwvb9qk534398427> (дата обращения: 12.02.2026).
7. Хохлова А.В., Лавров А.С. Программный комплекс для определения аэроклиматических условий рассеяния примеси в пограничном слое атмосферы по данным реанализа // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2023. Вып. 190. С. 121–128.
8. *Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting: a Safety Guide*. IAEA Safety Series. N 50-SG-S3. Vienna: IAEA, 1980. 108 p.

УДК 551.465

ЕДИНАЯ МНОГОУРОВНЕВАЯ РАЗНОМАСШТАБНАЯ КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОСНОВА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ РОСГИДРОМЕТА

А.А. Воронцов¹, С.А. Баталкина²

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

¹ av10921@meteo.ru, ² slim@meteo.ru

Введение

Единая многоуровневая разномасштабная картографическая основа (ЭКО) создана для формирования выходной продукции информационных систем Росгидромета [1] в виде тематических карт. ЭКО по Мировому океану и морям России основана на цифровых топографических картах (ЦТК), которые отвечают по содержанию стандартным топографическим картам на бумажной основе. ЭКО реализована в линейке масштабов на мир: 1:50000000, 1:10000000, 1:1000000 и на территорию России: 1:1000000, 1:500000. Покрытие номенклатурными листами территории России для масштаба 1:1000000 составляет 218 единиц, а для масштаба 1:500000 — 504. ЦТК соответствуют действующим государственным стандартам в области цифровой картографии.

Организация ЭКО

Основа ЭКО — это бумажные оригиналы карт, которые были оцифрованы и преобразованы в электронный вид, различные электронные карты, находящиеся в открытом доступе, данные масштаба 1:1000000 на основе обновлённого и дополненного ресурса цифровой карты мира DCW (Digital Chart of the World), карты различных форматов и масштабов.

Общая наполненность ЭКО включает в себя ГИС-проекты карт мира с полной нагрузкой по слоям масштабов 1:1000000, 1:10000000, 1:50000000, причём для применимости к морской тематике набор слоёв на мир масштаба 1:1000000 расширен за

счёт включения тематических данных по разделу «Навигационно-гидрографические условия».

ГИС-проекты карт России с полной нагрузкой по слоям масштабов 1:1000000 и 1:500000 были дополнены рядом тематических слоёв:

- исключительная экономическая зона РФ;
- территориальные воды РФ;
- зоны ответственности морских УГМС/ЦГМС;
- станции и посты наблюдений Росгидромета;
- трубопроводы;
- навигационно-гидрографические условия.

Единая многоуровневая разномасштабная картографическая основа для информационных систем содержит пространственные данные в формате файловой базы геоданных ArcGIS10 [2] в географической системе координат WGS84 и представлена в виде оформленных ГИС-проектов картографических основ с унифицированными настройками отображения данных для каждого масштаба.

Полный перечень слоёв пространственных данных ЭКО масштаба 1:1000000 приведён в табл. 1.

Таблица 1

Состав слоёв базы данных ЭКО масштаба 1:1000000

№ п/п	Объектный состав слоёв карты	Название слоя
1	Политико-административные границы (линии)	admlin_dcw
2	Страны и территории(полигоны)	admpol_dcw
3	Населённые пункты (точки)	poppnt_dcw
4	Населённые пункты (полигоны)	poppol_dcw
5	Аэропорты (точки)	aepnt_dcw
6	Железные дороги и пути (линии)	rrslin_dcw
7	Автодороги и пути (линии)	rdslin_dcw
8	Транспортные сооружения (линии)	rdclin_dcw
9	Трубопроводы	piplin_wld
10	Линии электропередачи (линии)	comlin_dcw
11	Гидрография (линии)	hdrlin_dcw
12	Гидрография (точки)	hdrpnt_dcw
13	Гидрография (полигоны)	hdrpol_dcw

Окончание табл. 1

№ п/п	Объектный состав слоёв карты	Название слоя
14	Отметки высот (точки)	rlhpnt_dcw
15	Ледники (полигоны)	rlfpol_dcw
16	Древесная растительность (полигоны)	vegppl_dcw

ЭКО текущей версии на территории Российской Федерации поддерживается в линейке масштабов 1:1000000 и 1:500000. Независимо от масштаба ЭКО имеет стандартный набор слоёв, структуру атрибутов и справочных таблиц (доменов).

Все слои организованы в соответствии с принятым для топографических карт делением на следующие тематические наборы данных:

- геодезическая основа (Geodesy) содержит разграфки карт crdpol соответствующего масштаба и координатные сетки crdlin;
- рельеф суши представлен слоями rlflin (рельеф, линии), rlfpnt (рельеф, точки), rlfpol (рельеф, полигоны), rhlhlin (горизонталь) и rlhpnnt (отметки высот поверхности земли);
- гидрография (Hydrography) включает слои hdrlin (реки и каналы линейного протекания), hdrpol (водоёмы и водотоки, выраженные в масштабе карты), hdrpnt (объекты гидрографии внемасштабной локализации); гидротехнические объекты — hdtpnt (точки), hdtlin (линии), hdtpol (полигоны); характеристики дна акваторий — hdcpnt (точки), hdcllin (линии), hdcpol (полигоны);
- населённые пункты (Settlements) включают объекты поселений и их структуру; данные представлены следующими слоями: poppnt — населённые пункты (точки), poppol — населённые пункты (полигоны), blkpol — структура поселения (полигоны), bldpnt — строения (точки), bldpol строения (полигоны);
- производственная и социальная инфраструктура (Economy) содержит объекты производственного и социального назначения, хранящиеся в слоях csrlin (линии), csrpnt (точки), csrppl (полигоны), comlin — линии связи и электропередачи, compnt — пункты и сооружения связи, riplin — трубопроводы и rirpnt — объекты обслуживания трубопроводов;

- транспортная инфраструктура (Transport) состоит из объектов дорожной сети и представлена слоями: rdslin — автодороги, rdspnt и rdspol — сооружения при автодорогах, rrslin — железные дороги и пути, rrspt и rrspol — сооружения при железных дорогах, а также rdclin и rdcpt — транспортные сооружения с линейной и точечной локализацией;

- растительность и грунты (Vegetation) включает слои veglin, vegpnt, vegpol, представляющие растительность линейной, точечной и площадной локализации, слои gndpnt, gndpol для грунтов с точечной и площадной локализацией и слой forlin — просеки в лесу;

- политико-административное деление (Administrative) содержит слой admpol, представленный единицами государственного и административного деления, а также слой admclin, хранящий границы этих объектов.

Все пространственные данные ЭКО разных масштабов хранятся в унифицированной структуре файловой базы данных.

Все базовые пространственные данные электронной картографической основы легли в основу формирования ГИС-проектов карт разных масштабов, на основе которых был разработан единый мультимасштабный геосервис ЭКО для практического использования в среде Интернет.

Для практической работы по морской тематике сформированы ГИС-проекты масштаба 1:500000, которые имеют определённый набор слоёв, представленный в табл. 2.

Таблица 2

Состав картографических слоёв для морей РФ масштаба 1:500000

Объектный состав слоёв карты	Название слоя
Номенклатурные листы ТК	crdpol500
Границы	admlin500
Территории	admpol500
<i>Группа слоёв ИНФРАСТРУКТУРА</i>	
Строения (точки)	bldpnt500
Объекты связи	compnt500
Объекты производственного назначения (точки)	csrpt500

Продолжение табл. 2

Объектный состав слоёв карты	Название слоя
Объекты инфраструктуры (точки)	csrpnt500
Объекты инфраструктуры (линии)	csrlin500
Линии связи и электропередачи (линии)	comlin500
Трубопроводы (линии)	piplin500
Объекты инфраструктуры (полигоны)	csrpol500
<i>Группа слоёв ГИДРОГРАФИЯ</i>	
Отметки глубин	hddpnt500
Изобаты	hddlin500
Гидрография (точки)	hdrpnt500
Гидротехнические объекты (точки)	hdtpnt500
Навигационные опасности (точки)	hdcpnt500
Гидротехнические объекты (линии)	Hdtlin500
Навигационные опасности (линии)	hdclin500
Гидрография (линии)	hdrlin500
Навигационные опасности (полигоны)	hdcpol500
Внутренние воды (полигоны)	hdrpol500
Морские акватории	hdrpol500
Острова (полигоны)	hdrpol500
<i>Группа слоёв ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ СТРУКТУРА</i>	
Города и пгт	poppnt500
Кварталы	blkpol500
Посёлки сельского типа	poppol500
Мелкие поселения	poppnt500
<i>Группа слоёв РЕЛЬЕФ</i>	
Отметки высот	rlhpnt500
Формы рельефа (точки)	rlfpnt500
Формы рельефа (линии)	rlflin500
Формы рельефа (полигоны)	rlfpol500
Ледниковые и мерзлотные формы	rlfpol500
Горизонталы	rlhlin500
<i>Группа слоёв РАСТИТЕЛЬНОСТЬ И ГРУНТЫ</i>	
Растительность (линии)	veglin500
Растительность (точки)	vegnt1000
Грунты (полигоны)	gndpol500
Леса густые высокие (полигоны)	vegpol500

Окончание табл. 2

Объектный состав слоёв карты	Название слоя
Прочая растительность (полигоны)	vegppl500
Номенклатурные листы ТК	crdppl500
Границы	admlin500
Территории	admppl500
<i>Группа слоёв ТРАНСПОРТ</i>	
Железнодорожные станции	rrspnt500
Транспортные сооружения (линии)	rdclin500
Автодороги	rdslin500
Железные дороги	rrslin500

Помимо базовых пространственных данных ГИС-проекты включают следующие тематические слои:

- слой административного деления РФ с кодами ОКАТО (okato);
- группа слоёв, характеризующих нефтегазовый комплекс РФ, куда входят трубопроводы (riplin), станции обслуживания трубопроводов (rippnt) и лицензионные участки (W6076_13_00);
- группа слоёв «Исключительные экономические зоны и территориальные воды РФ», куда входят слои Граница ИЭЗ РФ (econ_gran_RF), ИЭЗ РФ (econ_zona_RF), Граница территориальных вод РФ (terr_l) и Территориальные воды РФ (terr_p);
- группа слоёв «Зоны ответственности» имеет в своём составе слои Центры сбора данных УГМС/ЦГМС (centers_UGMS_CGMS), Границы зон ответственности морских УГМС (RRPPM_bnd), Зоны ответственности (RRPPM_sea).

В части дополнений в раздел ЭКО «Топография дна океанов и морей» тематическими пространственными данными принят набор векторных слоёв, содержащих линии изобат, точки отметок глубин и маски стандартных горизонтов. Слой изобат на Мировой океан был сформирован изолиниями, построенными по глобальной цифровой модели рельефа дна GEBCO-08 и уточнён по цифровой модели рельефа дна Северного Ледовитого океана IBCAO с 30-секундным разрешением. Также на основе цифровых моделей рельефа дна Мирового океана были построены маски стандартных горизонтов для морских акваторий.

Базовая картографическая основа для отображения тематических данных на унифицированной электронной карте реализована как единый мультимасштабный геосервис, который объединяет всю масштабную линейку ЭКО на мир и РФ с настройками отображения данных от глобального уровня до детального. Масштабная шкала сервиса состоит из стандартного ряда уровней отображения данных — от глобального охвата до отдельного участка территории или акватории. Каждый уровень имеет соответствующую заданному диапазону масштабов детальность настроек для отображения пространственных данных и их надписей. По содержанию геосервис ЭКО является общегеографическим и включает стандартные слои населённых пунктов, дорог, растительности, гидрографии и т.д. Каждый масштабный уровень геосервиса ЭКО организован как группа слоёв БД, настроенных на отображение в определённом диапазоне масштабов. Для оптимизации и ускорения отображения картографические сервисы ЭКО были кэшированы.

Применение ЭКО

В настоящее время сформированная картографическая основа в виде геосервиса ЭКО активно используется в ряде информационных систем Росгидромета.

В первую очередь ЭКО в своём стартовом состоянии была ориентирована на применение в федеральной государственной информационной системе Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [3] и реализована в виде набора векторных данных:

- векторные данные на мир в целом (данные глобального уровня) обеспечивали картографическую основу для обзорных тематических карт ЕСИМО;
- векторные данные на территорию России (данные регионального уровня — масштабы 1:1000000 и 1:500000) на базе ЦТК обеспечивали топографическую основу ЕСИМО как на Россию в целом, так и на отдельные морские акватории;
- данные цифровых моделей рельефа суши и дна акваторий служили дополнительным источником информации.

Далее наборы данных были преобразованы в базу пространственных данных ЕСИМО, которая стала основой для формирования единой многоуровневой разномасштабной картографической основы ЭКО.

Общий вид ЭКО, применяемый в информационных системах Росгидромета, можно видеть на портале ЕСИМО по адресу <http://portal.esimo.ru/portal/auth/portal/esimo-user/main>.

Необходимо также отметить, что в практике ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ЭКО широко применяется при подготовке различных справочных изданий, среди которых ведущее место занимают бюллетень гидрометеорологического состояния моря [4] и морской климатический справочник [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов Н.Н., Вязилов Е.Д., Воронцов А.А., Мельников Д.А. ЕСИМО — основа информационного обеспечения морской деятельности в России. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2025. 262 с.
2. Архив справки ArcMap. [Электронный ресурс]. <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/get-started/introduction/archived-arcmap-help.htm/> (дата обращения: 26.01.2026).
3. Михайлов Н.Н., Вязилов Е.Д., Воронцов А.А., Белов С.В. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане и её применение для информационной поддержки морской деятельности Российской Федерации // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2014. Вып. 177. С. 95–118.
4. Булыгин А.М., Воронцов А.А., Вишнев О.Г., Баталкина С.А., Нефёдова Г.И. Бюллетень гидрометеорологического состояния Чёрного моря в 2024 году. ISBN 9785605524304. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2025. 160 с.
5. Воронцов А.А., Нефёдова Г.И., Баталкина С.А., Булыгин А.М. Морской климатический справочник по Азовскому морю. [Электронный ресурс]. http://www.esimo.ru/atlas/spravochnik_azov/ (дата обращения: 09.12.2025).

УДК 551.582(470.313):(633.11.«321»+633.11.«324»)

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ВЫРАЩИВАНИЕ ОЗИМОЙ И ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

М.С. Бурова

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

Введение

Ведущей отраслью сельского хозяйства Рязанской области является растениеводство, которое отличается относительно большими размерами посевных площадей: в 2021 году вся посевная площадь составила 1082,4 тыс. га [10]. Для Рязанской области, обладающей значительным сельскохозяйственным потенциалом, любые долгосрочные изменения метеорологических параметров становятся факторами, ограничивающими реализацию этого потенциала в условиях климатической системы. Температурный режим и режим увлажнения имеют огромное значение для всей сельскохозяйственной сферы, они определяют устойчивость и продуктивность агроэкосистем. Прежде всего современная трансформация климата отмечает устойчивый рост сумм активных и эффективных температур, что существенно расширяет возможности для культивации более теплолюбивых сортов и гибридов, а в условиях недостаточного количества осадков рост температур выступает лимитирующим фактором урожайности. Рост дефицита влаги приводит к учащению атмосферных и почвенных засух. Параллельно с этим наблюдается значительное увеличение продолжительности безморозного периода и смещение сроков начала весенне-полевых работ, поэтому возникает необходимость адаптации и оптимизации агротехники.

Растениеводство Рязанской области во многом опирается на выращивание зерновых культур. В структуре посевных площадей Рязанской области в 2021 году на озимую и яровую пшеницу пришлось более 40 % от общего размера площадей в регионе.

Валовый сбор озимой и яровой пшеницы в 2021 году в РФ составил 76057,2 тыс. тонн; на Рязанскую область пришлось около 1,8 % — это 1436,3 тыс. тонн [10]. Целью данного исследования является изучение климатических условий Рязанской области с точки зрения их пригодности для выращивания основных сельскохозяйственных культур, повышения их урожайности в условиях изменяющегося климата.

Требования озимой и яровой пшеницы к климатическим условиям

Яровая пшеница не предъявляет высоких требований к температуре. Прорастание семян начинается при температуре +1...+2 °C, а появление всходов — при +4...+5 °C. Наиболее благоприятная температура для прорастания — +12...+15 °C. Несмотря на то что яровая пшеница может переносить непродолжительные заморозки, во время цветения и налива зерна растения яровой пшеницы могут повредить заморозки -1...-2 °C. Кущение проходит хорошо при +10...+12 °C, а в фазе колошения и молочно-восковой спелости — при +16...+23 °C. Яровая пшеница довольно устойчива к высоким температурам, особенно при наличии влаги в почве [4]. Замедление развития и снижение урожайности происходит при температуре +35 °C. Сумма активных температур (CAT) для яровой пшеницы составляет примерно 1600–1800 °C с момента появления первого листа до полной спелости. Потребление воды яровой пшеницей в течение вегетационного периода неравномерно: минимум (5–7 % общего потребления воды за вегетационный период) приходится на всходы и восковую спелость, а максимум (50–60 %) — на фазы выхода в трубку и колошения. Благоприятный рост и развитие яровой пшеницы возможны при весенних запасах влаги в метровом слое почвы не менее 100 мм [12].

Озимая пшеница потребляет больше влаги, чем яровая, лучше использует осенние и зимние осадки. Для получения достойного показателя урожайности требуются достаточные запасы влаги в метровом слое почвы, весенние составляют 200 мм, а на период колошения — не менее 80–100 мм. Потребление влаги в течение вегетационного периода неравномерно. Наибольшее количество

расходуется в период от весеннего прорастания до колошения (70 % общего потребления воды за вегетационный период) и наименьшее — от цветения до восковой спелости. Для роста озимой пшеницы от посева до полной спелости требуется сумма активных температур в диапазоне 1850–2200 °С. В разные периоды вегетации пшеница предъявляет различные требования к теплу. Зерно озимой пшеницы способно прорасти при температуре +1...+2 °С, но для быстрого появления всходов необходима температура +12...+15 °С. В зимне-осенний период пшеница чувствительна к низким температурам и резким колебаниям. Выход в трубку у озимой пшеницы наступает весной при температуре не менее +10 °С. В периоды колошения и восковой спелости растениям необходима температура +18...+20 °С, относительно высокие температуры воздуха наиболее благоприятны в это время. Озимая пшеница достаточно жаровыносливая и засухоустойчивая культура [3].

Данные

Для анализа климатических условий привлекались данные 10 метеорологических станций, расположенных на территории Рязанской области. Основу информационной базы составили ежедневные данные специализированного массива «Температура воздуха и количество осадков», доступного на сайте ВНИИГМИ-МЦД [2]. В качестве дополнительных справочных материалов использовалась электронная версия научно-прикладного справочника «Климат России», размещённая на том же ресурсе и содержащая статистические характеристики основных метеорологических параметров [6]. Расчёты среднегодовых температур воздуха, сумм активных и эффективных температур, а также годовых сумм осадков проводились по данным за весь период наблюдений на каждой станции вплоть до 2021 года.

Оценка влагообеспеченности вегетационного периода выполнялась с использованием двух комплексных агроклиматических показателей: гидротермического коэффициента (ГТК) Г.Т. Селянинова и индекса засушливости Д.А. Педя. Расчёт обоих индексов выполнялся на основе суточных данных о температуре воздуха и количестве осадков из специализированных массивов ВНИИГМИ-МЦД [2].

Для оценки изменений климата применялись стандартные климатические нормы за два тридцатилетних периода: 1961–1990 и 1991–2020 гг. — по основным метеорологическим параметрам (температура воздуха и атмосферные осадки).

Результаты

Климатические изменения на территории Рязанской области отмечаются не только в последние годы, но и в течение нескольких десятилетий. Особый вклад в повышение годовой температуры воздуха вносит зимнее потепление. При сравнении двух климатических норм (1961–1990 и 1991–2020 гг.) выявлено, что температура в зимние месяцы имеет положительный рост на всех станциях, отмечается повышение нормы на 0,1–2,2 °С. Наблюдается устойчивый рост среднемесячных температур в марте и апреле, что приводит к более раннему началу вегетационного

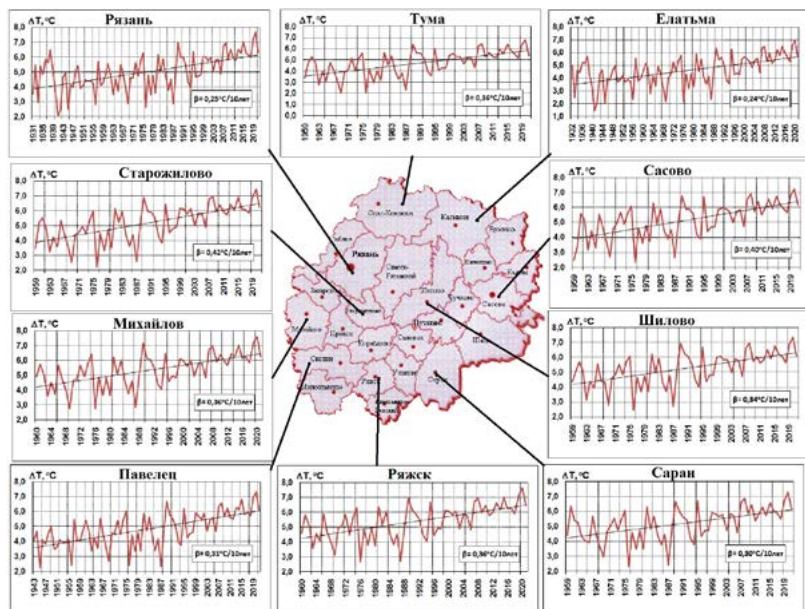


Рис. 1. Среднегодовая температура воздуха на метеорологических станциях Рязанской области

периода. Одновременно с этим потепление в октябре способствует удлинению безморозного периода, отодвигая сроки наступления первых заморозков. В совокупности эти факторы значительно увеличивают общую продолжительность вегетационного периода. Температурные нормы среднегодовой температуры воздуха в период с 1961 по 2020 год выросли на 0,4 °С. Коэффициенты линейного тренда изменяются от 0,24 °С/10 лет (Елатьма) до 0,42 °С/10 лет (Старожилово).

Повышение среднегодовой температуры влечёт за собой изменения ключевых параметров растениеводства. В своих исследованиях Д.И. Шашко [13] пришёл к выводу, что суммы температур за период вегетации являются более ценными агроклиматическими показателями. Сумма активных температур выше 10 °С характеризует теплообеспеченность вегетационного периода. Увеличение САТ создаёт предпосылки для внедрения новых агротехнологий.

В табл. 1 представлены данные по декадам тёплого периода. Агробиологические требования озимой и яровой пшеницы указывают на то, что благоприятным условием для их роста и развития является температура воздуха выше 10 °С. Переход между фенофазами возможен лишь при соблюдении оптимального температурного режима.

Таблица 1

Среднемноголетние суммы активных температур (°С) выше 10 °С

Название станции	Апрель			Май			Июнь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Тума	1,3	5,2	39,6	131,2	238,5	387,6	534,5	702,9	879,9
Елатьма	1,2	7,6	40,4	118,7	230,7	379,4	527,1	698,8	881,1
Михайлов	1,8	8,1	56,9	159,0	272,0	429,8	587,8	761,2	940,5
Рязань	1,0	8,9	53,6	140,6	255,3	404,4	558,6	731,9	915,8
Старожилово	1,9	9,4	56,8	157,5	275,1	438,2	595,9	769,9	951,8
Шилово	1,3	12,5	63,9	170,3	290,9	443,0	601,3	776,1	958,2
Сасово	2,1	12,2	61,5	167,1	285,7	446,2	605,7	783,7	970,1
Павелец	1,0	7,9	46,7	132,6	247,9	394,3	551,4	723,5	904,3
Ряжск	2,0	10,6	62,6	168,5	289,9	452,1	612,7	790,3	974,5
Сараи	2,0	12,2	66,1	170,2	291,9	449,6	607,8	781,7	962,3

Окончание табл. 1

Название станции	Июль			Август			Сентябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Тума	1061,0	1253,5	1463,6	1647,6	1814,9	1979,2	-	-	-
Елатьма	1067,5	1262,3	1474,4	1659,1	1832,3	1983,8	-	-	-
Михайлов	1125,9	1320,2	1533,9	1723,5	1901,2	2075,8	2167,2	-	-
Рязань	1102,5	1299,6	1512,6	1699,9	1877,9	2053,1	2090,8	-	-
Старожилово	1140,2	1335,9	1549,4	1739,8	1918,2	2092,8	2178,5	-	-
Шилово	1146,9	1342,5	1554,1	1741,3	1916,1	2089,7	2177,6	-	-
Сасово	1161,3	1362,4	1582,3	1775,9	1955,9	2131,3	2173,8	-	-
Павелец	1086,6	1280,6	1491,4	1677,8	1854,6	2029,8	-	-	-
Ряжск	1163,9	1362,0	1578,6	1771,0	1952,9	2131,0	2224,3	-	-
Сараи	1149,5	1348,4	1563,4	1754,5	1933,5	2108,1	2200,5	-	-

Примечание: «-» — расчёт для данного периода не производится.

Потребность культурных растений в тепле выражается биологической суммой температур, под которой понимают сумму среднесуточных температур воздуха за период вегетации данной культуры от начала роста до созревания [4]. В практических рекомендациях пороговым значением температуры для зерновых культур является средняя суточная температура 5 °С — именно она ограничивает вегетационный период этих культур [7]. Сумма эффективных температур (СЭТ) даёт более точную картину накопления тепла, необходимого для физиологического развития конкретного растения.

Данные из таблиц свидетельствуют о том, что метеостанции Рязанской области располагают достаточными суммами температур для возделывания озимой и яровой пшеницы. Равномерное накопление тепла без резких колебаний обеспечивает нормальное развитие растений и стабильное протекание процессов фотосинтеза. Рост САТ и СЭТ позволит выращивать на исследуемой территории более теплолюбивые сорта озимой пшеницы и ускорит созревание яровой. При условии повышения зимних температур обеспечиваются благоприятные условия для хорошей перезимовки озимой пшеницы и возобновления вегетации растений в холодный период года [1].

Таблица 2

Среднемноголетние суммы эффективных температур (°С) выше 5 °С

Название станции	Март			Апрель			Май			Июнь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Тума	-	-	0,3	4,7	23,8	66,4	136,3	215,5	324,0	428,6	548,5	676,4
Елатьма	-	-	0,3	4,2	21,8	61,8	126,8	210,7	319,0	425,9	549,6	682,5
Михайлов	-	-	0,7	6,7	28,4	74,8	150,8	235,0	349,7	462,1	586,2	716,8
Рязань	-	-	0,6	5,3	25,0	69,7	138,2	223,3	332,4	443,4	568,6	703,3
Старожилово	-	-	1,0	7,5	32,1	79,4	154,3	240,3	357,8	470,5	595,5	728,5
Шилово	-	-	0,5	7,1	31,8	79,5	154,6	241,6	352,1	464,9	590,5	723,5
Сасово	-	-	1,0	8,0	33,5	81,6	158,1	243,6	361,1	475,9	604,8	741,8
Павелец	-	-	0,3	5,2	23,5	65,5	133,3	218,3	325,7	437,8	562,2	694,0
Ряжск	-	-	0,9	6,9	31,2	79,5	156,5	245,6	363,6	478,0	606,3	741,5
Сараи	-	-	0,5	6,5	29,9	79,1	155,0	242,5	357,0	469,9	595,1	726,4

Название станции	Июль			Август			Сентябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Тума	808,3	950,8	1106,2	1240,4	1359,5	1473,0	1557,6	1616,5	-
Елатьма	819,4	964,3	1121,4	1256,4	1380,3	1500,5	1585,4	1646,6	-
Михайлов	852,5	997,0	1155,8	1295,4	1423,7	1545,2	1637,6	1705,9	-
Рязань	840,5	987,6	1145,7	1283,2	1411,7	1535,4	1626,5	1692,7	-
Старожилово	867,1	1012,8	1171,3	1311,9	1440,9	1563,0	1653,5	1721,3	-
Шилово	862,2	1007,8	1164,5	1301,7	1427,0	1548,1	1638,9	1705,5	1716,5
Сасово	883,4	1034,5	1199,3	1342,9	1473,3	1595,8	1689,0	1757,1	-
Павелец	826,9	970,8	1126,7	1263,3	1390,6	1514,4	1605,4	1671,1	-
Ряжск	880,9	1029,1	1190,9	1333,5	1465,9	1591,3	1686,3	1756,4	1770,8
Сараи	863,8	1012,7	1172,9	1314,2	1444,1	1566,1	1661,3	1731,2	1743,8

Примечание: «-» — расчёт для данного периода не производится.

Для успешного возделывания озимой и яровой пшеницы немаловажным фактором жизни растений является влага. В агроклиматической практике влагообеспеченность растения оценивают, исходя из сравнения количества выпавших осадков, выраженного в миллиметрах слоя воды [4].

Среднегодовая сумма осадков на территории Рязанской области составляет 504–629 мм (рис. 2). Основное потребление влаги приходится на май-июнь (во время весеннего прорастания до колошения) у озимой пшеницы [3], яровая пшеница активно

потребляет влагу в июне-июле с началом фазы выхода в трубку (в зависимости от сорта).

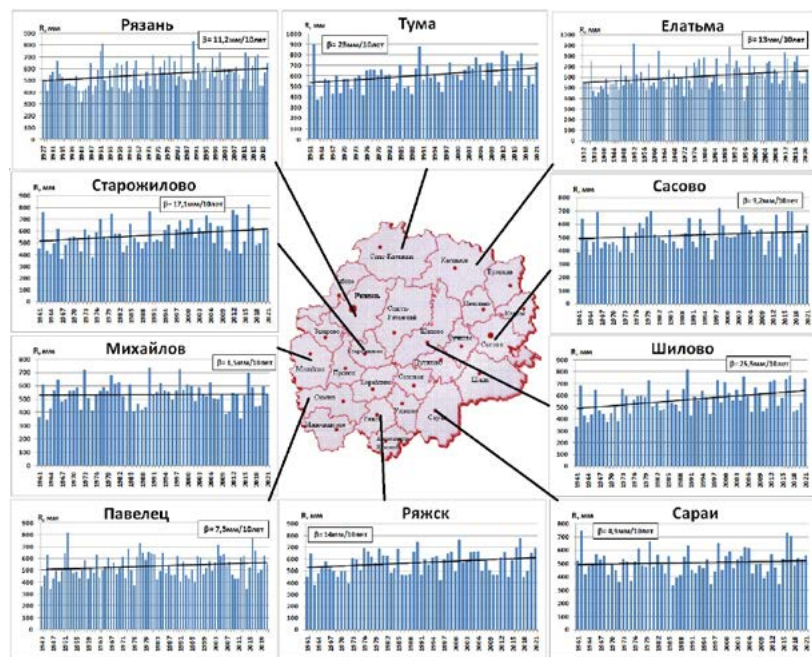


Рис. 2. Годовые суммы осадков на метеорологических станциях Рязанской области

Распределение количества осадков по месяцам соответствует требованиям культур и может обеспечить их нормальное развитие. В ходе наблюдаемых климатических изменений фиксируется перераспределение влагообеспеченности по сезонам, происходит увеличение объёма зимне-осенних осадков, в то время как в мае и июле отмечается тенденция к снижению их количества. На рис. 3 представлены суммы осадков в январе и июле за период с 1961 по 2021 год.

Поскольку период май–июль относятся к ключевым фазам вегетации [9], такое снижение несёт потенциальные негативные последствия в виде засух и дефицита влаги в наиболее важные

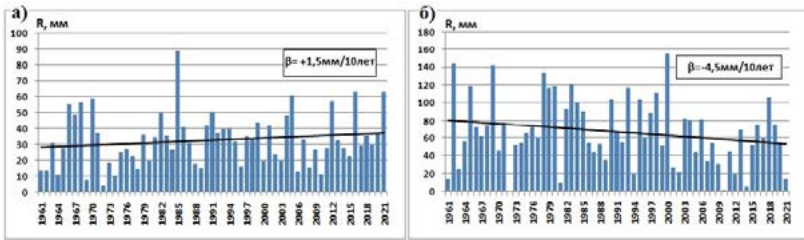


Рис. 3. Месячное количество осадков в январе (а) и июле (б) в г. Михайлов

периоды развития растений. Для объективной оценки необходимо прибегнуть к использованию комплексного показателя — гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова [8, 11]:

$$\text{ГТК} = \frac{\sum R}{0,1 \sum T},$$

где $\sum R$ — сумма осадков в мм за период со среднесуточной температурой воздуха выше 10°C , $\sum T$ — сумма среднесуточных температур выше 10°C .

В табл. 3 представлена повторяемость ГТК за период 1966–2021 гг. По текущим данным фиксируются неблагоприятные условия в начале и конце вегетации при относительно благополучной ситуации в середине лета. Май характеризуется как наиболее проблемный месяц — на всех без исключения станциях риск засухи превышает 50 %, достигая даже 70 %. Июнь и июль представляют собой «благоприятное окно» — в эти месяцы вероятность избыточного увлажнения достигает максимума (55–67 %), а риск засухи снижается до 25–50 %. Август и сентябрь демонстрируют возврат к засушливым условиям — риск снова возрастает до 40–69 %, причём увеличивается доля градации «очень засушливо» (до 29 %). Высокие запасы продуктивной влаги в почве способны компенсировать дефицит осадков в начале вегетации и снизить риск засухи даже при низких значениях ГТК.

Таблица 3

Повторяемость (%) атмосферных засух по ГТК Селянинова Г.Т.

Название станции	Градации	Месяц				
		Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Тума	Очень засушливо	27	8	16	12	27
	Засушливо	35	27	16	29	12
	Избыточно влажно	39	65	67	59	61
Елатьма	Очень засушливо	27	16	14	17	21
	Засушливо	28	29	24	33	23
	Избыточно влажно	46	55	62	50	56
Михайлов	Очень засушливо	24	12	16	16	16
	Засушливо	42	26	30	28	28
	Избыточно влажно	34	62	54	56	56
Рязань	Очень засушливо	21	20	13	18	19
	Засушливо	40	20	20	37	29
	Избыточно влажно	38	60	67	46	52
Старожилово	Очень засушливо	35	15	8	25	27
	Засушливо	23	23	38	25	25
	Избыточно влажно	42	63	54	50	48
Шилово	Очень засушливо	31	8	10	18	20
	Засушливо	35	27	24	31	37
	Избыточно влажно	35	65	65	51	43
Сасово	Очень засушливо	34	13	19	21	28
	Засушливо	36	32	28	38	15
	Избыточно влажно	30	55	53	40	57
Павелец	Очень засушливо	24	22	13	20	20
	Засушливо	32	20	28	35	33
	Избыточно влажно	44	59	59	45	48
Рязск	Очень засушливо	27	18	12	22	20
	Засушливо	39	24	33	35	29
	Избыточно влажно	35	57	55	43	51
Сараи	Очень засушливо	29	23	19	29	29
	Засушливо	35	17	33	40	23
	Избыточно влажно	35	60	48	31	48

Индекс засушливости Д.А. Педя — это показатель, который учитывает аномальные условия формирования засух, он не зависит от средних значений температуры и осадков, так как засуха определяется по отношению к ним [5]:

$$S_i = \frac{\Delta T}{\sigma T} - \frac{\Delta R}{\sigma R},$$

где ΔT , ΔR — аномалии температуры воздуха и осадков; σT , σR — среднеквадратическое отклонение.

В табл. 4 приведена повторяемость атмосферных засух по индексу засушливости Д.А. Педя для метеостанций Рязанской области, характеризующихся наиболее выраженной тенденцией к снижению летних сумм осадков. Важной особенностью Рязанской области является низкая частота сильных засух — эта наиболее опасная категория встречается с повторяемостью 0–7 % в отдельные месяцы, что свидетельствует об отсутствии катастрофических засушливых явлений. Слабая засуха наблюдается с частотой 10–28 %, особенно в мае, июне и августе. Средняя засуха встречается реже (5–14 %), но создаёт дополнительный стресс для растений. Суммарный риск всех категорий засух в критические месяцы достигает 30–40 %. Преобладание нормального увлажнения (38–61 %) создаёт базовые условия для успешного выращивания сельскохозяйственных культур, однако периодические засухи, особенно в мае-июне, требуют применения адаптивных агротехнологий.

Таблица 4

Повторяемость (%) атмосферных засух по индексу Д.А. Педя

Название станции	Градации	Месяц						
		Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.
Елатьма	Сильное избыточное увлажнение	2	5	3	3	5	2	2
	Среднее избыточное увлажнение	10	6	10	7	5	8	10
	Слабое избыточное увлажнение	13	14	17	20	15	17	15
	Нормальное увлажнение	52	45	39	42	47	45	51
	Слабая засуха	14	20	20	17	20	16	15
	Средняя засуха	8	7	7	7	5	8	7
	Сильная засуха	2	3	4	4	3	2	1
Михайлов	Сильное избыточное увлажнение	3	7	3	3	5	5	3

Продолжение табл. 4

Название станции	Градации	Месяц						
		Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.
	Среднее избыточное увлажнение	5	8	13	11	7	5	6
	Слабое избыточное увлажнение	13	7	18	16	13	21	11
	Нормальное увлажнение	52	47	30	44	48	40	53
	Слабая засуха	18	23	23	6	18	18	19
	Средняя засуха	8	7	11	16	10	11	5
	Сильная засуха	0	2	2	3	0	0	2
Старожилово	Сильное избыточное увлажнение	0	3	3	0	3	3	2
	Среднее избыточное увлажнение	8	11	7	13	2	8	7
	Слабое избыточное увлажнение	20	13	20	19	24	15	15
	Нормальное увлажнение	39	43	34	42	48	43	52
	Слабая засуха	24	20	28	11	13	18	21
	Средняя засуха	8	8	7	11	6	12	3
	Сильная засуха	0	2	2	3	3	0	0
Рязск	Сильное избыточное увлажнение	2	7	2	3	5	7	3
	Среднее избыточное увлажнение	7	7	7	13	3	7	5
	Слабое избыточное увлажнение	16	8	30	10	13	11	10
	Нормальное увлажнение	52	48	28	49	56	46	61
	Слабая засуха	15	25	23	13	15	18	16
	Средняя засуха	8	3	10	5	3	10	5
	Сильная засуха	0	3	2	7	5	2	0
Сараи	Сильное избыточное увлажнение	2	3	2	3	3	3	3
	Среднее избыточное увлажнение	5	7	8	8	7	7	7
	Слабое избыточное увлажнение	15	21	20	18	11	18	12
	Нормальное увлажнение	51	43	43	44	62	42	60

Окончание табл. 4

Название станции	Градации	М е с я ц						
		Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.
	Слабая засуха	20	16	16	13	7	17	15
	Средняя засуха	8	7	11	11	5	12	3
	Сильная засуха	0	3	0	2	5	2	0

Заключение

Территория Рязанской области пригодна для выращивания озимой и яровой пшеницы, однако в условиях постоянно изменяющегося климата наблюдаемое потепление вносит существенные коррективы в агротехнологию. Увеличение продолжительности периода с температурами выше определённых пороговых значений расширяет возможности для посадки более продуктивных и поздно созревающих сортов, а повышение температурного фона обеспечивает достаточное количество тепла не только для традиционных зерновых, но и для более теплолюбивых гибридов.

Тем не менее, помимо положительных сторон, климатические изменения несут и определённые риски. Мягкие зимы благоприятно скажутся на условиях перезимовки озимой пшеницы, но одновременно возрастает вероятность возобновления вегетации в зимнее время и снижения продуктивности культур за счёт постоянных колебаний температур, что делает подбор пригодных сортов просто необходимым.

Особое внимание следует уделить влагообеспеченности. Рост засушливости весенне-летнего периода обуславливает снижение урожайности в первую очередь ранних яровых культур. Однако слабая и средняя засуха в начале вегетационного периода может быть нивелирована при достаточном количестве запасов влаги в почве, что вполне вероятно, так как объём зимне-осенних осадков увеличивается и способен создать необходимый резерв. Благодаря этому озимые зерновые пострадают в значительно меньшей степени, чем яровые. В связи с этим создание и внедрение сортов растений, устойчивых к изменениям климата, например к засухам или высоким температурам, становится ключевым элементом стратегий адаптации современного сельского хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабушев А.В. Влияние времени прекращения осенней вегетации и возобновления весенней вегетации на урожайность твёрдой озимой пшеницы / А.В. Алабушев, А.С. Попов // Аграрный вестник Урала. 2015. № 11(141). 8 с.
2. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR) // URL: <http://meteo.ru/data/temperature-precipitation/> (дата обращения: 25.02.2026).
3. Марчик Т.П., Ефремов А.Л. Почвоведение с основами растениеводства: уч. пособие. Гродно: Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, 2006. 248 с.
4. Мищенко З.А. Агроклиматология: учебник. Киев: КНТ, 2009. 511 с.
5. Педь Д.А. О показателе засух и избыточного увлажнения // Труды ГМЦ СССР. 1975. Вып. 156. С. 19–38.
6. Разуваев В.Н., Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков А.Б., Швець Н.В., Давлетшин С.Г., Зверева Г.Н. // Научно-прикладной справочник «Климат России» // URL: <http://aisori-m.meteo.ru/> (дата обращения: 03.03.2026).
7. Руководство по агрометеорологическим прогнозам / Под ред. Е.С. Улановой, В.А. Моисейчик, А.Н. Полевого. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 309 с.
8. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Л., 1928. Вып. 20. С. 165–177.
9. Страшная А.И. Автоматизированная технология мониторинга и расчёта количества декад с почвенной и атмосферно-почвенной засухой под зерновыми культурами / А.И. Страшная, И.Э. Пурина, О.В. Чуб, О.И. Задорнова, Т.С. Чекулаева // Труды Гидрометцентра России. 2013. Вып. 349. С. 161–175.
10. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс] // ЕМИСС : единая межведомственная информационно-статистическая система. // URL: <https://www.fedstat.ru/> (дата обращения: 20.02.2026).
11. Хлебникова Е.И. Засухи. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Е.И. Хлебникова, Т.В. Павлова, Н.А. Сперанская. М.: Росгидромет, 2012. 141 с.
12. Шабанов В.В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и её расчёт. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 108 с.
13. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 248 с.

УДК 551.576.33(571.511)+551.508.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СРЕДНИМ БАЛЛОМ ОБЛАЧНОСТИ И ОСНОВНЫМИ МЕТЕОПАРАМЕТРАМИ НА ТЕРРИТОРИИ ТАЙМЫРСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА

Р.В. Володин

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

Введение

Арктический регион играет ключевую роль в глобальной климатической системе, выступая индикатором глобального потепления. Процессы изменения климата здесь протекают значительно быстрее, чем в среднем по земному шару, что подтверждается многочисленными наблюдениями и расчётами [1, 9, 10]. Например, наибольшая скорость роста среднегодовой температуры наблюдается на побережье Северного Ледовитого океана [3]. Рост среднегодового балла как общей, так и нижней облачности фиксируется в данных регионах ежегодно [5].

Облачность является одним из ключевых факторов в климатообразующем процессе, а также в регулировании радиационных потоков. С одной стороны, облака отражают приходящую солнечную радиацию, охлаждая земную поверхность, но, с другой стороны, облачность задерживает уходящее длинноволновое излучение, усиливая глобальную приповерхностную температуру воздуха [2]. Этот механизм взаимодействия определяет величину радиационного баланса атмосферы, которая зависит от альбедо поверхности, прозрачности воздуха и толщины облаков.

Для территорий с континентальными и островными условиями, к которым относится полуостров Таймыр, характерна высокая неоднородность атмосферных процессов ввиду разнообразия ландшафтно-географических условий: от арктических пустынь — на севере до лесотундры и тайги — на юге.

Целью данной работы является проведение корреляционного анализа для нахождения взаимосвязей между средним баллом общей и нижней облачности и основными метеорологическими параметрами на территории полуострова Таймыр.

Данные и методика

В исследовании использовались базовые массивы данных среднемесячных значений температуры, относительной влажности, давления над уровнем моря, упругости водяного пара, а также значений среднего балла общей и нижней облачности. Расчёт сезонных значений основных метеопараметров проводился путём осреднения месячных значений для 10 метеорологических станций (рисунок), расположенных на материковой территории Таймырского муниципального района за период 1985–2023 гг., которые содержатся в архиве Госфонда ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» ТМСМ (Текущая метеорологическая информация станций — месячные выводы) [4].



Рис. Расположение станций на территории Таймырского муниципального района

Для оценки взаимосвязи между средним баллом облачности и метеорологическими параметрами в работе применялся корреляционный анализ как один из основных методов выявления статистических зависимостей. В исследовании применялись два коэффициента корреляции — Пирсона и Спирмена, что позволило провести сравнительную оценку линейных и монотонных связей [8].

Коэффициент корреляции Пирсона (r) рассчитывался для определения силы линейной зависимости между непрерывными переменными. Данный метод применим при условии нормального распределения данных и линейного характера связи.

Математически коэффициент вычисляется по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

где x_i и y_i — значения переменной i -го наблюдения ($i = 1, 2, \dots, n$); $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — средние арифметические значения; n — объём выборки.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ или r_s) использовался как альтернативный непараметрический метод, менее чувствительный к выбросам и нарушению предположения о нормальности распределения. Он оценивает монотонную связь, основываясь на рангах наблюдений, а не на фактических значениях. Это делает его более надёжным при работе с метеорологическими данными, содержащими аномалии.

Формула расчёта коэффициента Спирмена имеет вид:

$$\rho_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)},$$

где d_i — разница между рангами соответствующих пар наблюдений ($d_i = \text{rank}(x_i) - \text{rank}(y_i)$); n — количество пар наблюдений.

Уровень статистической значимости коэффициентов корреляции рассчитывался с помощью t -распределения Стьюдента:

$$t = p \sqrt{\frac{n-2}{1-p^2}}$$

при числе степеней свободы:

$$df = n - 2,$$

где p — коэффициент корреляции (r_{xy} или ρ_s); n — количество наблюдений.

Данный метод позволяет проверить гипотезу об отсутствии линейной связи между исследуемыми переменными ($H_0 : p = 0$). Выбор данного метода обусловлен ограниченностью объёма выборки, для которого распределение Стьюдента является более точным приближением, чем нормальное распределение Гаусса, поскольку учитывает неопределённость оценки дисперсии [6].

Статистическая значимость результатов определялась по p -значению коэффициентов. Связь считалась достоверной при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и рассчитывалась по формуле:

$$p = P(|T| \geq |t|) = 2 \cdot P(T > |t|) = 2 \cdot [1 - F_t(t)],$$

где F_t — функция распределения Стьюдента при df степенях свободы.

При наличии противоречий между результатами коэффициентов Пирсона и Спирмена предпочтение отдавалось Спирмену, так как он является более надёжным методом для метеорологических рядов [6].

Результаты

Корреляционный анализ Пирсона является важным статистическим методом для оценки линейных связей. В табл. 1 приведены значения коэффициентов парной линейной корреляции между показателями общей облачности и основными метеорологическими параметрами по сезонам года за период наблюдений.

Наиболее устойчивые зависимости наблюдаются в летний период. Коэффициент корреляции с относительной влажностью, давлением и упругостью водяного пара достигает максимальных значений преимущественно на прибрежных станциях Карского моря (им. Е.К. Фёдорова, Мыс Стерлегова, Диксон). Это связано не только с циркуляционными факторами, но и с поступлением в атмосферу дополнительной влаги с открытой водной поверхности,

которая появляется в результате таяния прибрежных льдов. На метеостанции Хатанга фиксируется положительная зависимость для всех метеопараметров, схожая с прибрежными станциями. Данная особенность обусловлена преобладающим северо-восточным направлением ветра в летнее время, который переносит воздушные массы с акватории моря Лаптевых. Можно отметить положительную корреляцию среднего балла общей облачности и относительной влажности на станциях Сопочная Карга, Караул и Волочанка. На станциях, расположенных на юго-востоке Таймырского муниципального района, устойчивых корреляционных связей не выявлено.

Таблица 1

Сезонный коэффициент корреляции Пирсона между средним баллом общей облачности и метеопараметрами

Название станции	Общая облачность							
	Зима				Весна			
	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)
Им. Е.К. Фёдорова	-0,38	0,14	-0,36	-0,30	-0,22	0,35	-0,19	-0,20
Мыс Стерлегова	0,67	0,48	0,25	0,67	-0,38	0,82	0,52	0,87
Диксон	0,33	0,21	-0,19	0,31	-0,34	0,82	0,82	0,74
Хатанга	0,19	0,81	0,74	0,69	-0,64	0,95	0,61	0,64
Сопочная Карга	0,74	0,41	-0,15	0,69	0,65	0,17	-0,15	0,54
Караул	0,83	0,69	-0,38	0,77	0,68	0,21	-0,55	0,59
Волочанка	0,80	0,27	-0,41	0,69	-0,32	0,83	0,86	0,69
Норильск	0,88	-0,70	-0,50	0,76	0,54	-0,47	-0,62	0,48
Потапово	0,85	-0,54	0,11	0,74	0,52	-0,39	0,20	0,47
Снежногорск	0,78	-0,38	0,20	0,67	-0,17	0,55	0,55	0,76
	Лето				Осень			
	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)
Им. Е.К. Фёдорова	0,11	0,97	0,98	0,87	-0,08	0,05	0,03	-0,06
Мыс Стерлегова	0,36	0,95	0,52	0,88	0,43	-0,01	-0,14	0,31
Диксон	0,33	0,95	0,94	0,79	0,42	0,06	-0,25	0,25
Хатанга	0,79	0,97	0,60	0,60	-0,33	0,82	0,53	0,57
Сопочная Карга	-0,48	0,72	-0,52	-0,18	0,55	0,51	-0,26	0,46
Караул	-0,56	0,67	-0,27	-0,29	0,60	0,50	-0,69	0,40
Волочанка	-0,30	0,63	-0,26	-0,02	0,59	0,09	-0,18	0,39
Норильск	-0,48	0,70	-0,60	0,05	0,56	-0,69	-0,70	0,32
Потапово	-0,42	0,43	0,10	-0,16	0,60	-0,68	-0,08	0,36
Снежногорск	-0,30	0,30	0,10	0,07	0,45	-0,55	0,02	0,27

Примечание: зелёным цветом отмечены положительно значимые величины, красным — отрицательно значимые величины.

В зимний период положительные коэффициенты корреляции получены для температуры воздуха и упругости водяного пара практически на всех наблюдательных пунктах, за исключением станций им. Е.К. Фёдорова, Диксон. Зимой самые высокие значения положительных коэффициентов корреляции для температуры и упругости водяного пара, в отличие от лета, отмечаются на станциях, которые находятся на удалении от моря. Так, на метеостанциях Норильск и Потапово коэффициент корреляции для температуры достигает значений 0,85–0,88 и 0,74–0,76 для упругости водяного пара, что является высоким показателем корреляционной значимости.

Весенний и осенний сезоны демонстрируют наибольшую вариабельность. Весной устойчивая связь наблюдается для упругости водяного пара на большинстве пунктов наблюдения, за исключением станций им. Е.К. Фёдорова, Норильск и Потапово. Максимальный коэффициент корреляции наблюдается на станции Мыс Стерлегова и составляет 0,87. Схожие коэффициенты для относительной влажности, давления и упругости водяного пара можно отметить на станциях: Мыс Стерлегова, Диксон, Хатанга. Также корреляционные зависимости для температуры наблюдаются на метеорологических станциях, расположенных на западе и юго-западе района (Сопочная Карга, Караул, Норильск, Потапово). Осенью, в период перестройки атмосферных процессов на зимний режим, на большинстве станций фиксируются незначительные корреляционные связи с основными метеопараметрами. Стоит отметить высокие отрицательные коэффициенты корреляции с атмосферным давлением, полученные для Караула и Норильска. Над Восточной Сибирью уже с сентября начинается формирование азиатского антициклона, что уменьшает условия для формирования облачности. Однако на пяти метеостанциях, расположенных на западе и юго-западе Таймыра, отмечаются положительные коэффициенты связи с температурой воздуха.

В табл. 2 представлены значения коэффициентов парной линейной корреляции между показателями нижней облачности и основными метеорологическими параметрами.

Таблица 2

Сезонный коэффициент корреляции Пирсона между средним баллом нижней облачности и основными метеопараметрами

Название станции	Нижняя облачность							
	Зима				Весна			
	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)
Им. Е.К. Фёдорова	0,36	0,04	0,30	0,47	0,61	0,37	-0,20	0,57
Мыс Стерлегова	0,73	0,40	0,25	0,80	-0,01	0,58	0,37	0,83
Диксон	0,51	0,44	-0,12	0,53	-0,08	0,72	0,67	0,78
Хатанга	0,20	0,27	0,18	0,28	-0,38	0,58	0,39	0,50
Сопочная Карга	0,60	0,37	0,31	0,63	0,66	0,06	-0,30	0,56
Караул	0,77	0,58	-0,15	0,84	0,79	0,12	-0,32	0,68
Волочанка	0,55	-0,11	-0,16	0,58	0,07	0,48	0,51	0,65
Норильск	0,58	-0,18	-0,16	0,66	0,70	-0,49	-0,53	0,68
Потапово	0,58	0,04	0,24	0,73	0,65	-0,39	-0,02	0,64
Снежногорск	0,50	0,11	0,16	0,62	0,00	0,36	0,29	0,56
	Лето				Осень			
	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)
Им. Е.К. Фёдорова	0,06	0,90	0,89	0,81	0,76	-0,09	-0,13	0,56
Мыс Стерлегова	0,33	0,90	0,50	0,83	0,71	-0,02	-0,18	0,54
Диксон	0,12	0,80	0,78	0,57	0,62	-0,01	0,05	0,44
Хатанга	0,46	0,79	0,49	0,45	-0,39	0,68	0,47	0,47
Сопочная Карга	-0,70	0,70	-0,39	-0,44	0,41	0,29	0,14	0,31
Караул	-0,72	0,51	-0,24	-0,61	0,33	0,42	-0,31	0,16
Волочанка	-0,35	0,50	-0,16	-0,19	0,43	-0,08	-0,15	0,34
Норильск	-0,50	0,68	-0,54	0,01	0,61	-0,50	-0,19	0,50
Потапово	-0,47	0,55	0,19	-0,29	0,54	-0,26	-0,06	0,55
Снежногорск	-0,36	0,40	0,15	0,00	0,44	-0,27	0,01	0,45

Примечание: зелёным цветом отмечены положительно значимые величины, красным — отрицательно значимые величины.

Летом, как и для общей облачности, высокие корреляционные связи среднего балла нижней облачности с относительной влажностью, атмосферным давлением и упругостью водяного пара наблюдаются на прибрежных станциях (им. Е.К. Фёдорова, Мыс Стерлегова, Диксон). Максимальный коэффициент корреляции 0,90 наблюдается для относительной влажности на станциях им. Е.К. Фёдорова и Мыс Стерлегова. Также высокие

положительные коэффициенты корреляции для относительной влажности отмечаются на станциях Диксон, Хатанга, Сопочная Карга, Караул. Отрицательная взаимосвязь с температурой воздуха наблюдается на станциях Сопочная Карга, Караул, Норильск.

В зимний период наблюдаются положительные корреляционные связи с температурой и упругостью водяного пара для всех метеостанций, кроме им. Е.К. Фёдорова и Хатанга. Максимальные значения коэффициентов корреляции достигают 0,77–0,84.

Весной на всех метеостанциях наблюдается положительная взаимосвязь для упругости водяного пара. Максимальный коэффициент наблюдается на метеостанции Мыс Стерлегова и составляет 0,83. Для температуры отмечаются положительные коэффициенты корреляции на станциях им. Е.К. Фёдорова, Сопочная Карга, Караул, Норильск и Потапово.

Осенью положительных взаимосвязей наблюдается меньше всего, по сравнению с другими сезонами. Высокие взаимосвязи фиксируются для температуры на пяти метеостанциях (им. Е.К. Фёдорова, Мыс Стерлегова, Диксон, Норильск, Потапово). Для данных станций наблюдается взаимосвязь для упругости водяного пара.

Весенний и осенний сезоны демонстрируют наибольшую вариабельность. Весной устойчивая связь наблюдается для упругости водяного пара на большинстве пунктов наблюдения, за исключением станций им. Е.К. Фёдорова, Норильск и Потапово. Максимальный коэффициент корреляции наблюдается на станции Мыс Стерлегова и составляет 0,87. Схожие коэффициенты для относительной влажности, давления и упругости водяного пара можно отметить на станциях Мыс Стерлегова, Диксон, Хатанга. Также корреляционные зависимости для температуры наблюдаются на метеорологических станциях, расположенных на западе и юго-западе района (Сопочная Карга, Караул, Норильск, Потапово). Осенью, в период перестройки атмосферных процессов на зимний режим, на большинстве станций фиксируются незначительные корреляционные связи с основными метеопараметрами. Стоит отметить высокие отрицательные коэффициенты корреляции с атмосферным давлением, полученные для станций Караул и Норильск. Над Восточной Сибирью уже с сентября начинается

формирование азиатского антициклона, что уменьшает условия для формирования облачности. Однако на пяти метеостанциях, расположенных на западе и юго-западе Таймыра, отмечаются положительные коэффициенты связи с температурой воздуха.

Для оценки статистической достоверности полученных взаимосвязей и проверки устойчивости результатов был применён метод непараметрической корреляции по рангам Спирмена. Данный коэффициент является альтернативой линейной корреляции Пирсона в условиях, когда данные не подчиняются нормальному распределению или содержат экстремальные значения. Сравнительный анализ результатов обоих методов позволяет подтвердить выявленные закономерности и исключить вероятность случайных взаимосвязей.

В табл. 3 представлены результаты расчёта сезонного коэффициента корреляции Спирмена между средним баллом общей облачности и метеопараметрами.

В летний период на территории полуострова Таймыр отмечаются как положительные, так и отрицательные взаимосвязи. На четырёх метеостанциях (Хатанга, Сопочная Карга, Караул, Волочанка) наблюдаются положительные коэффициенты корреляции для температуры с максимальным значением коэффициента 0,66. Отрицательные взаимосвязи фиксируются для давления на метеостанциях Сопочная Карга, Волочанка, Норильск, Снежногорск.

На большинстве метеостанций зимой наблюдаются положительные корреляционные связи для температуры воздуха и упругости водяного пара, исключением являются метеостанция им. Е.К. Фёдорова и Диксон. Максимальные значения коэффициентов на станциях Караул и Потапово составляют 0,82–0,86.

Наибольший коэффициент корреляции весной отмечается для упругости водяного пара на метеостанции Мыс Стерлегова и составляет 0,79. Также положительные зависимости по данному метеопараметру зафиксированы на метеостанциях: Хатанга, Сопочная Карга, Караул, Потапово, Снежногорск.

Осенью, как и в весенний период, наблюдаются корреляционные зависимости по нескольким метеопараметрам. Положительные коэффициенты для температуры преобладают на

станциях, расположенных на юго-востоке полуострова и на берегу Енисейского залива. Отрицательные коэффициенты корреляции для давления, как и в летний период, наблюдаются на метеостанциях Караул, Волочанка, Норильск и Потапово.

Таблица 3

Сезонный коэффициент корреляции Спирмена между средним баллом общей облачности и основными метеопараметрами

Название станции	Общая облачность							
	Зима				Весна			
	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)
Им. Е.К. Фёдорова	-0,41	0,20	-0,33	-0,33	-0,21	0,39	-0,17	-0,15
Мыс Стерлегова	0,68	0,07	0,05	0,61	0,49	0,46	-0,27	0,79
Диксон	0,33	0,29	-0,19	0,28	0,37	0,11	-0,23	0,49
Хатанга	0,66	0,57	-0,09	0,63	0,40	0,69	-0,14	0,62
Сопочная Карга	0,69	0,45	-0,19	0,66	0,65	0,18	-0,49	0,55
Караул	0,86	0,64	-0,31	0,82	0,71	0,24	-0,55	0,66
Волочанка	0,81	0,03	-0,42	0,70	0,43	0,02	-0,38	0,42
Норильск	0,85	0,05	-0,47	0,73	0,60	-0,58	-0,66	0,49
Потапово	0,86	-0,56	-0,24	0,78	0,63	-0,52	-0,48	0,60
Снежногорск	0,73	-0,31	-0,45	0,65	0,46	-0,31	-0,49	0,55
	Лето				Осень			
	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)
Им. Е.К. Фёдорова	0,06	0,18	-0,36	0,17	-0,14	-0,05	-0,30	-0,08
Мыс Стерлегова	0,30	0,25	-0,26	0,31	0,52	0,42	-0,26	0,44
Диксон	-0,13	0,45	-0,31	-0,10	0,23	0,09	-0,17	0,11
Хатанга	0,20	0,58	0,13	0,38	0,24	0,45	-0,04	0,30
Сопочная Карга	-0,39	0,66	-0,54	-0,04	0,53	0,53	-0,23	0,46
Караул	-0,47	0,66	-0,40	-0,23	0,44	0,60	-0,61	0,28
Волочанка	-0,22	0,65	-0,58	0,04	0,65	0,11	-0,55	0,39
Норильск	-0,37	0,73	-0,58	0,10	0,57	-0,59	-0,62	0,27
Потапово	-0,25	0,26	-0,36	-0,11	0,52	-0,60	-0,52	0,25
Снежногорск	-0,27	0,24	-0,59	0,10	0,42	-0,51	-0,36	0,21

Примечание: зелёным цветом отмечены положительно значимые величины, красным — отрицательно значимые величины.

Значения коэффициентов корреляции Спирмена между средним баллом нижней облачности и метеопараметрами представлены в табл. 4. Летний период отражает наибольшую неоднородность между коэффициентами корреляции. Наблюдаются

как прямые зависимости для относительной влажности, так и обратные для температуры, давления и упругости водяного пара.

Зимний период демонстрирует схожий характер корреляционных связей между нижней облачностью и метеопараметрами по сравнению с общей облачностью. На большинстве станций, за исключением Хатанги и им. Е.К. Фёдорова, фиксируются положительные коэффициенты корреляции для температуры воздуха и упругости водяного пара.

Таблица 4

Сезонный коэффициент корреляции Спирмена между средним баллом нижней облачности и основными метеопараметрами

Название станции	Нижняя облачность							
	Зима				Весна			
	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)
Им. Е.К. Фёдорова	0,39	0,01	0,29	0,46	0,60	0,39	-0,22	0,60
Мыс Стерлегова	0,68	0,43	0,05	0,77	0,50	0,41	-0,18	0,77
Диксон	0,59	0,44	-0,12	0,62	0,60	0,43	-0,27	0,67
Хатанга	0,11	0,40	0,02	0,22	-0,02	0,26	0,21	0,40
Сопочная Карга	0,54	0,41	0,35	0,56	0,65	0,15	-0,41	0,52
Караул	0,81	0,57	-0,08	0,85	0,79	0,17	-0,31	0,67
Волочанка	0,55	-0,17	-0,09	0,58	0,52	-0,01	-0,12	0,59
Норильск	0,57	0,12	-0,16	0,64	0,71	-0,55	-0,60	0,71
Потапово	0,62	-0,06	0,21	0,75	0,75	-0,48	-0,43	0,78
Снежногорск	0,53	0,09	-0,21	0,68	0,25	0,04	-0,03	0,52
	Лето				Осень			
	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)	t (°C)	f (%)	p (гПа)	e (мбар)
Им. Е.К. Фёдорова	-0,07	0,38	-0,23	0,09	0,69	0,22	-0,24	0,60
Мыс Стерлегова	0,23	0,29	-0,35	0,24	0,63	0,43	-0,27	0,51
Диксон	-0,26	0,27	-0,20	-0,27	0,23	-0,19	-0,08	0,08
Хатанга	-0,12	0,56	0,37	0,09	-0,29	0,32	0,09	0,09
Сопочная Карга	-0,69	0,67	-0,36	-0,40	0,37	0,32	0,15	0,26
Караул	-0,64	0,41	-0,23	-0,56	0,16	0,46	-0,25	0,02
Волочанка	-0,28	0,53	-0,56	-0,15	0,51	0,02	-0,18	0,33
Норильск	-0,32	0,70	-0,57	0,14	0,69	-0,54	-0,13	0,51
Потапово	-0,39	0,46	-0,38	-0,29	0,52	-0,28	-0,23	0,50
Снежногорск	-0,30	0,39	-0,54	0,01	0,44	-0,27	-0,32	0,44

Примечание: зелёным цветом отмечены положительно значимые величины, красным — отрицательно значимые величины.

Подобные зависимости наблюдаются и весной. На большинстве метеорологических станций зафиксированы положительные взаимосвязи для температуры воздуха и упругости водяного пара. Только на метеостанции Хатанга отсутствовали корреляционные зависимости.

В осенний переходный сезон, как и в весенний, фиксируются эквивалентные значения корреляции для температуры и упругости водяного пара, но только на пяти метеорологических станциях — им. Е.К. Фёдорова, Мыс Стерлегова, Волочанка, Норильск, Потапово.

Заключение

Исследование взаимосвязи между средним баллом облачности и основными метеопараметрами на территории Таймырского муниципального района с помощью корреляционного анализа за период с 1985 по 2023 год выявило некоторые сезонные особенности.

Выявлена выраженная сезонная динамика зависимости среднегодового балла общей облачности от основных метеопараметров. Наиболее значимые и стабильные корреляционные связи наблюдаются в зимний период с температурой и упругостью водяного пара. Поскольку влагоёмкость воздуха при отрицательных температурах крайне мала, даже небольшие колебания температуры вызывают значительный процентный рост или падение упругости водяного пара, что создаёт зависимость между двумя метеопараметрами зимой [7].

Летний период характеризуется противоположными зависимостями относительно зимнего времени года. Относительная влажность и давление коррелируют с общей облачностью преимущественно на метеостанциях, расположенных на удалении от Карского моря и моря Лаптевых.

Осенний и весенний сезоны характеризуются высокой вариабельностью, что объясняется переходным характером атмосферной циркуляции.

Анализ взаимосвязи между средним баллом нижней облачности и метеопараметрами отражает иную картину зависимостей

по сравнению с общей облачностью. Высокие коэффициенты корреляции для температуры и упругости водяного пара наблюдаются в зимний, весенний и осенний периоды. Летнее время года демонстрирует высокую вариабельность ввиду преобладания конвективных процессов в тёплое время года.

Применение двух методов статистического анализа подтвердило устойчивость выявленных закономерностей. Получение схожих значений коэффициентов в обоих методах свидетельствует о том, что наблюдаемые связи являются статистически значимыми и не являются случайными, что особенно важно для исследований на основе средних годовых показателей с ограниченной выборкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдухов О.А., Черных И.В. Долгопериодные изменения температурно-влажностного режима в нижней тропосфере над Арктическим регионом России по данным радиозондирования // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 183. С. 90–104.
2. Гусакова М.А. Влияние облачности на кратковременные климатические изменения // Учёные записки РГМУ. 2013. Вып. 29. С. 95–99.
3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. М.: Росгидромет, 2024. С. 17.
4. Ковалёв Н.П., Правосудько Т.П. Архив ТМС. Текущая метеорологическая информация станций. Описание архива. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1987. 118 с.
5. Коршунова Н.Н., Давлетшин С.Г. Мониторинг облачности на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2024. Вып. 192. С. 53–64.
6. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник. В 2 томах, том. 1: Первичный анализ и построение эмпирических зависимостей. Издание 2, испр. и доп. СПб.: РГМУ, 2020. 256 с.
7. Шишкин Н.С. Облака, осадки и грозовое электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 370 с.
8. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1972. С. 125–135.
9. Цатуров Ю.С., Клепиков А.В. Современное изменение климата Арктики: результаты нового оценочного доклада Арктического совета // Арктика: экология и экономика. 2012. № 4(8). С. 76–81.
10. Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С. Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария в последнее десятилетие // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 175. С. 43–51.

УДК 551.524

РЕЗУЛЬТАТЫ ГОМОГЕНИЗАЦИИ ДАННЫХ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА СТАНЦИЯХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.Ф. Финаев

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

Введение

Атмосферное давление является ключевым фактором, вызывающим изменения в атмосферной циркуляции, и таким образом формируя погоду и климат на конкретной территории. Для оценки климатических изменений необходимы однородные многолетние ряды данных давления атмосферы месячного и годового разрешения. Интерес к таким данным проявляли многие исследователи. Например, в Чешской Республике пытались получить однородные ряды атмосферного давления суточного и месячного разрешения для семи метеорологических станций г. Брно методами корреляции и фильтрации [1]. Позднее, после тестирования и анализа методов гомогенизации различными научными группами, ВМО рекомендовала использовать ряд компьютерных программ для получения однородных рядов метеорологических данных [2]. Эти программные пакеты значительно облегчили получение однородных рядов данных для большого количества станций. В Китае переход ручных измерений на автоматические системы привёл к нарушению однородности рядов данных давления воздуха. Для получения однородных рядов атмосферного давления 13 станций использовали программный пакет RHtests, рекомендованный ВМО [3]. В Австралии необходимо было использовать однородные ряды атмосферного давления с 49 станций для моделирования атмосферной циркуляции [4]. Гомогенизация этих данных была выполнена программным пакетом RHtests. Однородные данные атмосферного давления потребовались для исследований

североатлантического региона, что необходимо было для анализа атмосферной циркуляции [5]. Основным фактором на нарушение однородности ряда данных атмосферного давления является перемещение барометра на значительные расстояния и высоту над уровнем моря. В то же время на однородность ряда данных атмосферного давления, кроме сказанного, могут также влиять ошибки наблюдателя, перемещение метеостанции, изменение температуры, замена прибора, изменение конструкции барометра и т.д. Все эти факторы плохо учитываются в метаданных, поэтому для получения однородных рядов метеорологического параметра необходимо использовать методы гомогенизации.

Данные и методы

Исходными материалами для выполнения этой работы послужили среднемесячные данные атмосферного давления за все годы наблюдений на 521 станции территории РФ. Для выполнения гомогенизации рядов наблюдений был использован программный пакет RHtests, рекомендованный ВМО и оценённый нами ранее [6]. В [6] дано подробное описание работы данной программы. Пакет RHtests разработан Центром исследований климата Министерства окружающей среды Канады, и с его помощью можно тестировать и корректировать временные ряды любых метеорологических данных в масштабе года, месяца и дня. Автором является научный коллектив под руководством доктора Wang X.L. [7]. Это единственный пакет в списке программ, предлагаемых ВМО, который имеет возможность проведения гомогенизации (получения однородного ряда данных) без эталона (опорного ряда) [8, 9]. В результате выполнения теста в выходном каталоге для каждой станции создаются пять файлов с результатами. Подробное описание представлено в [6].

Массив данных (текстовый файл Ps_mes.txt) с ежемесячными данными атмосферного давления на 521 станции РФ за весь период наблюдений на каждой станции охватывает период с 1892 по 2023 год. За такой длительный исторический период количество станций постепенно увеличивалось, а их охват территории постоянно менялся (рис. 1). Из этого рисунка видно,

что резкое увеличение количества станций произошло в начале шестидесятых годов двадцатого столетия. С 1962 по 2023 год количество наблюдательных пунктов на территории можно считать относительно постоянным, а распределение по территории РФ — равномерным.

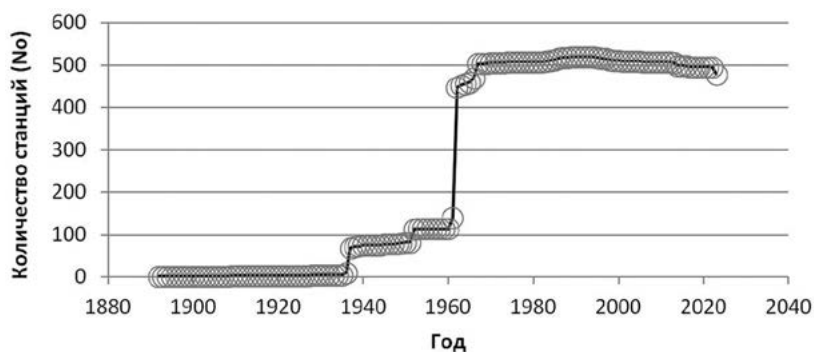


Рис. 1. Количество станций наблюдения за давлением атмосферы на территории РФ

Используя программу RHtests, была выполнена гомогенизация среднемесячных данных атмосферного давления воздуха за каждый год всего периода наблюдений (с 1892 по 2023 год) для каждой станции. В результате получены однородные ряды ежемесячных данных атмосферного давления воздуха, которые можно использовать для дальнейших исследований.

Результаты

Статистические данные полученных результатов показывают, что данные 387 станций (74,3 %) были однородны (табл. 1), 87 станций (16,7 %) имели одно нарушение однородности ряда, на 33 станциях (6,3 %) были выявлены по два нарушения однородности. На остальных 8 и 6 станциях обнаружены 3 и 4 нарушения однородности ряда соответственно.

Для картографической оценки распределения атмосферного давления по территории необходимо иметь данные измерений на станциях примерно за одинаковый временной период

наблюдений, а также равномерное расположение станций на исследуемой территории. Рис. 1 показывает, что наиболее благоприятным для соответствующих условий является период с 1962 по 2023 год. За этот период было выявлено 129 станций с нарушениями однородности ряда (табл. 2), в то время как с начала наблюдений (1892 г.) по 2023 год было 134 станции с неоднородными рядами данных давления атмосферы (табл. 1).

Таблица 1

Количество нарушений однородности ряда атмосферного давления в среднем за год на станциях РФ (1892–2023 гг.) (Stantion_P.xlsx)

Количество нарушений	Количество станций	Количество станций, %
0	387	74
1	87	17
2	33	6
3	8	2
4	6	1
Всего станций	521	100,0
Всего нарушений	134	26

Таблица 2

Количество нарушений однородности ряда среднего за год атмосферного давления на станциях РФ (1962–2023 гг.)

Количество нарушений	Количество станций	Количество станций, %
0	392	75,2
1	95	18,2
2	29	5,6
3	3	0,6
4	2	0,4
Всего	521	100,0
Всего нарушений	129	24,8

Используя неоднородные и однородные данные, рассчитано среднегодовое давление на станциях. По этим данным выполнено картирование распределения атмосферного давления по территории РФ. В результате получены карты распределения АДВ по неоднородным и однородным данным в среднем за год

(рис. 2). Интерполяция при построении карт выполнялась методом Крингинг.

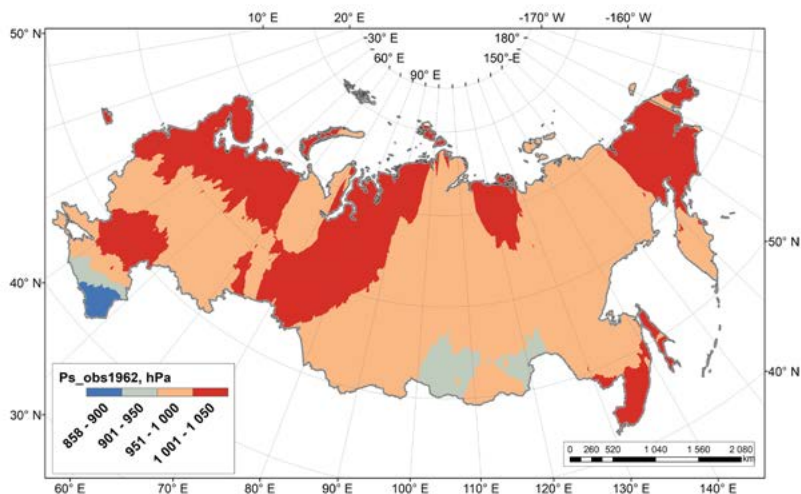


Рис. 2. Распределение среднегодового давления атмосферы по однородным данным (1962–2023 гг.)

Карта распределения ошибки годового атмосферного давления (dPs_hgn , hPa) выявила территории с превышением и занижением АД относительно однородных данных (рис. 3). Отклонения от однородности ряда колеблются от -1,29 до +1,5 гПа. На этой карте также показано **количество нарушений однородности годового ряда данных** (No_gar) на станциях. Наибольшее количество (4) нарушений однородности ряда данных выявлено на двух станциях Кавказа. Меньшее количество нарушений отмечено в отдалённых районах исследуемой территории.

На фоне карты распределения ошибки годового атмосферного давления (dPs_hgn , hPa) показаны ошибки давления на станциях (Ps_err , hPa) в результате нарушения однородности рядов данных (рис. 4). Максимальные отклонения от однородных данных (2,1–11,3 гПа) выявлены на станциях Кавказского региона, в горах Алтая, Тувы, на нескольких станциях Восточной Сибири и Чукотки (всего 19 станций). Остальные отклонения однородности,

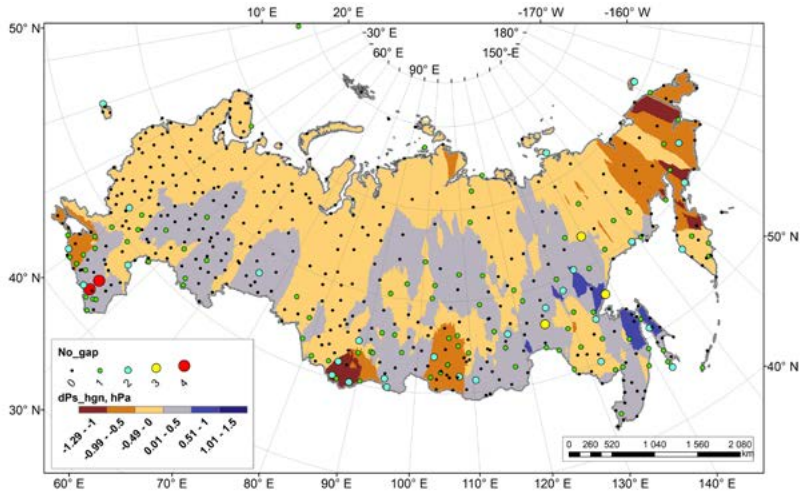


Рис. 3. Распределение ошибки годового атмосферного давления по территории (dPs_hgn , hPa) и количество нарушений однородности годового ряда данных (No_gap) на станциях РФ (1962–2023 гг.)

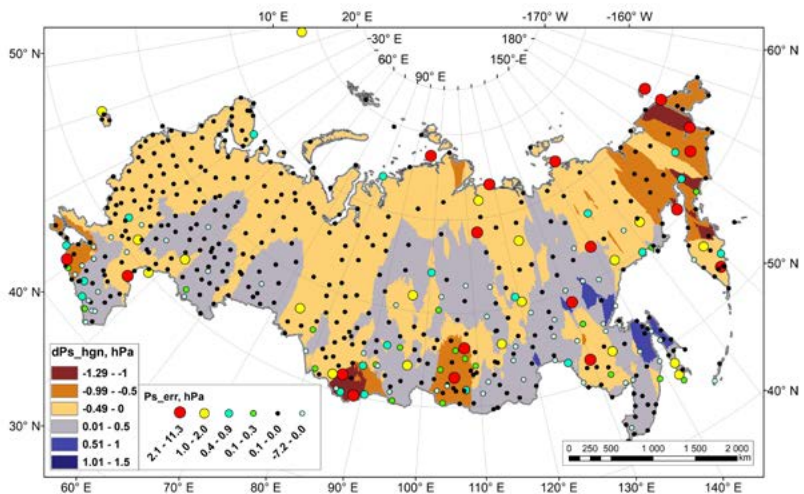


Рис. 4. Распределение ошибки годового атмосферного давления по территории (dPs_hgn , hPa) и ошибки давления годового ряда данных (Ps_err , hPa) на станциях РФ (1962–2023 гг.)

по данным станций, имеют меньшие значения. Отклонения от однородного ряда измеренных данных наблюдаются в основном на горных и труднодоступных станциях.

В табл. 3 представлены статистические данные картирования среднегодового давления воздуха по неоднородным (Pobs_map) и однородным данным (Phgn_map) по станциям РФ за период с 1962 по 2023 год. Статистические данные карты ошибки неоднородных данных станций (dP) также представлены в табл. 3 (dPmap).

Таблица 3

Статистика карт распределения атмосферного давления по данным наблюдений (Pobs) и гомогенизации (Phgn), гПа (dP — разница статистики карт (dP = Phgn_map — Pobs_map); статистика карты распределения ошибки неоднородных данных станций dPmap)

Параметр	Pobs_map	Phgn_map	dP	dPmap
min	857,7202	858,1556	0,4354	-1,2869
max	1010,9611	1010,6423	-0,3188	1,0275
mean	991,4278	991,3207	-0,1071	-0,1109
Std dev.	17,6840	17,6357		0,3059

В качестве примера приведём результаты гомогенизации данных атмосферного давления метеостанции Сочи (37099). На рис. 5 показана аномалия базового ряда давления. Согласно метаданным, в 2004 году метеостанция была перенесена на 800 м к ССВ. Это привело к увеличению высоты станции над уровнем моря и нарушению однородности ряда давления в сторону уменьшения. Линия регрессии выявила три нарушения однородности, хотя в метаданных указано только одно.

После обработки данных пакетом RHTests был получен однородный ряд АД (рис. 6), который показал небольшой тренд к увеличению.

Второй пример показывает нарушения однородности ряда данных при многочисленных переносах места расположения станции. На рис. 7 представлена аномалия базового ряда метеостанции Махачкала (37472). Согласно неполным метаданным и результатам гомогенизации, станция несколько раз меняла своё место расположения. После гомогенизации был получен

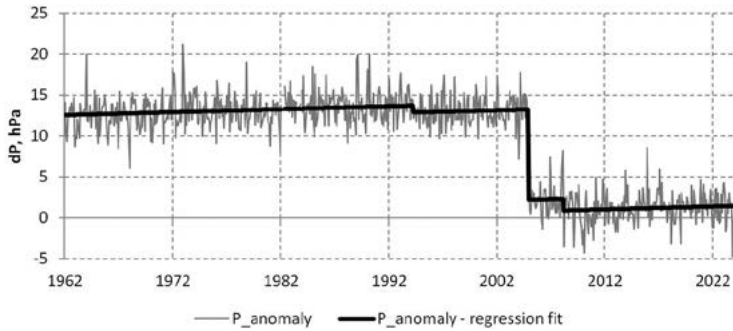


Рис. 5. Аномалия базового ряда метеостанции Сочи (37099)

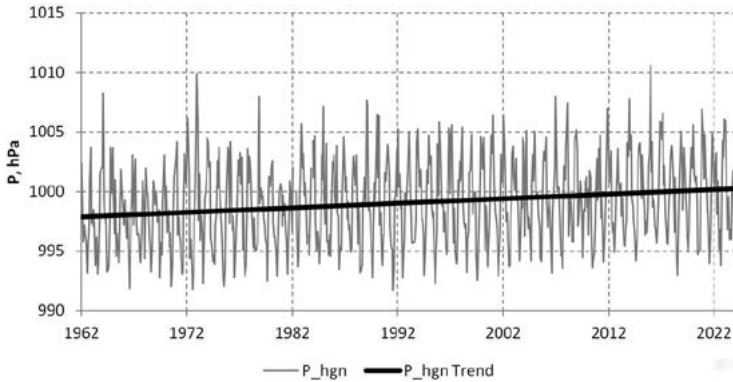


Рис. 6. Однородный ряд давления атмосферы на станции Сочи (37099) после гомогенизации

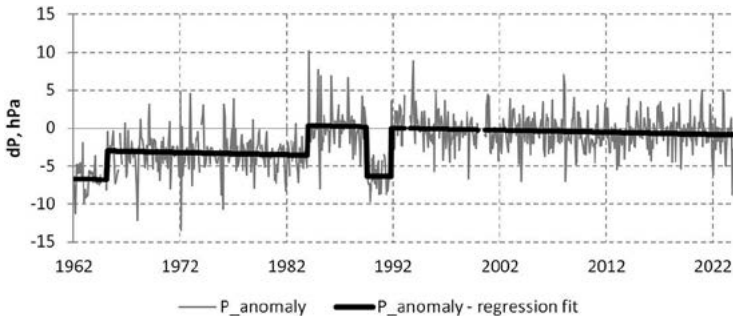


Рис. 7. Аномалия базового ряда метеостанции Махачкала (37472)

однородный ряд данных АД (рис. 8), который показывал небольшой тренд к снижению давления.

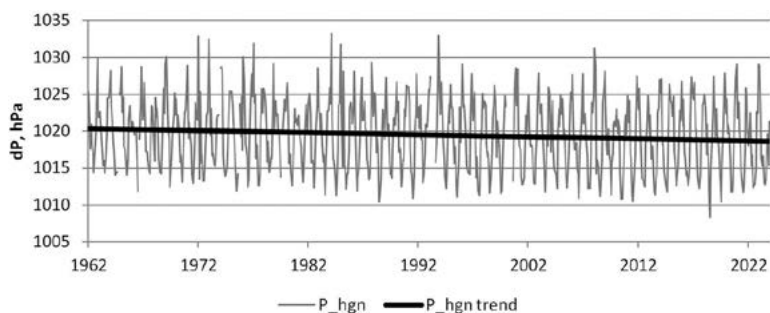


Рис. 8. Однородный ряд давления атмосферы на станции Махачкала (37472)

Далее приведём некоторые примеры нарушения однородности ряда данных атмосферного давления и результаты их гомогенизации.

Примеры нарушения однородности ряда атмосферного давления на некоторых станциях РФ (выдача результатов программы RHtest)

В качестве примера ниже представлены результаты гомогенизации данных некоторых станций из файла xxxxx_U.pdf (xxxxx — индекс станции), получаемого при работе программы RHtests (рис. 9–18). На рисунках с индексом (А) представлена аномалия

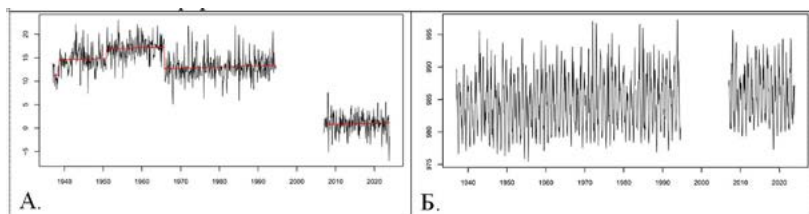


Рис. 9. Результат гомогенизации данных давления на станции Грозный (37235). Сдвижки ряда, разрывы: 1938.08, 1950.11, 1965.10, 2006.02.

базового ряда и регрессионная подгонка. На рисунках с индексом (Б) представлен однородный ряд давления атмосферы после гомогенизации. В подписях к некоторым рисункам указаны даты (год, месяц) сдвиги или разрыва ряда данных.

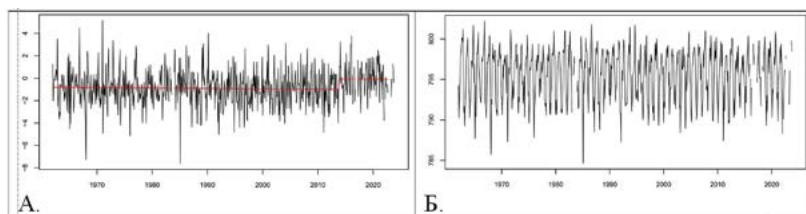


Рис. 10. Результат гомогенизации данных давления на станции Клухорский перевал (37196). Сдвигка ряда 2013.10.

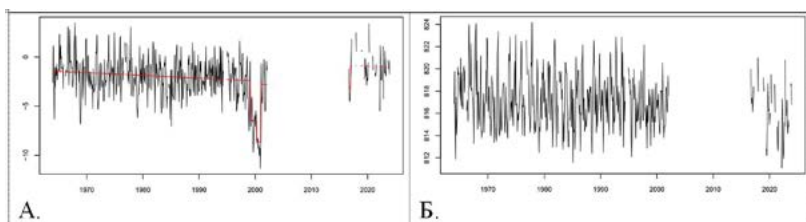


Рис. 11. Результат гомогенизации данных давления на станции Мугур-Аксы (36278). Сдвиги ряда, разрывы: 1999.02, 2000.03, 2001.01, 2016.12.

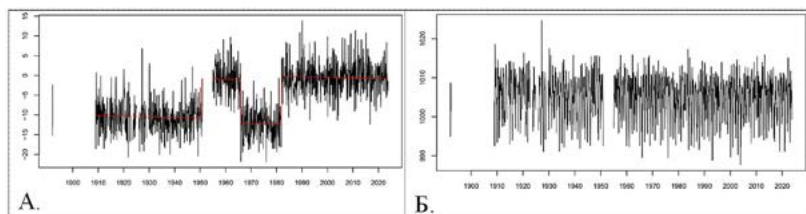


Рис. 12. Результат гомогенизации данных давления на станции Петропавловск-Камчатский (32583)

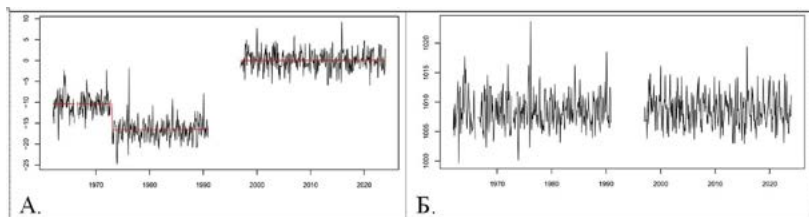


Рис. 13. Результат гомогенизации данных давления на станции Невельск (32145). Сдвиги ряда, разрывы: 1973.01, 1990.12.

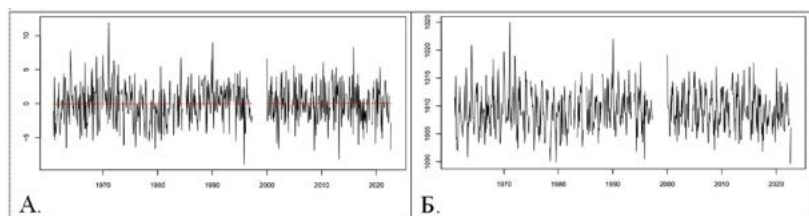


Рис. 14. Результат гомогенизации данных давления на станции Литке (31362). Смещений нет. Один разрыв ряда.

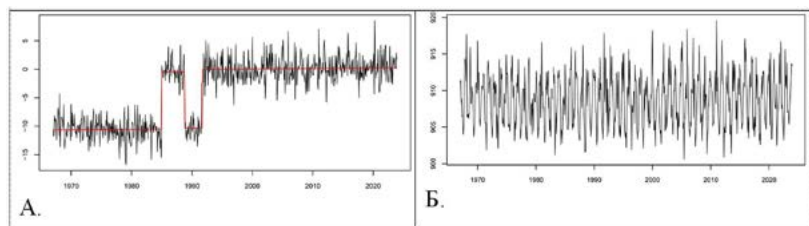


Рис. 15. Результат гомогенизации данных давления на станции Багдарин (30554). Переносы: 1984.12, 1988.10, 1991.09.

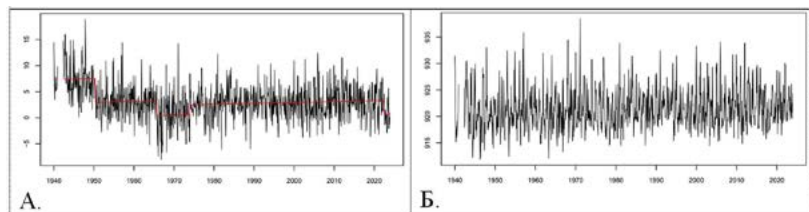


Рис. 16. Результат гомогенизации данных давления на станции Оймякон (24688). Переносы: 1950.05, 1965.09, 1973.12, 2022.07.

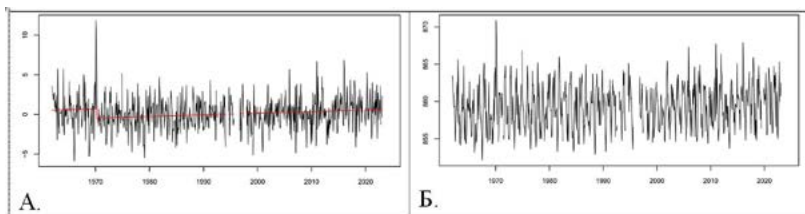


Рис. 17. Результат гомогенизации данных давления на станции Оленья Речка (29974). Смещение ряда 1970.04.

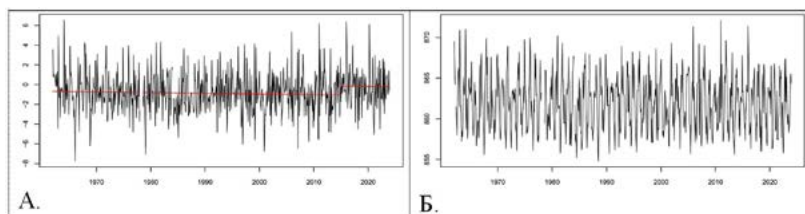


Рис. 18. Результат гомогенизации данных давления на станции Орлик (29998). Были переносы, но ряд не изменился. В декабре 2014 г. — смещение ряда.

Заключение

Из всех метеорологических параметров, измеряемых на метеорологических станциях, данные атмосферного давления наиболее стабильны, малоуязвимы от воздействий неметеорологического характера, так как находятся в закрытом помещении и почти не подвержены манипуляциям сотрудников. Однако анализ результатов неоднородных и однородных рядов данных атмосферного давления показал, что за 62 года измерений атмосферного давления на 521 пункте 24,8 % станций имели нарушения однородности в рядах данных среднегодового атмосферного давления. Частично это было связано с изменением высоты станции над уровнем моря в результате перемещения пункта наблюдения на другое место. Другие возможные причины, вероятно, связаны с перерывами в наблюдениях, заменой прибора, нарушениями калибровки или с иными причинами, поэтому при исследованиях изменения климата необходимо обязательно использовать однородные ряды атмосферного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Štěpánek P., Řezníčková L., Brázdil R. Homogenization of daily air pressure and temperature series for Brno (Czech Republic) in the period 1848–2005. Published, 2009 // Environmental Science. P. 18 [http://www.climahom.eu/software/docs/hom_proc_CD_ossz2 %2098-115_Stepanek_daily.pdf](http://www.climahom.eu/software/docs/hom_proc_CD_ossz2%2098-115_Stepanek_daily.pdf) (дата обращения: 13.03.2026).
2. WMO Commission for Climatology // www.climatol.eu/tt-hom/ (дата обращения: 10.04.2026).
3. Si P., Luo C.J., Wang M. Homogenization of surface pressure data in Tianjin, China // J. Meteorol. Res. 2019. Vol. 33(6). P. 1131–1142. DOI: 10.1007/s13351-019-9043-8 (дата обращения: 10.04.2026).
4. Alexander L.V., Uotila P., Nicholls N. A new daily pressure dataset for Australia and its application to the assessment of changes in synoptic patterns during the last century // J. of Climate. 2010. Vol. 23(5). P. 1111–1126. DOI: 10.1175/2009JCLI2972.1 (дата обращения: 13.03.2026).
5. Ansell T.J., Jones P.D., Allan R.J., Lister D., Parker D.E., Brunet M., Moberg A., Jacobeit J., Brohan P., Rayner N.A., Aguilar E., Alexandersson H., Barriendos M., Brandsma T., Cox N.J., Della-Marta P.M., Drebs A., Founda D., Gerstengarbe F.-W., Hickey K., Jónsson T., Luterbacher J., Nordli Ø., Oesterle H., Petrakis M., Philipp A., Rodwell M.J., Saladié O., Sigro J., Slonosky V., Srnec L., Swail V., García-Suárez A.M., Tuomenvirta H., Wang X., Wanner H., Werner P.C., Wheeler D., Xoplaki E. Daily mean sea level pressure reconstructions for the European-North Atlantic region for the period 1850–2003 // J. of Climate. 2006. Vol. 19, N 12. P. 2717–2742. <https://doi.org/10.1175/JCLI3775.1> (дата обращения: 10.04.2026).
6. Финаев А.Ф., Разуваев В.Н. Гомогенизация климатических рядов на примере среднемесячной температуры воздуха // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 186. С. 57–68.
7. Wang X.L., Feng Y. RHtestsV4 User Manual. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate // Science and Technology Branch, Environment Canada. 28 p. <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml> (дата обращения: 15.05.2026).
8. Wang X.L. Accounting for autocorrelation in detecting mean-shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test // J. of Applied Meteorol. and Climatol. 2008. Vol. 47. P. 2423–2444.
9. Wang X.L. Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change // J. of Atmos. and Ocean. Technol. 2008. Vol. 25, N 3. P. 368–384. DOI: 10.1175/2007/JTECHA982.1 (дата обращения: 07.07.2025).

УДК 004.42:551.5

РАЗРАБОТКА КРОССПЛАТФОРМЕННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА, ОБРАБОТКИ И НАКОПЛЕНИЯ РЕЖИМНЫХ ДАННЫХ НАЗЕМНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ РОСГИДРОМЕТА С УЧЁТОМ УВЕЛИЧЕНИЯ ДИСКРЕТНОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

***Е.В. Амельченко¹, В.А. Амельченко²,
Е.Н. Зубрицкая³, Г.А. Гузеев⁴***

*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
¹ amelchenko@meteo.ru, ² vamelchenko@meteo.ru,
³ zeh@meteo.ru, ⁴ gguzeev@meteo.ru*

Введение

Автоматизированные системы сбора, обработки и накопления режимных метеорологических данных обеспечивают регулярное пополнение Единого государственного фонда данных (ЕГФД) Росгидромета качественной режимной информацией для научно-исследовательских работ по изучению изменений климата и обслуживанию потребителей.

На текущий момент сбор, обработка метеорологической информации станций, формирование отчётной продукции (таблицы с данными метеорологических наблюдений станций за один месяц (ТМС), Метеорологического ежемесячника, части 1 и 2, Метеорологического ежегодника) производится при помощи внедрённой на сети Росгидромета системы сбора, обработки, накопления и анализа метеорологической информации станций ПЕРСОНА МИС [4].

Система успешно функционирует уже несколько десятилетий. Её качество и высокая отказоустойчивость достигались благодаря длительному и активному сопровождению. Однако технологические решения остались теми же, что и на момент создания. Модули ПЕРСОНА МИС разработаны с использованием языков

программирования Fortran-77 и Fortran-90, которые не позволяют формировать сложные структуры данных [5, 6, 10, 20]. Существенными ограничениями работы системы являются невозможность добавления новых видов наблюдений, выходящих за рамки действующих Наставлений и РД гидрометеорологическим станциям и постам [14, 18], а также обязательное наличие русскоязычной ОС Windows.

Наблюдательная сеть Росгидромета оснащается новыми измерительными приборами, которые позволяют получать значения метеорологических параметров с большей дискретностью, чем та, что определяется действующими Наставлениями и РД [12].

Исходя из оснащения станций комплектом автоматических измерительных приборов возможно получение следующих рядов данных с дискретностью измерений в один час: температура воздуха, относительная влажность воздуха, продолжительность солнечного сияния, метеорологическая дальность видимости, направление и скорость ветра, атмосферное давление, температура подстилающей поверхности, высота снежного покрова на метеорологической площадке, температура почвы на глубинах 5, 10, 15, 20 см на участке без растительного покрова, температура почвы на глубинах 20, 40 и 80 см на участке под естественным покровом [11, 17]. И если для температуры воздуха, относительной влажности воздуха и продолжительности солнечного сияния предусмотрены позиции для занесения, обработки и долговременного хранения (вместо данных термографа, гигрографа и гелиографа), то все остальные виды наблюдений с дискретностью в один час в настоящее время в ЕГФД Росгидромета на долговременное хранение не поступают.

Кроме того, в условиях импортозамещения возможен переход с операционных систем семейства Windows на отечественные дистрибутивы ОС Linux [15].

Всё это приводит к тому, что назрела необходимость разработки нового поколения систем семейства ПЕРСОНА — кросс-платформенного программного обеспечения с использованием современных языков и подходов программирования.

Текущее состояние

Система ПЕРСОНА МИС, внедрённая на сети Росгидромета, предназначена для обработки, накопления и анализа метеорологической информации станций. Главной задачей данной системы является пополнение фонда качественной информацией на технических носителях.

Система ПЕРСОНА МИС работает под управлением операционной системы Windows. Она состоит из ряда приложений, которые выполняют следующие функции:

- ввод данных по формам, максимально приближённым к формам книжек наблюдений;
- автоматизированный многоступенчатый контроль данных, включающий синтаксический контроль наблюденной информации, семантический контроль 1-го и 2-го уровней, совместный контроль данных и постов, пространственный контроль;
- обобщение данных за различные периоды времени — сутки, декаду, месяц, год; вычисление сумм, средних значений, выборка экстремумов и дат наступления экстремумов и т.п.;
- формирование файлов архивного хранения в формате ЯОД [9] с результатами наблюдений, с суточными и месячными выводами;
- формирование режимно-справочных и отчётных материалов (комплект метеорологических таблиц станций ТМС, Метеорологический ежемесячник, части 1 и 2, Метеорологический ежегодник);
- формирование оперативных телеграмм КН-01 SYNOP, FM 71-X CLIMAT, КН-19 ДЕКАДА, штормовых предупреждений WAREP, телеграммы SYNOP и CLIMAT также формируются в коде FM 94 BUFR;
- восполнение и восстановление пропущенных и забракованных данных;
- сервисные средства (расчёт метеорологических характеристик и получение вспомогательных справочных таблиц);
- графические средства представления данных.

На выходе отчётные материалы ПЕРСОНА МИС формирует в виде текстовых файлов. Это связано с многообразием текстовых процессоров (Microsoft Word, LibreOffice, OpenOffice и т.п.),

каждый со своими внутренними форматами. Внутренние форматы редакторов меняются в зависимости от версии, и отслеживать эти изменения, корректировать ПО довольно трудозатратно. Поэтому все системы семейства ПЕРСОНА формируют файлы отчётов, которые могут быть просмотрены любым текстовым редактором, а в документации приведены примеры макросов для корректной печати таблиц Microsoft Word.

Внедрение системы под управлением ОС DOS регламентируется приказами Росгидромета № 52 от 22.05.1997, № 193 от 17.09.2003, решением Межгосударственного совета по гидрометеорологии 2003 года.

В 2017 году получено Свидетельство № 2017614712 о государственной регистрации программы для ЭВМ под управлением ОС WINDOWS.

Система ПЕРСОНА МИС внедрена также в странах СНГ, в гидрометслужбах Республик Беларусь, Казахстан, Таджикистан, Кыргызской Республики, Туркменистана.

Первые программы системы ПЕРСОНА МИС были разработаны в январе—мае 1990 года в Антарктическом метеорологическом центре «Молодёжная». Разработка велась одновременно на двух ЭВМ: Ковалёвым Н.П. — на IBM PC (без русификатора, с чёрно-белым монитором) и Апариным Б.В. — на ЭВМ «СМ-1420».

На текущий момент программные модули системы ПЕРСОНА МИС разработаны при использовании языков программирования:

- Fortran-77, Fortran-90 — 92 исполняемых модуля без учёта статических библиотек;
- Delphi — 2 исполняемых модуля;
- C# — графическое представление данных.

Если анализировать библиотеки, разработанные для функционирования системы ПЕРСОНА МИС, то самые крупные представлены в таблице.

Всего в библиотеках ПЕРСОНА МИС разработано более 1100 программных модулей.

В отделе информационных технологий первичной обработки гидрометеорологической информации (ОИТПОГИ) ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» разработан и сопровождается на

ежеквартальной основе достаточно широкий ряд программных продуктов, которые можно отнести к одному семейству программного обеспечения — семейству систем ПЕРСОНА. Это системы сбора, первичной обработки, накопления, анализа данных гидрометеорологических наблюдений станций и постов Росгидромета, а также формирования разнообразной гидрометеорологической продукции.

Т а б л и ц а

Перечень самых крупных библиотек системы ПЕРСОНА МИС

Название библиотеки	Описание содержимого библиотеки	Количество модулей
COM	Общие программы системы ПЕРСОНА МИС	115
JOD	Этап архивации и программы создания архива ТМС (результаты наблюдений)	114
RAB	Сервисные и вспомогательные программы системы ПЕРСОНА МИС	100
JSM	Этапы создания архива ТМСС — суточные выводы и архива ТМСМ — месячные выводы	100
PERSONA	Диалоги системы ПЕРСОНА МИС, рабочий стол	83
OB	Формирование рядов данных для пространственного контроля, сервисные и прикладные программы	72
BL	Этап раскодирования, синтаксического и семантического (1-й уровень) контроля	65
WGR	Программы восстановления забракованных данных	60
SEM	Этап семантического контроля 2-го уровня	57
MET	Этапы формирования таблиц ТМС и таблиц Метеорологического ежемесячника, часть 1	46

К системам семейства ПЕРСОНА относятся: ПЕРСОНА МИС — автоматизированная система сбора, обработки и накопления текущей метеорологической информации станций; ПЕРСОНА МИП — автоматизированная система сбора, обработки и накопления текущей метеорологической информации постов [3]; ПЕРСОНА БЕРЕГ — автоматизированная система сбора, обработки и накопления текущей прибрежной гидрометеорологической информации [2]; ПЕРСОНА СНП — программно-технологический комплекс формирования таблиц Метеорологического ежегодника

по снежному покрову и файлов долговременного хранения данных станций и постов по снежному покрову за период двух смежных календарных лет [16]; ПЕРСОНА ДСТ — программно-технологический комплекс специализированных средств доступа к метеорологическим данным.

У всех систем семейства ПЕРСОНА схожая архитектура построения внутренней структуры файлов и папок, принципы и этапы обработки информации, похожие графические интерфейсы. Работа в системах интуитивно понятна. Следовательно, все проблемы, с которыми разработчики столкнулись при анализе путей модернизации ПЕРСОНА МИС, рано или поздно возникнут для каждой из указанных выше систем.

Постановка задачи

Какой бы качественной ни была система, наступает момент, когда она перестаёт удовлетворять новым требованиям в условиях развития новых технологий и распространения современных технологических решений.

В частности, технологические и функциональные возможности системы ПЕРСОНА МИС не позволяют обрабатывать данные режимной части новых видов наблюдений автоматических измерительных приборов с дискретностью в один час, которыми можно было бы расширить состав хранимой в ЕГФД информации. Fortran-77 и Fortran-90 не являются языками, позволяющими формировать сложные структуры данных. Для того, чтобы расширить список обрабатываемых параметров, необходимо переработать абсолютно каждый модуль, обращающийся к месячной порции данных или к паспортным характеристикам станции, включая функции библиотек. Состав входящих параметров, типов данных, размерности массивов жёстко зафиксированы.

Обработка новых видов наблюдений повлечёт за собой:

- расширение внутренних форматов новыми областями;
- расширение блоков контроля новыми алгоритмами;
- разработку новых алгоритмов обобщения данных;
- формирование новых видов режимно-справочных и отчётных материалов.

Увеличатся возможности восстановления забракованных и пропущенных данных в срок наблюдений при помощи показаний автоматических датчиков.

Потребуется переработка структуры архивов долговременного хранения: ТМС — ЯОД-архив «Текущая метеорологическая информация станций — результаты наблюдений»; ТМСС — ЯОД-архив «Текущая метеорологическая информация станций — суточные выводы»; ТМСМ — ЯОД-архив «Текущая метеорологическая информация станций — месячные выводы» [8]. Кроме добавления в обработку новых типов записей потребуется изменение кодировки текстовых значений — названия станции и свободного текста. Используемая на текущий момент кодировка ДКОИ-8 не обеспечивает взаимно-однозначной интерпретации вводимых и закодированных данных.

Ситуацию осложняет отсутствие комментариев в программном коде действующей ПЕРСОНА МИС. Разбор и анализ кода требует большого количества трудозатрат при модернизации программ.

Существенным ограничением работоспособности системы ПЕРСОНА МИС является наличие русскоязычной ОС Windows. При переходе с операционных систем семейства Windows на отечественные ОС семейства Linux в качестве временного решения может быть предложена эксплуатация ПЕРСОНА МИС с использованием Wine — свободного программного обеспечения для запуска Windows-приложений на нескольких POSIX-совместимых операционных системах. Однако данное решение не стоит рассматривать как постоянное. Wine предоставляет слой совместимости, который перехватывает системные вызовы программы для Windows и транслирует их в нативные вызовы ОС Linux. Дополнительная прослойка между ПО и ОС может привести к нестабильной работе части функционала: возможны задержки и прерывания выполнения программ, зависящие в том числе от версий Wine. Запуск модуля графического представления данных может быть осуществлён только после поиска и установки дополнительных библиотек и компонентов.

Для расширения состава данных наземной метеорологической наблюдательной сети Росгидромета и бесперебойного поступления в ЕГФД проконтролированных архивов долговременного хранения метеорологической информации по наземной территории Российской Федерации требуется разработка нового поколения систем семейства ПЕРСОНА — кроссплатформенного программного обеспечения с использованием современных языков и подходов программирования.

На этапе формирования концепции разработки системе было присвоено предварительное название ПЕРСОНА MFM (More Frequent Measurements) — система сбора, обработки и накопления метеорологической информации станций с учётом данных учащённых измерений.

Чтобы не вступить в противоречие с Федеральным законом от 24.06.2025 № 168-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», на русском языке название новой разрабатываемой кроссплатформенной автоматизированной системы регистрируется как ПЕРСОНА МФМ (Многокомпонентная функциональная метеорология).

Основными требованиями к ПЕРСОНА МФМ являются:

- кроссплатформенность — способность программного обеспечения работать с несколькими операционными системами (Windows, Linux);
- выполнение всех функций по сбору, обработке и накоплению данных метеорологических станций и формированию архивов долговременного хранения с учётом расширения перечня наблюдаемых параметров в программе наблюдения станций;
- совместимость выходных форматов данных с форматами накопленных многолетних рядов метеорологических данных, хранящихся в ЕГФД;
- открытая архитектура построения в виде законченных алгоритмов и функциональных модулей;
- автономная работа на ПК пользователя и при необходимости — возможность обмена данными с внешней СУБД в виде запросов или файлов экспорта-импорта.

Проектные решения

В качестве языка разработки системы ПЕРСОНА МФМ выбран Java (версия 17) — строго типизированный объектно-ориентированный язык программирования общего назначения [7, 19, 21, 22].

Среда разработки — IntelliJ IDEA Community Edition.

Язык Java выбран из-за ряда преимуществ: удобный синтаксис; возможность работать в рамках объектно-ориентированной парадигмы; безопасная работа с памятью; высокая совместимость между версиями; малое количество «синтаксического сахара»; высокая предсказуемость кода на этапе компиляции и выполнения; популярность среди отечественных разработчиков. Важной особенностью технологии Java является гибкая система безопасности, в рамках которой исполнение программы полностью контролируется виртуальной машиной. Любые операции, которые превышают установленные полномочия программы (например попытка несанкционированного доступа к данным или соединения с другим компьютером), вызывают немедленное прерывание.

Программы на Java транслируются в байт-код, выполняемый виртуальной машиной Java (JVM) — программой, обрабатывающей скомпилированный код и передающей инструкции оборудованию как интерпретатор. Достоинством подобного способа выполнения программ является полная независимость байт-кода от операционной системы и оборудования, что позволяет выполнять Java-приложения на любом устройстве, для которого существует соответствующая виртуальная машина.

При разработке программного обеспечения ПЕРСОНА МФМ принято решение не использовать сторонние зависимости, а только тот инструментарий, который входит в Open Jdk — бесплатную реализацию платформы Java Platform, Standard Edition (Java SE) с открытым исходным кодом.

Будут сохранены основные этапы обработки данных, реализованные в виде отдельных модулей. В отличие от действующей ПЕРСОНА МИС произойдёт ряд изменений. Будут убраны функции АРМ (ввод данных по формам, приближённым к формам книжек наблюдений, формирование оперативных телеграмм). Произойдёт сокращение количества исполняемых модулей до

количества этапов обработки, а также сокращение количества внутренних папок и конфигурационных файлов. Многие из них утратили свою функциональность после перевода системы из ОС DOS в ОС Windows. Планируется переработка структуры сопроводительных документов: протоколы сверки и контроля, справочная информация будут представлены в едином стиле, содержать информацию в интуитивно понятном виде без дублирования. Произойдёт добавление в обработку новых видов наблюдений с дискретностью в один час (при наличии Наставления) и сопутствующих видов наблюдений в соответствии с Перечнем, согласованным с методическим отделом ФГБУ «ГГО».

В связи с расширением Перечня наблюдаемой информации потребуется расширение состава паспортных характеристик станций, форматов отчётных материалов — добавление новых видов таблиц. Произойдёт добавление новых типов записей в архивы долговременного хранения — срочные (ТМСД), суточные (ТМССД), месячные (ТМСМД).

Разрабатываемая система будет состоять из модулей — исполняемых файлов, использующих общий набор компонентов и единую логику взаимодействия между собой. Подобный подход заметно упрощает развитие и сопровождение системы за счёт возможности независимой модификации, тестирования и обновления отдельных этапов. Все модули обработки будут собраны в единый проект, что обеспечит простоту пересборки при внесении изменений.

Для запуска ПЕРСОНА МФМ будут разработаны специальные скрипты, действующие в ОС Windows (*.bat) и в ОС Linux (*.sh). Для того, чтобы защитить программные коды от возможности анализа и применения в других программных продуктах, будет применяться обфускация байт-кодов собранных jar-пакетов.

В качестве инструмента, позволяющего отслеживать любые изменения в файлах, хранить их версии и оперативно возвращаться в любое сохранённое состояние, выбран Git — самая популярная и широко используемая распределённая система контроля версий [1]. Git упрощает совместную работу, предотвращает потерю данных и помогает координировать действия разработчиков.

Первый этап разработки системы ПЕРСОНА МФМ

Работа над ПЕРСОНА МФМ ведётся с 2024 года.

Была определена общая концепция, выбраны проектные решения по разработке программного обеспечения нового поколения. Происходит анализ и доработка существующих алгоритмов и описаний ПЕРСОНА МИС. Анализу подвергались не только имеющиеся файлы описания и инструкции, но и программный код. В технической документации системы ПЕРСОНА МИС алгоритмы вычисления средних величин описаны общими словами, без указания всех нюансов обработки. Комментарии в программном коде практически отсутствуют. Сами программы были разработаны достаточно давно — некоторые более 20 лет назад, поэтому процесс анализа занимает существенное время. Отдельные алгоритмы полностью переосмысливаются и перерабатываются.

Начата разработка отдельных исполняемых модулей системы.

Разработаны и запрограммированы форматы представления данных первичных наблюдений метеорологической информации станций в оперативной памяти, а также форматы представления суточных, декадных и месячных обобщений данных одной станции в пределах месяца.

Решён вопрос с кодировкой внешних файлов и файлов входных данных — производится автоматическое распознавание кодировок ANSI, UTF-8, ASCII (DOS).

На текущий момент виды обрабатываемых данных соответствуют действующему «Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам» (Вып. 3, ч. 1, Гидрометеиздат, 1985 год). Это сделано для возможности в дальнейшем сравнения результатов работы новой системы с результатами внедрённой на сети системы ПЕРСОНА МИС.

В первую очередь разработан ряд программ общего назначения, используемых при работе всех этапов системы. К таким программам можно отнести, например, чтение и запись текстовых файлов с учётом автоматического определения кодировки текста; формирование итоговых протоколов для дальнейшего вывода в оговорённом формате; специализированные математические

операции и операции конвертирования форматов; работа с индексами массивов областей внутренних форматов — поиск индекса по дню и сроку, по дню и часу, определение временных характеристик по индексу, определение дня и срока/часа UTC в зависимости от индекса, увеличение/уменьшение срока/часа в зависимости от начала метеорологических суток и т.п.

Разработаны программы транскодирования данных первичных наблюдений, представленных в виде блочного кода — специализированного формата для кодирования и занесения метеорологической информации станций на технический носитель [13], и паспортных характеристик станции во внутренний формат представления данных.

Кроме программ общего синтаксического контроля, включающего контроль временных и информационных блоков на соответствие допустимому представлению и контроль метеорологических величин на граничные значения, реализован 51 алгоритм дополнительного синтаксического контроля, устанавливающего соответствие значений групп информационного блока их возможному представлению в конкретной ситуации, то есть в зависимости от значений других характеристик.

Разработаны программы семантического контроля первого уровня. Под семантическим контролем первого уровня понимается контроль данных в пределах одного блока одной временной единицы наблюдения. Также к семантическому контролю первого уровня относится межблочный и межсрочный контроль в пределах одной величины. Всего реализовано 166 алгоритмов семантического контроля 1-го уровня. Сортировка результатов работы программы проводилось по суткам, срокам наблюдений и номеру критерия внутри срока.

По итогам работы программ формируются протоколы обработки.

Фрагменты файлов протоколов с результатами синтаксического контроля и семантического контроля первого уровня данных станции приведены на рисунке.

Проведена сверка полученных результатов синтаксического контроля метеорологических данных станций и семантического

контроля первого уровня с результатами, полученными при обработке данных действующей на сети Росгидромета системой ПЕРСОНА МИС. Сравнение протоколов общего синтаксического контроля проводилось визуально. Для сверки результатов дополнительного синтаксического контроля и семантического контроля 1-го уровня была разработана программа сопоставления протоколов работы двух систем с выводом несовпадений в отдельный протокол.

Разработан ряд программ вычисления обобщений метеорологических данных станций в пределах метеорологических суток и декад.

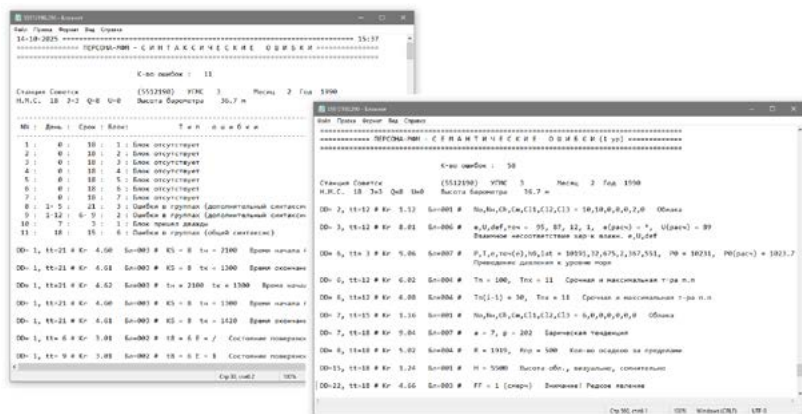


Рис. Файл протокола с результатами синтаксического контроля и семантического контроля первого уровня данных станций

Заключение

Кроссплатформенное программное обеспечение нового поколения сбора, обработки и накопления режимных данных наземных метеорологических станций Росгидромета предназначено для полноценного функционирования и автоматизации процесса формирования архивов долговременного хранения в условиях расширения состава архивированной информации данными новых измерений с дискретностью в один час. Программное

обеспечение должно функционировать в операционных средах семейства Windows и Linux, иметь открытую архитектуру построения в виде законченных алгоритмов и функциональных модулей. Форматы данных и алгоритмы работы программ должны иметь преимущество внедрённой на сети Росгидромета системы обработки метеорологических данных ПЕРСОНА МИС и соответствовать действующим Наставлениям и РД гидрометеорологическим станциям и постам.

В статье обоснованы причины разработки программного обеспечения нового поколения систем семейства ПЕРСОНА с использованием современных технологических средств разработки программного обеспечения и представлены результаты проделанных на первом этапе работ.

Работы будут продолжены до полноценного внедрения автоматизированной системы сбора, обработки и накопления режимных данных наземных метеорологических станций ПЕРСОНА МФМ на сети Росгидромета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pro Git* [Электронный ресурс] / С. Чакон, Б. Штрауб. Режим доступа: <https://git-scm.com/book/ru/v2>.
2. *Автоматизированная система* первичной обработки текущей режимной прибрежной информации морских станций и постов ПЕРСОНА БЕРЕГ / Е.Н. Зубрицкая. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018614083, 29.03.2018. Заявка № 2018611262 от 12.02.2018.
3. *Автоматизированная система* первичной обработки, накопления и анализа метеорологической информации постов ПЕРСОНА МИП / Л.А. Волкова, Т.П. Правосудько, Е.Н. Зубрицкая, Е.В. Амельченко. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017617496, 05.07.2017. Заявка № 2017614532 от 18.05.2017.
4. *Автоматизированная система* первичной обработки, накопления и анализа метеорологической информации станций ПЕРСОНА МИС / Е.Н. Зубрицкая, Е.В. Амельченко, Л.А. Волкова, Т.П. Правосудько. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017614712, 26.04.2017. Заявка № 2017612385 от 23.03.2017.
5. *Ашкрофт Дж., Элдридж Р., Полсон Р., Уилсон Г.* Программирование на Фортране 77. М.: Радио и связь, 1990. 272 с.

6. *Бартенев О.В.* Современный Fortran. М.: Диалог МИФИ, 2000. 448 с.
7. *Блинов И.Н.* Java from EPAM: уч.-метод. пособие / И.Н. Блинов, В.С. Романчик. Минск: Четыре четверти, 2020. 560 с.
8. *Веселов В.М.* Архивы Госфонда на ПЭВМ и технология их организации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2002. Вып. 170. С. 16–30.
9. *Веселов В.М.* Язык описания гидрометеорологических данных для IBM PC совместимых ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1996. Вып. 160. С. 41–54.
10. *Меткалф М., Рид Дж.* Описание языка программирования Фортран 90. М.: Мир, 1995. 302 с.
11. *Методические рекомендации* по использованию на наземной метеорологической наблюдательной сети дополнительных датчиков для автоматизированного метеорологического комплекса (утв. КУП 18.01.2018). Санкт-Петербург, 2017. 89 с.
12. *Методические рекомендации* по работе со специальным программным обеспечением автоматизированного метеорологического комплекса для наблюдателя метеорологической станции. Санкт-Петербург, 2023. 122 с.
13. *Методические указания* по автоматизированной обработке гидрометеорологической информации. Вып. 3, часть 1, раздел 1: Метеорологическая информация станций. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2000. 68 с.
14. *Наставление* гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, часть 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 300 с.
15. *Приказ* Минцифры России от 18.01.2023 № 21 «Об утверждении Методических рекомендаций по переходу на использование российского программного обеспечения, в том числе на значимых объектах критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, и о реализации мер, направленных на ускоренный переход органов государственной власти и организаций на использование российского программного обеспечения в Российской Федерации».
16. *Программно-технологический комплекс* формирования таблиц метеорологического ежегодника по снежному покрову и архивации данных станций и постов в формате ЯОД ПЭВМ «ПЕРСОНА СНП» / Т.П. Правосудько, Л.А. Волкова, Е.Н. Зубрицкая, Е.В. Амелченко. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019665612, 26.11.2019. Заявка № 2019664710 от 19.11.2019.
17. *Р 52.04.818–2014* Рекомендации по эксплуатации автоматизированных метеорологических комплексов в наблюдательных подразделениях. Санкт-Петербург, 2014. 46 с.
18. *РД 52.04.614–2000* Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, часть 2: Обработка материалов метеорологических наблюдений. СПб.: Гидрометеоиздат, 2000. 119 с.

19. Седжвик Р. Алгоритмы на Java. 4-е издание / Р. Седжвик, К. Уэйн. М.: И.Д. Вильямс, 2013. 848 с.
20. Фортран 90. Международный стандарт / Перевод с англ. С.Г. Дробышевич, редактор перевода А.М. Горелик. М.: Финансы и статистика, 1998. 378 с.
21. Шилдт Г. Java. Полное руководство. 12-е издание / Г. Шилдт. Санкт-Петербург: Диалектика, 2023. 1344 с.
22. Эванс Б. Java для опытных разработчиков. 2-е издание / Б. Эванс, Д. Кларк, М. Фербург. Санкт-Петербург: Питер, 2024. 736 с.

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

СОВРЕМЕННЫЕ И ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕК ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И ЗАБАЙКАЛЬЯ

Е.В. Гниломедов

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

Введение

Предупредить последствия опасных наводнений, выявить наиболее подверженные опасности затопления населённые пункты, обеспечить бесперебойный режим работы ГЭС в будущем возможно при заблаговременной подготовке к изменениям гидрологического режима рек. Используемые в данной работе результаты расчёта прогностических оценок количества осадков на ближайшие десятилетия дают возможность определить направленность и интенсивность изменений водности рек, что в свою очередь позволяет предотвратить надвигающиеся риски.

Объектом исследования являются реки, расположенные в пределах бассейна реки Амур и восточнее бассейна Лены. Для них характерно увеличение количества опасных наводнений. Причиной наводнений явились аномальные изменения циркуляции воздушных масс над югом Сибири и Дальним Востоком.

Структура исследований данной работы состоит из нескольких этапов: подготовка рядов многолетних данных годового слоя стока воды, максимальных и минимальных годовых расходов воды, максимальных годовых уровней воды рек, количества предшествующих осадков в их водосборах; сравнительный анализ изменения годового слоя стока и количества осадков и получение регрессионных зависимостей; вычисление на ближайшие десятилетия ожидаемых изменений годового слоя стока указанных рек на основе регрессионных соотношений с прогностическими оценками количества осадков в их водосборах.

Новизна исследований выражается в расчёте прогнозных оценок годового слоя стока воды и их сравнении с современной гидрологической обстановкой. Рассмотрена методика прогноза, проведены расчёты и анализ полученных результатов, которые представлены в картографическом виде.

1. Подготовка рядов многолетних данных гидрологических характеристик и осадков по рекам Дальнего Востока и Забайкалья и их анализ

Основная часть бассейна реки Амур находится в зоне достаточного увлажнения и располагает большими запасами пресных вод. Питание реки происходит преимущественно за счёт летне-осенних муссонных дождей. Диапазон изменения годовых сумм осадков по территории значителен — количество осадков увеличивается с запада на восток и юго-восток [1]. Для Амура характерен дальневосточный тип водного режима с продолжительными летне-осенними дождевыми паводками и невысоким весенним половодьем, в котором основным источником питания являются дождевые осадки. До 70–80 % годового стока приходится на паводочный период [2]. Поэтому на данной территории наибольшую опасность для промышленно и социально значимых объектов представляет не столько половодье, сколько следующие за ним паводки. В этой связи в качестве фактора гидрологической опасности здесь следует рассматривать период, начинающийся с половодья в апреле-мае, включая серию следующих за ним паводков, вызванных интенсивными и продолжительными дождями, и заканчивающийся в сентябре-октябре. В частности, на реке Селенга в отдельные годы дождевые паводки проходят и в более ранние сроки (апрель, май), накладываясь на волну половодья [3].

Гидрологический режим рек Колыма, Индигирка и Яна характеризуется весенним половодьем, сильными летними и осенними дождевыми паводками и имеют преимущественно снеговое и дождевое питание. Для них свойственно высокое весенне-летнее половодье и низкая зимняя межень. На гидрологический режим рек влияет вечная мерзлота, которая вызывает аномально низкую водность в зимний период.

Таблица 1

**Список гидрологических постов, выбранных для дальнейших расчётов
и характеристики ряда данных по годовому слою стока**

Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблю- дений	Площадь водосбора, кв.км	Тренд за 10 лет, %	Средний годовой слой стока за 1981–2023 гг.
р. Тауй — с. Талон	1566	25100	+7,0	472
р. Большой Анюй — ГМС Кон- стантиновская	1596	49600	+2,2	172
р. Колыма — г. Среднеколымск	1801	361000	+8,0	210
р. Камчатка — р.п. Козыревск	2017	32500	+3,9	485
р. Яна — г. Верхоянск	3414	45300	+4,8	120
р. Адыча — г.п. Юрджук-Кумах	3445	89600	+5,2	219
р. Бытантай — пос. Асар	3483	40000	+6,9	132
р. Индигирка — пос. Индигир- ский	3489	83500	+4,8	176
р. Амур — с. Богородское	5033	1790000	+1,8	200
р. Амгунь — с. Гуга	5453	41000	+4,5	395
р. Шилка — г. Сретенск	6067	175000	-6,8	84
р. Зея — с. Белогорье	6295	229000	+5,5	253

Как видно из табл. 1, современные (1981–2023 гг.) тренды изменения годового слоя стока (столбец 4) имеют положительное значение. Исключение составляют и без того засушливые районы Забайкалья, в частности бассейн реки Шилка. Тренды максимальных и минимальных годовых расходов воды в целом повторяют направленность трендов годового стока. Часто зимние минимальные расходы воды отсутствуют вследствие полного промерзания рек на севере региона. Данные результаты были сопоставлены с результатами, полученными ранее специалистами ВНИИГМИ-МЦД и другими исследователями, и подтверждают сделанные выводы [4, 5]. В частности, по низовьям Амура также выявлена тенденция сохранения величины стока [6].

Многолетние ежемесячные данные по осадкам были подготовлены по метеорологическим станциям всей территории России за 1981–2023 гг. Далее при помощи ГИС метеостанции были

распределены по водосборам. Из полученного списка метеостанций в дальнейшем были оставлены те, которые характеризуют поступление осадков в пределах водосборов двенадцати отобранных на предыдущем этапе гидрологических постов (табл. 1).

При дальнейшей обработке рядов ежемесячных данных по осадкам были забракованы явно ошибочные данные. В конечном итоге многолетние ряды ежемесячных данных по осадкам по каждой отобранной станции были просуммированы за периоды с начала ледостава предыдущего и до начала ледостава текущего расчётного года. Такой расчёт суммы осадков в наибольшей степени соответствует условиям формирования годового стока воды.

2. Сравнительный анализ изменения годового слоя стока воды и количества осадков, максимальных годовых уровней воды и уровней наступления опасного явления

Зависимость стока от осадков весьма сложна и подвержена влиянию многих факторов. Поэтому был выбран метод, основанный на построении линейных эмпирических зависимостей [7].

В процессе работ водосборы этих рек были разделены на участки. Для водосборов гидрологических постов р. Амур — с. Богородское и р. Колыма — г. Среднеколымск из-за больших площадей водосбора был применён метод квадратов [8]. По этому методу бассейн реки разбивается на сеть равновеликих квадратов, для каждого из которых вычисляется средний слой осадков как среднее арифметическое по данным метеостанций, попавших в квадрат.

Для остальных гидрологических постов был выбран метод взвешивания [8], который более подходит для небольших водосборов или водосборов с ограниченным числом метеостанций. Здесь участок строится вокруг каждой отдельной метеостанции, а его площадь определяет тот вес, с которым должны быть приняты осадки по данным этой станции в дальнейших расчётах среднего слоя осадков в бассейне.

Таким образом, стало возможным сопоставить годовую (от начала ледостава предыдущего и до начала ледостава текущего расчётного года) сумму осадков в пределах водосбора R с

годовым слоем стока воды h в замыкающем водосбор створе. Однако не весь объём воды, поступивший в пределы водосбора в виде осадков, участвует в формировании стока воды. Значительная часть испаряется или аккумулируется в естественных и искусственных водоёмах, подземных водах, ледниках и поступает в речное русло в годы, следующие за расчётным. Тем самым влияние количества осадков на сток воды усложняется, что снижает корреляцию рядов многолетних значений R и h . Нужно исключить из расчётов те участки водосбора, где связь между количеством осадков и количеством воды, поступившем в речную сеть в текущем расчётном периоде, искусственно нарушена вследствие сооружения водохранилищ и водозаборных сооружений либо является сложной по естественным причинам. Для выявления таких участков водосбора был использован метод, описанный в предыдущих работах [4].

Таким образом, из расчётов были исключены участки водосборов с нарушенной связью между h и R . По оставшимся участкам были посчитаны коэффициенты корреляции между h и R (табл. 2). Также приведены коэффициенты детерминации, показывающие долю тех изменений величины h , которая в данной зависимости определяется колебанием значений слоя осадков R .

Таблица 2

Характеристики сравнительного анализа годового слоя стока воды h и количества осадков R в их водосборах

Река — пост	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации между R и h	Коэффициент корреляции между R и h
р. Тайг — с. Талон	$h = 0,6623R - 19,171$	0,64	0,80
р. Большой Анюй — ГМС Константиновская	$h = 0,4047R + 47,948$	0,45	0,67
р. Колыма — г. Среднеколымск	$h = 0,8035R - 73,127$	0,51	0,71
р. Камчатка — р.п. Козыревск	$h = 0,5713R + 165,96$	0,62	0,79
р. Яна — г. Верхоянск	$h = 0,4022R + 33,786$	0,51	0,71
р. Адыча — г.п. Юрдюк-Кумах	$h = 0,9658R - 20,214$	0,45	0,67

Окончание табл. 2

Река — пост	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации между R и h	Коэффициент корреляции между R и h
р. Бытантай — пос. Асар	$h = 0,5101R + 41,604$	0,53	0,73
р. Индигирка — пос. Индигирский	$h = 0,7879R - 10,915$	0,68	0,82
р. Амур — с. Богородское	$h = 0,5819R - 128,24$	0,72	0,85
р. Амгунь — с. Гуга	$h = 0,7214R - 43,538$	0,73	0,86
р. Шилка — г. Сретенск	$h = 0,4699R - 84,435$	0,80	0,90
р. Зея — с. Белогорье	$h = 0,5893R - 88,102$	0,71	0,84

Как видно из табл. 2, полученные коэффициенты корреляции между h и R колеблются в диапазоне от 0,67 до 0,90, что говорит о достижении устойчивой связи между значениями. Наименьшие значения коэффициентов корреляции (0,67) получены по гидрологическим постам на реках Адыча и Большой Анюй. В целом по рекам северной части исследуемой территории (бассейны Яны, Индигирки, Колымы и др.) коэффициенты корреляции между h и R ниже, чем по рекам, расположенным на юге (бассейн Амура, Амгунь). Это можно объяснить тем, что водосборы северных рек расположены в зоне с вечной мерзлотой, которая вносит свой вклад в формирование стока рек.

Сравнительный анализ максимальных годовых уровней воды и уровней наступления опасного явления был проведён для крупных населённых пунктов исследуемой территории. В табл. 3 приведены отметки наступления неблагоприятного (НЯ) и опасного (ОЯ) явлений, вызванных подъёмом уровня воды в реке. Выявленные линейные тренды изменения максимальных годовых уровней воды $H_{\text{макс}}$ за период 1981–2023 гг. показывают возможность усугубления ситуации с затоплением и подтоплением данных населённых пунктов в ближайшие годы (табл. 3, столбец 4). Наиболее неблагоприятно положение дел может сложиться в городах Среднеколымск, Белогорск, Комсомольск-на-Амуре.

Таблица 3

Уровни наступления неблагоприятного (НЯ) и опасного (ОЯ) явлений и тренды изменения максимальных годовых уровней воды $H_{\text{макс}}$ за период 1981–2023 гг.

Река — пост	НЯ, см над нулём поста	ОЯ, см над нулём поста	Тренд $H_{\text{макс}}$, см/10 лет
р. Колыма — г. Среднеколымск	39,6	39,6	+7,0
р. Чита(Читинка) — г. Чита	18,6	2,1	+7,8
р. Уда — г. Улан-Удэ	30,1	4,3	-29,5
р. Нерча — г. Нерчинск	11	3,4	+1,6
р. Борзя — г. Борзя	7,2	3,4	-5,4
р. Хилок — г. Хилок	23,8	6,7	-10,9
р. Зея — г. Благовещенск	27,2	8,4	+1,5
р. Большая Бира — г. Биробиджан	54	17,8	-4,5
р. Амур — г. Комсомольск	33,9	8,2	+9,4
р. Томь — г. Белогорск	17,6	6,9	+10,6
р. Тында — г. Тында	48,2	21,1	+2,8
р. Большой Невер — г. Сковородино	8,2	1,9	-4,2

3. Вычисление на два ближайших десятилетия тенденций изменения годового слоя стока воды рек Дальнего Востока и Забайкалья и наполняемости водохранилищ

По полученным уравнениям регрессии были рассчитаны прогностические оценки стока воды на двенадцати выбранных гидрологических постах на период с 2030 до 2050 года включительно. В табл. 4 представлены осреднённые за 2000–2023 гг. фактические и прогнозные значения годового слоя стока воды h , а также их соотношение.

В качестве прогнозных значений осадков R были выбраны данные климатической модели ИВМ РАН версии INMCM5, рассчитанные в рамках проекта Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6).

Как видно, тренды изменения годового слоя стока воды h по Дальнему Востоку и Забайкалью имеют разнонаправленную тенденцию (табл. 4, столбец 4). В абсолютном выражении

значение h заметнее всего сократится на реках Камчатки (-71 мм) и северного побережья Охотского моря (-76 мм). Увеличение же годового слоя стока воды будет максимальным в бассейне реки Шилка. Здесь ожидается рост на 34 мм или на 48 % по отношению к 2000–2023 гг. Изменение в относительных величинах показано на рис. 2.

Таблица 4

Фактические и прогнозные значения годового слоя стока воды h , осреднённые за 2000–2023 и 2030–2050 гг. соответственно, и их соотношение

Река — пост	Фактические значения h за 2000–2023 гг.	Прогнозные значения h на 2030–2050 гг.	Изменение прогнозных значений h к фактическим, мм (%)
р. Тауй — с. Талон	517	441	-76 (-15)
р. Большой Анюй — ГМС Константиновская	173	155	-18 (-10)
р. Колыма — г. Среднеколымск	228	237	+9 (+4)
р. Камчатка — р.п. Козыревск	495	424	-71 (-14)
р. Яна — г. Верхоянск	128	110	-18 (-14)
р. Адыча — г.п. Юрдюк-Кумах	234	240	+6 (+3)
р. Бытантай — пос. Асар	138	117	-21 (-15)
р. Индигирка — пос. Индигирский	190	194	+4 (+2)
р. Амур — с. Богородское	210	237	+27 (+13)
р. Амгунь — с. Гуга	411	408	-3 (-1)
р. Шилка — г. Сретенск	71	105	+34(+48)
р. Зея — с. Белогорье	262	293	+31 (+12)

По информации на август 2025 года, одна из проблем Зейского водохранилища связана с недостаточностью порожних объёмов, которые остаются в водохранилище выше границы резерва маловодных лет (отметка 310 м). Это приводит к переполнению водохранилища в паводковых режимах и необходимости

без того засушливые северо-западные районы бассейна Амура, в частности водосбор реки Шилка.

Полученные данные о современных изменениях максимальных годовых уровней воды рек в районах расположения крупных населённых пунктов исследуемой территории позволяют судить о дальнейшем росте или снижении вероятности наступления неблагоприятных или опасных явлений, связанных с половодьем или паводками. Выделены города с наиболее вероятными опасностями затопления — это Среднеколымск, Белогорск, Комсомольск-на-Амуре.

Применяемая модель расчётов регрессионных зависимостей годового слоя стока воды от количества осадков, поступивших в водосбор, позволяет получить устойчивые связи с высокими значениями коэффициентов корреляции, превышающими аналогичные значения в работах других авторов, и позволяет определить периоды подъёма, спада и максимальных величин искомой характеристики по прогнозным значениям количества осадков. Также указанная модель даёт возможность, используя полученные уравнения регрессии, рассчитать с высокой точностью величину стока воды в предстоящее половодье и паводочный период по среднесрочным прогнозным данным осадков и результатам снегомерных наблюдений.

В результате проведённых расчётов с использованием данной модели были проведены прогностические оценки изменения годового слоя стока рек изучаемого региона на период с 2030 по 2050 год. Получено, что увеличение слоя стока ожидается в бассейне Амура, на остальной территории Дальнего Востока изменения нулевые или отрицательные. На основании данных оценок сделано заключение о тенденциях дальнейшего поступления воды в водохранилища, расположенные в пределах бассейнов рек региона.

Представленная в данной работе модель расчёта слоя стока воды в половодье и паводочный период на реках Камчатки, Забайкалья и бассейна Амура позволяет определить периоды подъёма, спада и максимальных величин искомой характеристики по прогнозным значениям количества осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комплексная эколого-экономическая оценка* развития гидроэнергетики бассейна реки Амур. М.: WWF России, EN+Group, 2015. 279 с.
2. *Экстремальные паводки* в бассейне Амура: гидрологические аспекты // Сб. работ по гидрологии / под ред. В.Ю. Георгиевского, ФГБУ «ГГИ». СПб.: ООО «ЭсПэХа», 2015. 171 с.
3. *Миллионщикова Т.Д.* Моделирование и предвычисление многолетних изменений стока р. Селенги // Диссертация, научный руководитель Гельфан А.Н. М., 2018. 131 с.
4. *Гниломедов Е.В.* Оценки тенденций стока воды в половодье и паводочный период на реках Камчатки, Забайкалья и бассейна Амура // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2021. Вып. 189. С. 72–92.
5. *Семёнов В.А., Гниломедов Е.В., Салугашвили Р.С., Голубев В.Н., Фролов Д.М.* География распределения и генезис климатообусловленных изменений экстремальных расходов воды, опасных наводнений и маловодий на реках России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2015. Вып. 179. С. 108–120.
6. *Мещенина Л.А., Новороцкий П.В., Пономарёв В.И.* Климатические изменения и колебания стока Амура // Вестник ДВО РАН, 2007. № 4. С. 44–54.
7. *Виссмен У., Харбаф Т.И., Кнэпп Д.У.* Введение в гидрологию. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 470 с.
8. *Клибашев К.П., Горошков И.Ф.* Гидрологические расчёты. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 460 с.

УДК 551.582.2

ДИНАМИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЙ ПОГОДЫ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Л.Н. Воробьева¹, А.Т. Санина²

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

Введение

Одной из важных отраслей экономики России является сельское хозяйство. По данным Росстата на его долю в 2024 году пришлось 3 % ВВП, а доля занятого населения в сельском хозяйстве составила 5 % [1].

Из-за географического положения и природно-климатических условий сельское хозяйство в России имеет свои особенности:

- зависимость от климата, плодородия почв, рельефа местности;
- сезонность производства.

Сельское хозяйство состоит из подотраслей: растениеводство (выращивание культурных растений) и животноводство (разведение животных). По данным Росстата производство продукции растениеводства и животноводства в 2024 году в хозяйствах всех категорий составило 4956,6 и 4403,8 млрд рублей соответственно. Основными выращиваемыми сельскохозяйственными культурами в растениеводстве являются зерновые, сахарная свёкла, семена подсолнечника, картофель, овощи. Основными видами продукции животноводства являются скот и птица на убой, молоко, яйца [1].

Растениеводство России развито в основном в лесостепной и степной зонах страны. В северных районах развивается земледелие в закрытом грунте.

Животноводство имеет региональный характер, связанный с природно-климатическими условиями. Молочное скотоводство

активно развивается в северных и северо-западных районах страны. Молочно-мясное скотоводство характерно для Краснодарского края, Центрально-Чернозёмного района, Западной Сибири. В степной и лесостепной зоне традиционно развито птицеводство.

В последние годы всё отчётливее прослеживается тенденция к увеличению количества опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений (ОЯ и НГЯ). Влияние ОЯ и НГЯ часто приводят к тому, что воздействие гидрометеорологических факторов на население и экономику становится существенным, нередко крайне опасным и разорительным. Это касается всех отраслей экономики, но особенно климатозависимой отраслью является сельское хозяйство. В докладе Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) говорится, что за последние 33 года стихийные бедствия нанесли глобальному сельскому хозяйству ущерб на сумму 3,26 триллиона долларов, что составляет около 4 % мирового аграрного ВВП [2]. В России в 2009–2022 гг. общие потери в сельском хозяйстве от ОЯ и НГЯ, по данным национального союза страховщиков, составили около 280 млрд руб. (в среднем 20 млрд руб. в год) [3].

В табл. 1 представлены типичные ущербы от ОЯ и НГЯ в сельском хозяйстве [3, 4]. Необходимо отметить, что в табл. 1 представлен неполный список типичных ущербов в сельском хозяйстве от условий погоды, тогда как фактические убытки варьируются от вида, масштаба и региона природных бедствий.

Таблица 1

Типичные ущербы от неблагоприятных условий погоды в сельском хозяйстве

Растениеводство	Животноводство
Последствия для земель сельскохозяйственного назначения (эрозия, засоление почв, отложение осадков)	Гибель или исчезновение скота, птицы
Гибель урожая, гибель многолетних деревьев	Повреждение пастбищных земель
Разрушение или повреждение сельскохозяйственных построек (склады, сараи и т.д.)	Повреждение или разрушение загонов для скота, птицы, складских помещений

Окончание табл. 1

Растениеводство	Животноводство
Гибель или уменьшение Запасов ресурсов сельскохозяйственного производства	Повреждение запасов кормов
Повреждение оборудования и техники	Повреждение техники и оборудования
Разрушение просёлочных дорог	Разрушение просёлочных дорог
Повреждение дренажной системы, ирригационной системы	Снижение продуктивности скота

Далее, в первом разделе статьи приводятся результаты статистического анализа воздействия ОЯ и НГЯ на сельское хозяйство России; во втором разделе рассмотрена динамика роста экономического эффекта (ЭЭ) гидрометеорологического обеспечения (ГМО) сельского хозяйства за последние 10 лет и его распределение по территориям деятельности управлений гидрометеорологической службы (УГМС).

1. Результаты статистического анализа воздействия опасных гидрометеорологических явлений на сельское хозяйство России

Статистика воздействия опасных гидрометеорологических явлений на сельское хозяйство России представлена на основании анализа сведений базы данных «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России» (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621326), которая ведётся в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с 1997 года по настоящее время. Структура и содержание базы данных определены в руководящих документах и методических указаниях Росгидромета [5, 6] и приведены в статьях авторов [7–9].

На территории России отмечается весь спектр опасных явлений погоды, и наличие такой базы данных позволяет исследовать их влияние на различные отрасли экономики, в том числе и на сельское хозяйство.

Статистика показывает, что за 35 лет наблюдения (1991–2025 гг.) произошло 21950 случаев нанесения ущерба опасными и неблагоприятными явлениями погоды отраслям народного хозяйства. Сравнительный анализ частоты проявления ущерба для всех 20 видов экономической деятельности показал, что наибольшие ущербы от ОЯ и НГЯ наносятся жилищно-коммунальному хозяйству, электроэнергетике, автотранспорту, сельскому хозяйству, что хорошо видно на рис. 1.

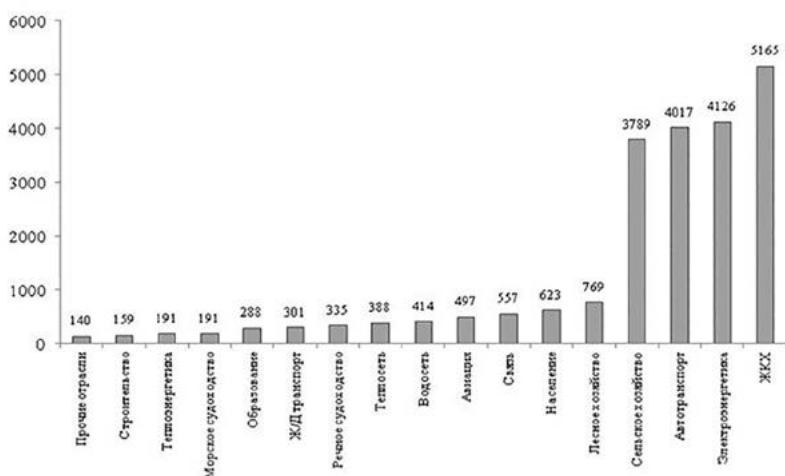


Рис. 1. Распределение количества случаев ОЯ и НГЯ с зафиксированным ущербом по отраслям экономики с 1991 по 2025 г.

Динамика проявления опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений, нанёсших ущерб сельскому хозяйству показана на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что с 1991 по 2007 год наблюдается интенсивный рост числа случаев воздействия условий погоды на сельское хозяйство. Количество случаев, нанёсших ущерб, в этот период варьируется от 32 до 161, т.е. число случаев воздействия выросло более чем в 5 раз. С 2008 года по-прежнему наблюдается рост показателей воздействия условий погоды на сельское хозяйство, но при этом интенсивность воздействия имеет равномерный разброс

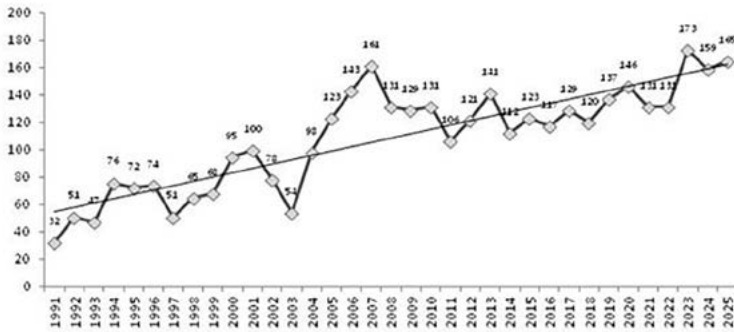


Рис. 2. Распределение числа случаев воздействия опасных условий погоды, нанёсших ущерб сельскому хозяйству с 1991 по 2025 г.

внутри последующих десятилетий, сохраняя положительную тенденцию. За последние 10 лет (2016–2025 гг.) среднее число воздействий ОЯ на сельское хозяйство составило почти 141 случай, что больше чем за последние 20 лет (2006–2025 гг.) — 135 случаев и, наконец, больше чем в среднем за весь период наблюдений (1991–2025 гг.) — 108 случаев.

Опасные и неблагоприятные гидрометеорологические явления, имеющие одинаковый характер воздействия и, соответственно, схожий характер нанесённого ими ущерба, объединены в 10 групп явлений: Ветер; Снег; Дождь; Жара+Мороз; Природные пожары; Наводнения; Агрометеорология; Лавины и сели; Гидрология; Комплекс неблагоприятных явлений (КНЯ) [9]. Диаграмма на рис. 3 наглядно демонстрирует повторяемость каждой группы явлений, нанёсших потери сельскохозяйственной отрасли РФ за 35-летний период наблюдения (1991–2025 гг.).

Выделяются три значимые группы явлений: Агрометеорология (повторяемость — 35,9), Дожди (повторяемость — 29,8) и Жара+Мороз (повторяемость — 22,8). Можно объяснить, почему именно эти группы. Группа Агрометеорология включает в себя ОЯ и НГЯ, которые в первую очередь влияют на сельское хозяйство: переувлажнение почвы, засухой, засуха атмосферная,

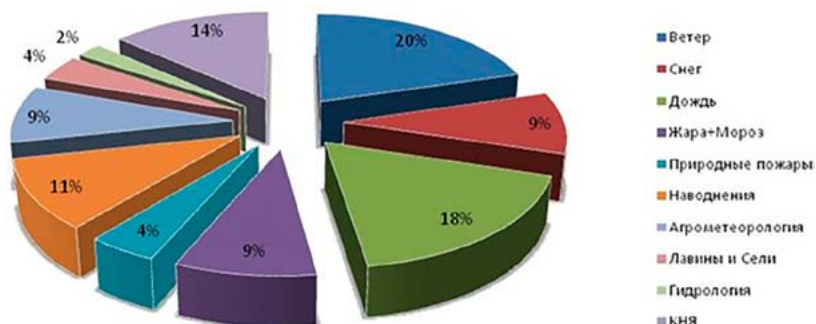


Рис. 3. Повторяемость каждой группы явлений, нанёсших потери в сельском хозяйстве с 1991 по 2025 г.

засуха почвенная, вымерзание растений, выпревание растений, ранее образование снежного покрова. При достижении опасных критериев этими явлениями ущерб сельскому хозяйству страны наносится колоссальный, который может выразиться и потерями урожая, и убытками в животноводстве, а также финансовыми потерями в сфере разрушения и восстановления объектов сельского хозяйства.

Резкое изменение температурного режима, а также появление заморозков (группа Жара+Мороз), тоже чаще всего сказывается на ущербе в сфере сельского хозяйства.

И наконец, экстремальные погодные явления, такие как град, ливни с высокой интенсивностью, сильный ветер (скорость при порывах 25 м/с и более), пыльные бури, которые могут выдувать и заносить посевы почвой (ОЯ первой и третьей групп), при достижении ими критических значений приводят, как правило, также к существенным потерям в сельском хозяйстве.

На рис. 4 наглядно показано неравномерное распределение по всей территории РФ количества ОЯ и НГЯ, нанёсших ущерб сельскому хозяйству.

На рис. 4 можно выделить несколько зон, где чаще всего наблюдается воздействие ОЯ и НГЯ на сельское хозяйство. В первую зону входит частично Южный ФО: Краснодарский край (321), Ставропольский край (290), Ростовская область (175) и

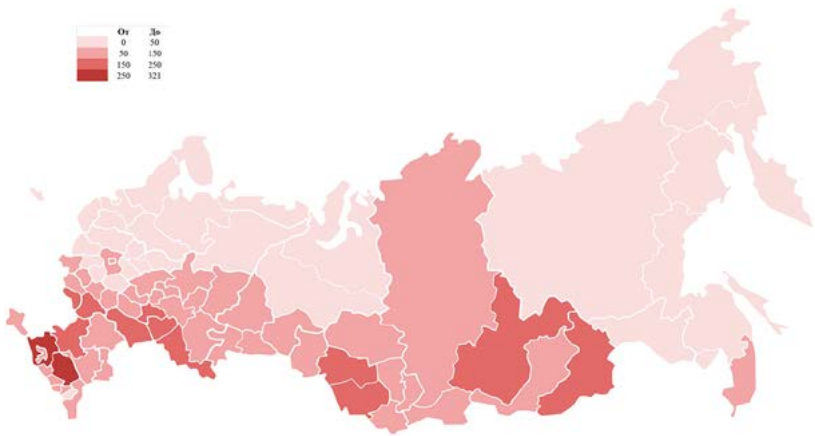


Рис. 4. Распределение количества ОЯ и НГЯ, нанёсших потери сельскому хозяйству с 1991 по 2025 г. по субъектам РФ

Республика Северная Осетия-Алания (142). В Приволжском ФО выделяется территория, включающая Самарскую (235), Саратовскую (230) области, Татарстан (143) и Ульяновскую область (157); в Центральном ФО — Белгородская (153), Воронежская (191), Курская (131), Тамбовская (140) области; в сибирской части страны — это Иркутская область (188), Забайкальский край (174), Республика Алтай (243), Новосибирская область (184).

Исследования специалистов в области анализа нанесённого ущерба сельскому хозяйству на территориях отдельных субъектов РФ показали, что ущерб может быть вызван различными факторами, включающими климатические аномалии, стихийные бедствия, природные гидрометеорологические явления, а также территориальное расположения отдельных регионов. Анализ сведений базы данных за 35 лет (1991–2025 гг.) показал, что чаще всего ущерб сельскому хозяйству наносится в регионах, расположенных на юге европейской части страны, в Черноземье, на юге Урала и юге Западной Сибири.

2. Экономический эффект от гидрометеорологического обеспечения сельского хозяйства России

Своевременное и эффективное использование гидрометеорологической информации позволяет максимально снизить возможные воздействия гидрометеорологических условий, а значит, и экономические потери во всех отраслях экономики, в том числе и в сельском хозяйстве. Сведения об ожидаемых и фактических условиях погоды, предоставляемые пользователям, позволяют им улучшать результаты финансово-хозяйственной деятельности и получать экономический эффект от метеорологического обслуживания.

ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» на регулярной основе проводит анализ и обобщение поступающих от УГМС сведений об экономическом эффекте от гидрометеорологического обеспечения различных отраслей экономики. В 2025 году экономический эффект от использования гидрометеорологической информации составил 115,5 млрд рублей. На рис. 5 показано распределение ЭЭ, полученного в 2025 году от использования гидрометеорологической информации по основным видам экономической деятельности.

Как видно из рис. 5, наибольший экономический эффект в 2025 году достигнут от применения гидрометеорологической информации в двух видах экономической деятельности: «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» — 30 %, «Транспорт и связь» — 29 %. Если в 2016–2025 гг. отмеченные выше два вида экономической деятельности периодически занимали первое место, меняя друг друга, то на третьем месте по величине экономического эффекта всегда находился вид экономической деятельности «Сельское хозяйство». Третье место объясняется тем, что коэффициент предотвращённых потерь в этой отрасли экономики является одним из самых высоких [10]. Как следствие — коэффициент предотвращённых потерь является одним из самых низких.

На рис. 6 показана динамика роста суммарного экономического эффекта и ЭЭ, полученного от ГМО сельского хозяйства за последние 10 лет. Наблюдается равномерный рост значений

экономического эффекта в этот период как по всем видам экономической деятельности, так и в сельском хозяйстве.



Рис. 5. Распределение ЭЭ по видам экономической деятельности в 2025 году

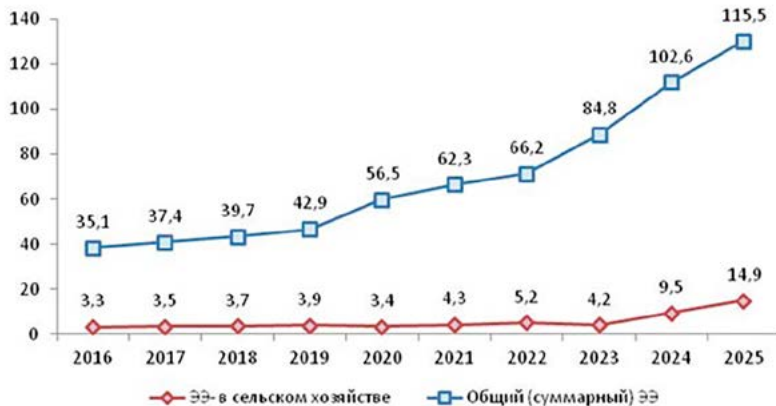


Рис. 6. Тенденции изменения общего ЭЭ и ЭЭ в сельском хозяйстве, полученные от ГМО с 2016 по 2025 г.

Суммарный экономический эффект гидрометеорологического обслуживания сельского хозяйства за 2016–2025 гг. составил 55,98 млрд рублей, что составляет 9,7 % от общего

ЭЭ (575,7 млрд рублей) за данный период (рис. 2). По сравнению с 2016 годом, ЭЭ в сельском хозяйстве вырос в 4,5 раза.

В табл. 2 приведены данные экономического эффекта гидрометеорологического обеспечения сельского хозяйства по УГМС за период с 2016 по 2025 год (млн руб. в ценах текущего года).

Как видно из табл. 2, за прошедшие 10 лет наибольший суммарный ЭЭ пришёлся на следующие УГМС: Забайкальское (1,34 млрд руб.), Западно-Сибирское (1,71 млрд руб.), Приволжское (1,91 млрд руб.), Центрально-Чернозёмное (1,58 млрд руб.), Крымское (2,51 млрд руб.), Обь-Иртышское (2,71 млрд руб.), Северо-Кавказское (4,47 млрд руб.), Центральное (37,3 млрд руб.).

Заключение

На основе проведённого анализа динамики и количественных оценок воздействия опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений подтверждён рост числа случаев воздействия неблагоприятных условий погоды на сельское хозяйство, что приводит к немалым потерям в этой отрасли. Статистически подтверждено, что сельское хозяйство входит в четвёрку видов экономической деятельности (в соответствии с ОКВЭД), которые наиболее подвержены ущербу от ОЯ и НГЯ.

За последние 10 лет (2016–2025 гг.) среднее число воздействий ОЯ на сельское хозяйство составило почти 141 случай, что намного больше, чем в среднем за весь период наблюдения (1991–2025 гг.) — 108 случаев. Наиболее подверженными опасности нанесения ущерба сельскому хозяйству от ОЯ НГЯ являются регионы, расположенные на юге европейской части страны, в Черноземье, на юге Урала и юге Западной Сибири.

Анализ результатов расчёта экономического эффекта от использования гидрометеорологической информации в сельском хозяйстве показал равномерный рост его значений за последние 10 лет. Проведённое исследование показало региональные особенности распределения ЭЭ в сельском хозяйстве, его дифференциацию от максимально низких значений до высоких значений. Наибольший ЭЭ, полученный от гидрометеорологического обеспечения сельского хозяйства пришёлся на восемь УГМС: Центральное,

Таблица 2

Распределение экономического эффекта гидрометеорологического обеспечения сельского хозяйства по УГМС с 2016 по 2025 год (значения ЭЭ по Камчатскому, Колымскому, Мурманскому, Сахалинскому, Среднесибирскому, Уральскому и Якутскому УГМС не приводятся, т.к. данные ЭЭ по сельскому хозяйству от этих УГМС по различным причинам во ВНИИГМИ-МЦД не поступают)

УГМС	Экономический эффект (в млн руб.) по годам										
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Башкирское	3,01	1,40	1,42	1,01	0,90	0,72	0,84	1,34	0,53	1,25	
Верхне-Волжское	82,11	70,85	112,91	50,57	50,78	48,88	57,73	41,70	46,00	62,70	
Дальневосточное	38,53	17,91	65,01	32,11	37,29	38,29	52,15	34,09	35,78	48,21	
Забайкальское	135,02	110,20	175,50	102,77	110,15	106,32	162,82	127,52	149,51	163,52	
Западно-Сибирское	154,82	189,11	284,54	166,15	110,76	150,68	306,31	118,57	91,71	135,45	
Иркутское	6,75	4,55	8,37	5,27	4,12	4,63	5,63	3,44	3,32	9,44	
Крымское	н.д.	н.д.	н.д.	268,58	н.д.	328,56	523,16	451,90	383,80	556,51	
Обь-Иртышское	234,40	220,11	481,39	263,26	124,53	270,31	330,53	255,35	271,96	254,99	
Приволжское	278,76	94,25	119,32	100,76	94,23	116,36	171,97	115,90	275,10	540,13	
Приморское	6,48	5,12	16,74	5,17	5,93	4,49	7,25	4,14	6,12	10,10	
Республики Татарстан	72,43	64,27	124,25	57,02	56,25	50,27	59,35	41,22	43,98	71,32	
Северное	37,98	30,65	51,06	37,37	41,99	37,30	64,26	34,43	34,75	54,22	
Северо-Западное	22,50	17,12	28,46	14,67	13,98	13,43	15,95	10,40	10,29	13,02	
Северо-Кавказское	337,10	309,54	536,58	274,09	529,34	377,42	458,08	413,07	667,84	571,52	
Центральное	1805,08	2325,81	1639,80	2458,39	2256,59	2714,42	2890,72	2463,34	7126,14	11664,23	
ЦЧО	94,92	65,86	96,68	123,04	120,35	164,02	96,01	38,12	342,68	726,69	
Чукотское	1,77	1,54	2,93	1,38	1,28	1,70	1,67	1,21	1,03	0,32	

Центрально-Чернозёмное, Северо-Кавказское, Крымское, Обь-Иртышское, Приволжское, Забайкальское и Западно-Сибирское.

В результате проведённого исследования подтверждается значимость информационной деятельности Росгидромета, так как гидрометеорологические данные и информационная продукция Росгидромета выступает фактором достижения результативности деятельности погодозависимых предприятий в различных отраслях экономики и, в частности, в сельском хозяйстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Федеральная служба государственной статистики*. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Rossia_2025.pdf (дата обращения: 01.04.2026).
2. *Доклад* ФАО. «Влияние катастроф на сельское хозяйство и продовольственную безопасность». URL: <https://news.un.org/ru/story/2025/11/1466833> (дата обращения: 01.04.2026).
3. Порфирьев Б.Н., Колпаков А.Ю., Елисеев Д.О., Саенко В.В., Ползуков Д.А., Лазеева Е.А., Бирюков Е.С. Экономические эффекты изменения климата в России // Проблемы прогнозирования. 2025. № 2(209). С. 20–36.
4. *Методическое руководство*. Оценка ущербов, убытков и потребностей. Том 2. URL: <https://ocenshiki-i-eksperty.ru/knowledge-base/view/materials/999> (дата обращения: 01.04.2026).
5. *Рекомендации по сбору, ведению и хранению сведений об опасных природных явлениях*. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Росгидромет. 04 мая 2009 года.
6. РД 52.88.699–2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. М.: Росгидромет, 2008. 30 с.
7. Коршунов А.А., Шаймарданов В.М., Шаймарданов М.З. Создание базы данных об опасных явлениях для климатических исследований и обслуживания // Учёные записки РГГМУ. 2012. № 25. С. 79–85.
8. Коршунов А.А., Шаймарданов В.М., Шаймарданов М.З. Система накопления и обработки данных об опасных гидрометеорологических явлениях в России // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 86–92.
9. Шамин С.И. Структура и содержание базы сведений об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, нанёсших материальный и социальный ущерб // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 144–158.
10. Хандожко Л.А., Коршунов А.А. Показатели влияния погодных условий на экономику: оценка коэффициента непредотвращённых потерь // Метеорология и гидрология. 2000. № 12. С. 14–23.

УДК 551.583:551.345

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВОГРУНТОВ РОССИИ НА ГЛУБИНАХ ДО 320 СМ В 2021–2025 ГГ.

А.Б. Шерстюков

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

Введение

Глобальное изменение климата сопровождается изменениями климата России и изменением температуры почвогрунтов. Одной из важнейших характеристик термического состояния почвогрунтов является минимальная за год температура почвогрунтов на разных глубинах и связанная с этим глубина промерзания в холодное полугодие.

Данные о температуре почвогрунтов на глубинах используются при решении многих прикладных задач в строительстве зданий и технических сооружений, при эксплуатации дорог и подземных коммуникаций и т.д. При этом важнейшей характеристикой является минимальная за год температура. Сведения о минимальной температуре почвогрунтов необходимы для определения глубины сезонного промерзания почвогрунтов. Мощность мёрзлого слоя учитывается при закладывании дренажной системы в мелиорируемых районах. Минимальная температура почвогрунтов на глубинах зависит не только от температуры воздуха, но и от минералогического состава и влажности почвогрунтов, мощности снежного покрова и других факторов. Наблюдения за температурой почвы и грунта на сети метеорологических станций Росгидромета имеют более широкое пространственное покрытие территории России в сравнении с данными о температуре почвогрунтов на глубинах из других источников [1].

Постановка проблемы

Была поставлена задача — по данным инструментальных наблюдений за температурой почвогрунтов на метеорологических станциях России за период с 1976 по 2025 год получить оценки изменения минимальной за год температуры почвогрунтов на глубинах до 320 см с детализацией по территории России и определить тенденции изменений температуры почвогрунтов в последнее время.

Исходные данные

Для исследования этой проблемы был подготовлен массив суточных значений температуры почвы и грунта на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации. Период наблюдений на станциях различен: самый ранний год в массиве — 1963, заканчивается текущая версия массива 2025 годом.

В массиве содержится температура почвы и грунта под естественным покровом на глубинах 2, 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 120, 160, 240, 320 см по станциям России.

При создании массива проводился контроль качества исходных данных.

Подробное описание массива, методы контроля качества и сами данные можно найти на сайте ВНИИГМИ-МЦД по адресу: <http://meteo.ru/data/soil-temperature>, а также в [6, 7].

В работе использованы данные о суточной температуре почвы и грунта на глубинах до 320 см по 451 метеорологической станции России за 1976–2025 гг. Для анализа выбраны наблюдения по вытяжным термометрам на глубинах 80, 160 и 320 см. Используются нормы (среднемноголетние значения) минимальной температуры почвогрунтов на глубинах за период 1991–2020 гг. Для каждого года на каждой глубине определялась минимальная температура почвогрунтов. Ряды этих погодичных данных использовались для анализа изменений аномалий температуры на глубинах по всей России с 2021 по 2025 год. Также они использовались для сравнения трендов температуры почвогрунтов на глубинах за периоды: 1976–2021 гг., 1976–2022 гг. и т.д., увеличивая период на один год вплоть до 2025 года.

Построены карты аномалий и показатели тенденций (тренды) изменений минимальной за год температуры почвогрунтов в точках расположения станций [1–5].

Ниже представлены выборочные карты за 2021 [1], 2023 [3], 2025 [5] годы. Карты для 2022 и 2024 гг. можно найти в [2, 4] соответственно.

Результаты

Особенности изменений температурного режима почвогрунтов в 2021–2025 гг.

На глубине 80 см в 2021 году (рис. 1а) положительные аномалии температуры наблюдались в западной половине Европейской территории России (ЕТР), на территории Средней Сибири, на юге Восточной Сибири и на средних и высоких широтах Дальнего Востока. В последующие годы на глубине 80 см положительные аномалии минимальной за год температуры охватили почти всю территорию России (рис. 2а и 3а). На преобладающей части территории России аномалии составляли менее 1 °С.

При этом в Средней Сибири аномалии достигали 1–2 °С. Иначе за прошедшие 5 лет происходили изменения аномалий на севере Средней и Восточной Сибири и в северо-восточной части Дальнего Востока. В 2021 году в этой части Сибири аномалии составляли 2–4 °С, а на Дальнем Востоке аномалии достигали 3–5 °С, но к 2025 году они ослабли до 1–2 °С.

На глубине 160 см (рис. 1б–3б) аномалии минимальной за год температуры почвогрунтов на большей части территории России положительные, величиной менее 1 °С. Более высокие значения аномалий (1–3 °С) наблюдаются на севере Средней и в Восточной Сибири.

Повышенные в 2021 году аномалии (3–5 °С) на глубине 160 см в северо-восточной части Дальнего Востока ослабевают к 2025 году до 1–2 °С.

На глубине 320 см (рис. 1в–3в) отток тепла в холодный сезон, так же как приток тепла в тёплый сезон, и межгодовые изменения температуры почвогрунтов ослаблены. На этой глубине в 2025 году

преобладают слабые положительные аномалии минимальной за год температуры почвогрунтов и составляют менее 1 °С. Но на юге Восточно-Европейской равнины, севере Средней и Северо-Восточной Сибири, а также в горах Южной Сибири аномалии составляют 2–3 °С.

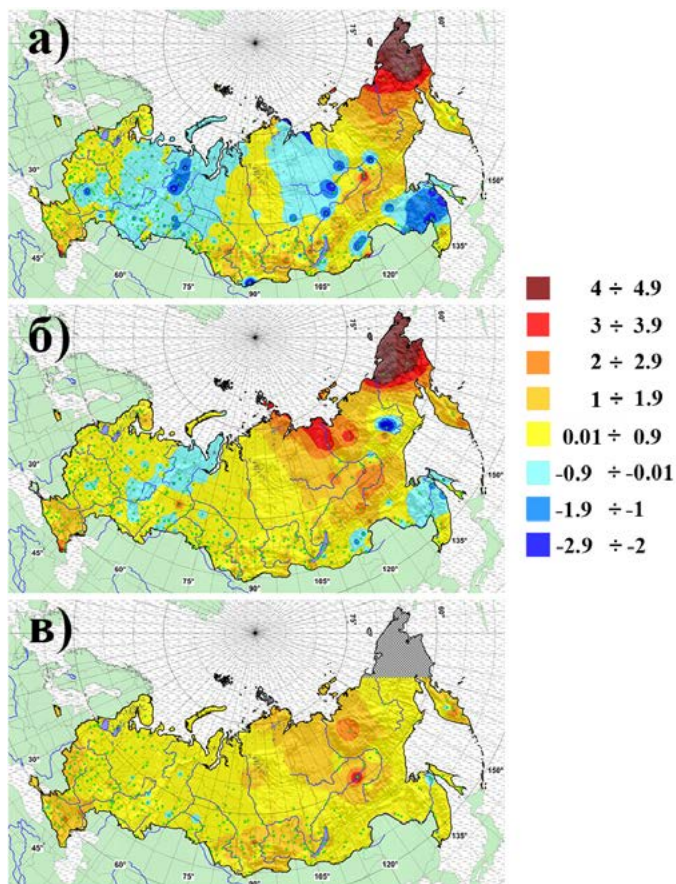


Рис. 1. Пространственное распределение аномалий минимальной за 2021 год температуры почвогрунтов на глубинах относительно норм за 1971–2000 гг.: а) 80 см, б) 160 см, в) 320 см. Точками показано расположение метеорологических станций. Заштрихованная область — отсутствие данных [1].

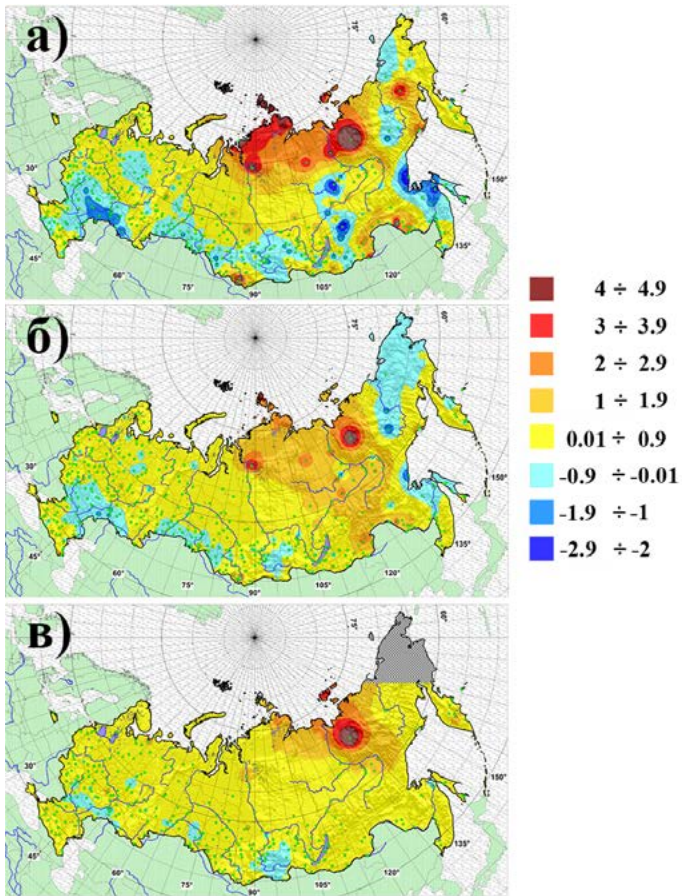


Рис. 2. Пространственное распределение аномалий минимальной за 2023 год температуры почвогрунтов на глубинах относительно норм за 1991–2020 гг.: а) 80 см, б) 160 см, в) 320 см. Точками показано расположение метеорологических станций. Заштрихованная область — отсутствие данных [3].

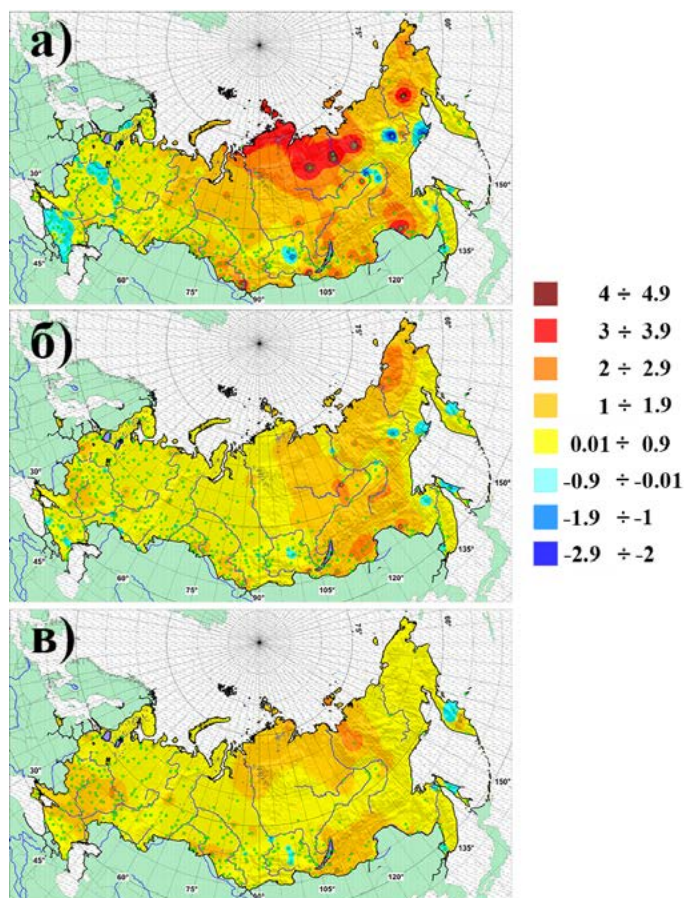


Рис. 3. Пространственное распределение аномалий минимальной за 2025 год температуры почвогрунтов на глубинах относительно норм за 1991–2020 гг.: а) 80 см, б) 160 см, в) 320 см. Точками показано расположение метеорологических станций [5].

В результате обобщения (рис. 1–3) получено:

- в условиях глобального потепления в интервале 2021–2025 гг. на большей части территории России и на всех глубинах происходило потепление почвогрунтов. Отрицательные аномалии сменялись положительными, а в регионах с наблюдавшимися в

2021 году положительными аномалиями температуры почвогрунтов к 2025 году положительные аномалии усилились. Исключение составляет регион севера Дальнего Востока: там высокие значения положительных аномалий в 2021 году постепенно ослабли к 2025 году на всех глубинах;

- с увеличением глубины уменьшаются как положительные, так и отрицательные аномалии минимальной температуры почвогрунтов;

- наибольшие аномалии потепления почвогрунтов, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдаются в Восточной Сибири.

Тенденции изменений температуры почвогрунтов по данным наблюдений с 1976 года

В мониторинге важное значение имеют сведения о наблюдаемых тенденциях изменений температуры для получения ориентировочных оценок дальнейших изменений температуры на будущее. С этой целью выполнялся анализ трендов минимальной температуры почвогрунтов на глубинах с уточнениями каждый год по данным с добавлением новых результатов наблюдений за прошедший год.

Отметим далее особенности тенденций, сравнивая их оценки, за период 2021–2025 гг. В целом при сравнении результатов мониторинга тенденций за прошедшие пять лет не обнаружено на местах больших отличий в многолетних тенденциях изменения минимальной температуры. Тенденции остаются устойчивыми в каждом регионе и на каждой глубине.

За пять прошедших лет на глубине 80 см (рис. 4а и 5а) тренды минимальной за год температуры почвогрунтов преимущественно положительные на большей части территории России. Повышенные значения трендов ($0,4\text{--}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$) наблюдаются в зоне многолетней мерзлоты. Статистически достоверные (с вероятностью 95 %) положительные тренды охватывают северную половину Средней Сибири, а также север Восточной Сибири и Дальнего Востока. В этих районах преобладают тренды $0,2\text{--}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Исключением являются долины рек Яны и Алдана, а также рек

Виллой и Лена — с отрицательными, но незначимыми трендами $-0,2...-0,4$ °C/10 лет. На юге Восточно-Европейской равнины и на Кавказе потепление составило $0,2-0,4$ °C/10 лет; на остальной части Восточно-Европейской равнины и в Западной Сибири преобладают слабые положительные тренды. На юге Средней Сибири и Дальнего Востока тренды составили также $0,2-0,4$ °C/10 лет.

На глубине 160 см (рис. 4б и 5б) по всей России преобладают положительные тренды, но область повышенных значений ($>0,4$ °C/10 лет) в высоких широтах смещена к востоку. Положительные тренды $0,2-0,8$ °C/10 лет охватывают север Восточной Сибири и Дальнего Востока. На юге Средней Сибири и Дальнего Востока тренды составили $0,2-0,4$ °C/10 лет. Статистически достоверное (с вероятностью 95 %) потепление ($0,2-0,4$ °C/10 лет) наблюдается на юге Восточно-Европейской равнины и в Средней Сибири. На Кавказе потепление достигает $0,4-0,6$ °C/10 лет. На остальной части Восточно-Европейской равнины и в Западной Сибири — слабые положительные тренды. Отрицательные тренды не наблюдаются.

На глубине 320 см (рис. 4в и 5в) тренды положительные на всей территории России, повышенные значения ($>0,4$ °C/10 лет) встречаются на Кавказе, в северной половине Средней и Восточной Сибири. Статистически достоверные (с вероятностью 95 %) тренды $>0,2$ °C/10 лет наблюдаются в южной половине Восточно-Европейской равнины, на юге Западной и Средней Сибири, а также в Восточной Сибири.

Из сопоставления карт (рис. 4 и 5) можно сделать вывод, что в 1976–2025 гг. тенденция повышения минимальной температуры почвогрунтов ослабевала с глубиной. На большей части территории России преобладают тренды $< 0,4$ °C/10 лет на всех глубинах до 320 см. Наибольшее и статистически достоверное повышение минимальной температуры почвогрунтов, проникающее до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдается в северных частях Сибири, в устьях рек Лена, Яна и Енисей.

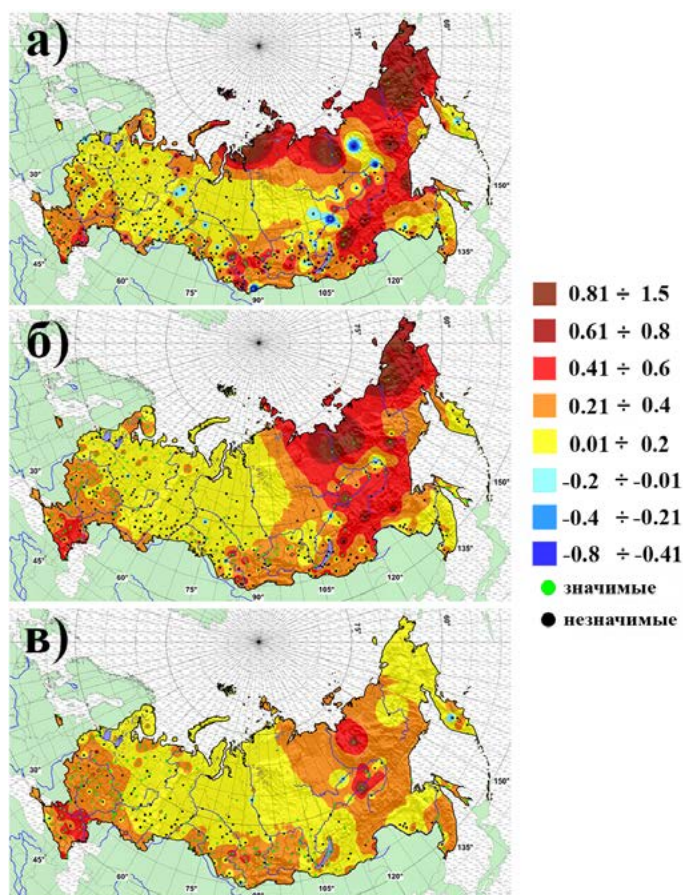


Рис. 4. Пространственное распределение трендов минимальной температуры почвогрунтов за 1976–2021 гг. на территории России (°C/10 лет) на глубинах: а) 80 см, б) 160 см, в) 320 см. Точками показано расположение метеорологических станций со статистически значимыми (зелёные) и незначимыми (чёрные) коэффициентами линейного тренда. Уровень значимости $P = 0,05$ [1].

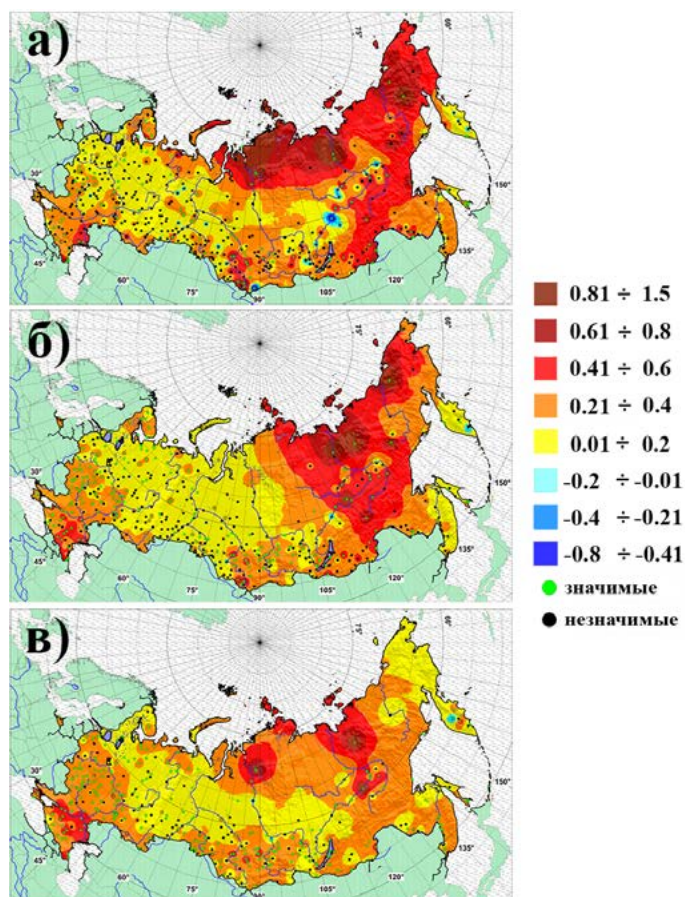


Рис. 5. Пространственное распределение трендов минимальной температуры почвогрунтов за 1976–2025 гг. на территории России ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) на глубинах: а) 80 см, б) 160 см, в) 320 см. Точками показано расположение метеорологических станций со статистически значимыми (зелёные) и незначимыми (чёрные) коэффициентами линейного тренда. Уровень значимости $P = 0,05$ [5].

Заключение

Выполнено обобщение полученных для 2021–2025 гг. результатов мониторинга изменений аномалий минимальной температуры почвогрунтов на глубинах до 320 см и изменений многолетних тенденций в значениях минимальной температуры почвогрунтов на территории России. Выявлены существенные региональные различия изменений аномалий в разные годы (с 2021 по 2025 год) и отмечены особенности изменений многолетних тенденций температуры на разных глубинах.

За все рассмотренные пять лет в условиях глобального потепления от года к году происходило ослабление отрицательных аномалий и усиление положительных аномалий температуры почвогрунтов на всех глубинах на преобладающей части территории России, за исключением севера Дальнего Востока. На севере Дальнего Востока, наоборот, высокие значения положительных аномалий температуры 2021 года ослабевали к 2025 году на всех глубинах.

Наибольшие аномалии потепления почвогрунтов, проникающие до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдались в Восточной Сибири.

Установлено, что с увеличением глубины уменьшаются как положительные, так и отрицательные аномалии минимальной температуры почвогрунтов.

В 1976–2025 гг. на большей части территории России преобладали положительные тренды не более $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет на всех глубинах до 320 см, но с глубиной тенденция повышения минимальной температуры почвогрунтов ослабевала. Наибольшее и статистически достоверное повышение минимальной температуры почвогрунтов, проникающее до нижней анализируемой глубины 320 см, наблюдалось в северных частях Сибири, в устьях рек Лена, Яна и Енисей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Доклад* об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М., 2022. 104 с.
2. *Доклад* об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М., 2023. 104 с.
3. *Доклад* об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год. М., 2024. 104 с.
4. *Доклад* об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. М., 2025. 104 с.
5. *Доклад* об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2025 год. М., 2026. 129 с.
6. *Шерстюков А.Б.* Массив суточных данных о температуре почвогрунтов на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2012. Вып. 176. С. 233–256.
7. *Шерстюков А.Б.* Статистический контроль массива суточных данных температуры почвогрунтов // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2012. Вып. 176. С. 224–232.

УДК 551.554

Доработанный программный комплекс для определения климатических условий рассеяния в пограничном слое атмосферы в заданной точке по радиозондовым данным. Духов Е.В., Хохлова А.В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2026. Вып. 194. С. 5–16.

Приведено описание доработанного программного комплекса, предназначенного для расчёта характеристик температурно-ветрового режима пограничного слоя атмосферы в точке с заданными географическими координатами по радиозондовым данным, имеющимся в аэрологических массивах ВНИИГМИ-МЦД. Для удобства расчётов аэрологические данные представлены в виде базы данных. Программный комплекс выполняет выбор данных с ближайших аэрологических станций, пространственную интерполяцию в требуемую точку, определение метеорологических параметров за каждый срок, расчёт статистических характеристик и вывод результатов. Разработан графический интерфейс, который обеспечивает полный цикл взаимодействия пользователя с программным комплексом, включая настройку параметров, запуск вычислений, контроль процесса расчёта и обновление базы данных. Выполнены расчёты климатических характеристик температурно-ветрового режима пограничного слоя для двух контрольных точек.

Ключевые слова: пограничный слой, рассеяние, климатические условия, радиозондовые данные, база данных, программные средства.

Ил. 6. Библиогр. 8.

УДК 551.465

Единая многоуровневая разномасштабная картографическая основа для применения в информационных системах Росгидромета. Воронцов А.А., Баталкина С.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2026. Вып. 194. С. 17–24.

В статье рассмотрен подход и состав картографической основы ЭКО, подготовленной для практического применения в различных информационных системах на уровне web-сервисов. Использование ЭКО возможно как для всего мира, так и для территории Российской Федерации, а также для отдельных морей России. В настоящее время ЭКО применяется не только в ряде информационных систем, но и для подготовки морских климатических справочников.

Ключевые слова: информационная система, картографическая основа, тематическая карта, масштаб, Мировой океан, моря России, морской климатический справочник.

Табл. 2. Библиогр. 5.

УДК 551.582(470.313):(633.11.«321»+633.11.«324»)

Влияние изменений климата на выращивание озимой и яровой пшеницы в Рязанской области. Бурова М. С. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2026. Вып. 194. С. 25–38.

В ходе исследования была проведена комплексная оценка территории Рязанской области на предмет пригодности для выращивания основных зерновых культур региона – озимой и яровой пшеницы. В работе проанализирована многолетняя динамика ключевых агроклиматических показателей: температуры воздуха, суммы осадков, сумм активных температур (выше 10 °C) и эффективных температур (выше 5 °C) по данным 10 метеорологических станций различного временного разрешения за период 1931–2021 гг. Особое внимание уделено анализу климатических изменений и их влиянию на условия возделывания зерновых в соответствии с биологическими требованиями культур. Выявлено устойчивое повышение температурного фона и сумм температур, что расширяет возможности для внедрения более продуктивных и теплолюбивых сортов. Для оценки влагообеспеченности вегетационного периода использованы гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова и индекс засушливости Д.А. Педя.

Ключевые слова: изменение климата, озимая пшеница, яровая пшеница, Рязанская область, суммы температур, атмосферные осадки, засуха, гидротермический коэффициент, индекс засушливости.

Ил. 3. Табл. 4. Библиогр. 13.

УДК 551.576.33 (571.511)+551.508.762

Исследование взаимосвязи между средним баллом облачности и основными метеопараметрами на территории Таймырского муниципального района. Володин Р. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2026. Вып. 194. С. 39–51.

В ходе исследования был проведён корреляционный анализ для нахождения зависимостей между средним баллом общей и нижней облачности и основными метеопараметрами на территории полуострова Таймыр. В работе использовались массивы данных среднегодовых значений температуры, относительной влажности, давления над уровнем моря, упругости водяного пара, общей и нижней облачности по данным 10 станций за период 1985–2023 гг. Рассчитаны коэффициенты линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена. Определялась статистическая значимость полученных результатов по критерию Стьюдента.

Ключевые слова: корреляция, средний балл облачности, основные метеопараметры, Таймыр, Пирсон, Спирмен.

Ил. 1. Табл. 4. Библиогр. 10.

УДК 551.524

Результаты гомогенизации данных атмосферного давления на станциях Российской Федерации. Финаев А.Ф. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2026. Вып. 194. С. 52–64.

В статье представлены результаты гомогенизации данных среднемесячного атмосферного давления (АД) для 521 гидрометеорологической станции России за период с 1962 по 2023 год с помощью пакета RHtests. Приведены примеры сравнения однородных и неоднородных данных. Представлены карты распределения АД по территории России, различия в количестве нарушений однородности в рядах данных и ошибки на станциях. Приведены примеры нарушений однородности рядов данных АД на некоторых станциях.

Ключевые слова: климат, метеорология, атмосферное давление, гомогенизация, однородные ряды данных.

Ил. 18. Табл. 3. Библиогр. 9.

УДК 004.42:551.5

Разработка кроссплатформенной автоматизированной системы сбора, обработки и накопления режимных данных наземных метеорологических станций Росгидромета с учётом увеличения дискретности наблюдений метеорологических параметров. Амельченко Е.В., Амельченко В.А., Зубрицкая Е.Н., Гузеев Г.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2026. Вып. 194. С. 65–80.

В статье обоснованы причины разработки кроссплатформенного программного обеспечения нового поколения систем семейства ПЕРСОНА с использованием современных технологических средств разработки программного обеспечения. Проанализировано текущее состояние системы сбора, обработки и накопления режимных данных наземных метеорологических станций Росгидромета. Представлены проектные решения разработки и результаты проданных на первом этапе работ.

Ключевые слова: метеорологические наблюдения, автоматизированная система сбора, обработки и накопления режимных данных, наземные метеорологические станции, кроссплатформенное программное обеспечение.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 22.

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

Современные и прогнозируемые изменения гидрологических характеристик рек Дальнего Востока и Забайкалья. Гниломедов Е. В. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2026. Вып. 194. С. 81–92.

В статье изложен метод расчёта годового слоя стока воды по данным значений осадков. Суть метода состоит в нахождении максимально высокой корреляции между стоком воды и предшествующими осадками путём исключения из расчётов участков водосбора, где связь между количеством осадков и количеством воды, поступившей в речную сеть, искусственно нарушена вследствие сооружения водохранилищ и водозаборных сооружений либо является сложной по естественным причинам. В основе данного метода лежит получение уравнений регрессии $h = f(R)$, где R — количество осадков за период с начала ледостава в предшествующем расчётному году и до начала ледостава в расчётном году, а h — слой стока воды в расчётном году в замыкающем водосбор створе.

Объектом исследования являются реки, расположенные в пределах бассейна реки Амур и восточнее бассейна Лены.

Используя полученные уравнения, проведён расчёт прогностических оценок h по прогнозным значениям R (до 2050 года). Получены результаты направленности и интенсивности изменения величины h в бассейнах изучаемых рек. Дана оценка дальнейшей наполняемости водохранилищ.

Ключевые слова: сток воды, бассейн реки, водосбор, количество осадков, трендовые оценки стока рек, среднегодовые расходы воды, тенденции в изменении стока рек, слой стока воды.

Ил. 2. Табл. 4. Библиогр. 8.

УДК 551.582.2

Динамика воздействия неблагоприятных условий погоды и экономический эффект гидрометеорологического обеспечения сельского хозяйства. Воробьёва Л. Н., Санина А. Т. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2026. Вып. 194. С. 93–104.

Рассматривается влияние опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений на сельское хозяйство России. На основе анализа сведений базы данных об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях представлены особенности воздействия опасных условий погоды на сельское хозяйство. Приводится динамика экономического эффекта гидрометеорологического обеспечения сельского хозяйства за последние 10 лет.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления, сельское хозяйство, экономический эффект.

Ил. 6. Табл. 2. Библиогр. 10.

УДК 551.583:551.345

Мониторинг температуры почвогрунтов России на глубинах до 320 см в 2021–2025 гг. Шерстюков А. Б. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2026. Вып. 194. С. 105–116.

Выполнено обобщение полученных для 2021–2025 гг. результатов мониторинга изменений аномалий минимальной температуры почвогрунтов на глубинах до 320 см и изменений многолетних тенденций в значениях минимальной температуры почвогрунтов на территории России.

Выявлены существенные региональные различия изменений аномалий в разные годы (с 2021 по 2025 год) и отмечены особенности изменений многолетних тенденций температуры на разных глубинах.

Ключевые слова: мониторинг, температура почвогрунтов, аномалии, многолетние тенденции, тренды, количественные оценки.

Ил. 5. Библиогр. 7.

UDC 551.554

A modified software package for determining the climatic conditions of dispersion in the boundary layer of the atmosphere at a given point based on radiosonde data. Dukhov E.V., Khokhlova A.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2026.

No. 194. P. 5–16.

A description is given of a modified software package designed to calculate the characteristics of the temperature and wind regime of the atmospheric boundary layer at the point with specified geographical coordinates based on radiosonde data available in the RIHMI-WDC aerological datasets. To make calculations convenient, aerological data are presented in the form of a database. The software package selects data from the nearest aerological stations, performs spatial interpolation to the required point, determines meteorological parameters for each period, calculates statistical characteristics and outputs the results. A graphical interface has been developed that provides a full cycle of user interaction with the software package, including setting parameters, running calculations, monitoring the calculation process, and updating the database. Climatic characteristics of the temperature-wind regime in the boundary layer are calculated for two control points.

Keywords: boundary layer, scattering, climatic conditions, radiosonde data, database, software.

Fig. 6. Ref. 8.

UDC 551.465

A unified multi-level multi-scale cartographic base to be used in Roshydromet information systems. Vorontsov A.A., Batakina S.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2026. No. 194. P. 17–24.

The article examines the approach and composition of the ECO cartographic base, prepared for practical application in various information systems at the web service level. ECO can be used for the entire world, for the territory of the Russian Federation, and for individual Russian seas. ECO is currently used not only in a number of information systems but also for the preparation of marine climate reference books.

Keywords: information system, cartographic base, thematic map, scale, World Ocean, Russian seas, marine climate reference book.

Tab. 2. Ref. 5.

UDC 551.582(470.313):(633.11.«321»+633.11.«324»)

The impact of climate change on the cultivation of winter and spring wheat in the Ryazan region. Burova M. S. Proceedings of RIHMI-WDC. 2025. No. 194. P. 25–38.

The study conducted a comprehensive assessment of the Ryazan region's suitability for growing the region's main grain crops, i.e. winter and spring wheat. The study analyzed long-term dynamics of key agroclimatic parameters: air temperature, precipitation totals, active temperature sums (above 10 °C), and effective temperatures (above 5 °C) based on data from ten meteorological stations with varying time resolutions for the period 1931–2021. Particular attention was paid to analyzing climate change and its impact on grain cultivation conditions in accordance with the biological requirements of the crops. A steady increase in background temperatures and temperature sums was identified, which expands the potential for introducing more productive and heat-loving varieties. Selyaninov's hydrothermal coefficient (HTC) and D.A. Ped's aridity index were used to assess moisture availability during the growing season.

Keywords: climate change, winter wheat, spring wheat, Ryazan region, temperature sums, precipitation, drought, hydrothermal coefficient, aridity index.

Fig. 3. Tab. 4. Ref. 13.

UDC 551.576.33 (571.511)+551.508.762

Research of the relationship between the average cloud cover and the main meteorological parameters in the Taimyr municipal district. Volodin R.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2026. No. 194. P. 39–51.

The research utilized a correlation analysis to identify relationships between the average total and low cloud cover and key meteorological parameters on the Taimyr Peninsula. The work used data sets of average annual values of temperature, relative humidity, pressure above sea level, water vapor pressure, and total and lower cloudiness based on data from ten stations for the period 1985–2023. Pearson's linear correlation coefficients and Spearman's rank correlation coefficients were calculated. The statistical significance of the results was determined using Student's t-test.

Keywords: correlation, average cloudiness, key meteorological parameters, Taimyr, Pearson, Spearman.

Fig. 1. Tab. 4. Ref. 10.

UDC 551.524

Results of atmospheric pressure data homogenization at hydrometeorological stations in the Russian Federation. Finaev A.F. Proceedings of RIHMI-WDC. 2026. No. 194. P. 52–64.

The article describes the results of monthly average atmospheric pressure (AP) data homogenization for 521 hydrometeorological stations in Russia for the period 1962–2023 using RHtests package. Examples of comparisons of homogeneous and heterogeneous data are provided. Maps of AP distribution across Russia are presented, along with differences in the number of homogeneity gaps and errors in data series at stations. Examples of homogeneity gaps in AP data series at some of the stations are also given.

Keywords: climate, meteorology, atmospheric pressure, homogenization, homogeneous data series.

Fig. 18. Tab. 3. Ref. 9.

UDC 004.42:551.5

Development of a cross-platform automated system for collecting, processing, and accumulating regime data from Roshydromet's ground-based meteorological stations, taking into account the increased discreteness of observations of meteorological parameters. Amelchenko E.V., Amelchenko V.A., Zubritskaya E.N., Guzeev G.A. Proceedings of RIHMI-WDC. 2026. No. 194. P. 65–80.

The article substantiates the need to develop cross-platform software for the new generation of PERSONA family systems using modern software development technologies. The current state of the system for collecting, processing, and accumulating operational data from Roshydromet's ground-based meteorological stations is analyzed. The article also presents the design solutions and the results of the work performed in the first stage.

Keywords: meteorological observations, automated system for collecting, processing, and accumulating regime data, ground-based meteorological stations, cross-platform software.

Fig. 1. Tab. 1. Ref. 22.

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

Current and projected changes in the hydrological characteristics of the rivers of the Far East and Transbaikalia. Gnilyomedov E.V. Proceedings of RIHMI-WDC. 2026. No. 194. P. 81–92.

The article describes a method for calculating the annual water runoff layer based on precipitation values. The essence of the method is to find the highest possible correlation between water runoff and previous precipitation by excluding catchment areas from calculations where the relationship between the amount of precipitation and the amount of water entering the river network is artificially disrupted due to the construction of reservoirs and water intake facilities or is difficult for natural reasons. This method is based on obtaining regression equations $h = f(R)$, where R is the amount of precipitation for the period from the beginning of glaciation in the previous estimated year to the beginning of glaciation in the estimated year, and h is the water runoff layer in the estimated year in the closing catchment site.

The object of the study is the rivers located within the Amur River basin and east of the Lena basin.

Using the obtained equations, prognostic estimates of h were calculated from predicted values of R (up to 2050). The results of the direction and intensity of the change in the value of h in the basins of the studied rivers are obtained. An assessment of the further reservoir capacity is given.

Keywords: water flow, river basin, catchment area, precipitation amount, trend estimates of river flow, average annual water discharge, trends in river flow, water runoff layer.

Fig. 2. Tab. 4. Ref. 8.

UDC 551.582.2

Dynamics of the impact of adverse weather conditions and the economic benefit from hydrometeorological support of agriculture. Vorobyeva L.N., Sanina A.T. Proceedings of RIHMI-WDC. 2026. No. 194. P. 93–104.

The impact of hazardous and adverse hydrometeorological phenomena on agriculture in Russia is considered. Specific features of the impact of hazardous weather conditions on agriculture are presented from analyzing the database on hazardous and adverse hydrometeorological phenomena. Dynamics of economic benefit from hydrometeorological support of agriculture is given for the past ten years.

Keywords: hazardous hydrometeorological phenomena, agriculture, economic benefit.

Fig. 6. Tab. 2. Ref. 10.

UDC 551.583:551.345

Monitoring of soil temperature in Russia at depths up to 320 cm in 2021–2025. Sherstiukov A. B. Proceedings of RIHMI-WDC. 2026. No. 194. P. 105–116.

A summary of monitoring results obtained for the period 2021–2025 regarding changes in minimum soil temperature anomalies at depths up to 320 cm, as well as changes in long-term trends in minimum soil temperature across the territory of Russia is presented.

Significant regional differences in anomaly variations in different years (from 2021 to 2025) have been identified, and specific features of changes in long-term temperature trends at different depths have been noted.

Keywords: monitoring, soil temperature, anomalies, long-term trends, quantitative estimates.

Fig. 5. Ref. 7.

Сборник научных трудов

Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Выпуск 194

Подписано к печати 29.07.2026 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 7,32. Тираж 300 экз. Заказ № 13.

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