

А. Г. Евланова

Цифровая метеорология (Digital Meteorology)

учебное пособие

ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЮФУ

УДК 551.5:004(075.8)
ББК 26.23+16 я73
Е17

Печатается по решению кафедры океанологии Института наук о Земле Южного федерального университета (протокол № 10 от 20 июня 2025 г.)

Рецензенты:
кандидат географических наук, доцент кафедры океанологии Института наук о Земле Южного федерального университета *А. Р. Иошпа*;
кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий геофизик Отдела гидрометеорологических исследований (ОГМИ) Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова *В. И. Акселевич*

Евланова, А. Г.
Е17 Цифровая метеорология (Digital Meteorology) : учебное пособие / А. Г. Евланова ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2026. – 157 с.
ISBN 978-5-9275-5304-4

В пособии рассмотрены основные модули учебного материала для изучения дисциплин «Информатика», «Гидрометеорологические информационные системы», «Геоинформационные системы в гидрометеорологии», «Методы статистической обработки результатов измерений», «Искусственный интеллект и анализ данных».

Предназначено для обучения студентов бакалавриата по направлению подготовки 05.03.04 – Гидрометеорология по дисциплинам «Информатика», «Гидрометеорологические информационные системы», «Геоинформационные системы в гидрометеорологии» «Методы статистической обработки результатов измерений», «Искусственный интеллект и анализ данных»; студентов магистратуры по направлению 05.04.06 – Экология и природопользование по дисциплине «Информационные технологии в науках о Земле».

УДК 551.5:004(075.8)
ISBN 978-5-9275-5304-4 ББК 26.23+16 я73

© Южный федеральный университет, 2026
© Евланова А. Г., 2026

Содержание

Введение....5
Модуль 1. Цифровизация и цифровая трансформация метеорологии. 9
Вводный материал 9
Основной теоретический материал 13
Тема 1.1. Цифровая технология: суть понятия, компоненты, классификация. 13
Тема 1.2. Цифровая метеорология. 26
Тема 1.3. Базовые цифровые технологии в деятельности метеоролога 29
1.3.1. Технология обработки текстовой информации 29
1.3.2. Технология обработки числовой информации 32
1.3.3. Технология обработки графической информации 38
1.3.4. Технология обработки мультимедийной информации 44
Тема 1.4. Технологии структурирования информации. Базы данных. 47
Тема 1.5. Информационные системы и сети в метеорологии 51
1.5.1. Информационные системы в метеорологии 51
1.5.2. Профессионально-ориентированные информационные системы в метеорологии 53
1.5.3. Метеорологические информационные сети 55
1.5.4. Геоинформационные технологии и системы 59
Тема 1.6. Технологии виртуальной и дополненной реальности 65
Тема 1.7. Блокчейн в метеорологии 67
Тема 1.8. Технология Интернет вещей (IoT) 68
Тема 1.9. Применение аддитивных технологий в метеорологии ..70
Практические задания 70
Проектные задания 84
Вопросы для самостоятельного изучения 94
Список дополнительных источников 94

Модуль 2. Средства цифровых технологий для обработки и представления результатов измерений 96
Вводный материал 96
Основной теоретический материал 98
Тема 2.1. Статистическая обработка метеорологических данных. 99
Тема 2.2. Средства языков программирования для обработки метеоданных 104
Тема 2.3. Подход «нулевого кодирования» 111
Тема 2.4. Основы математико-картографического моделирования. 113
Практические задания 114
Проектные задания 122
Вопросы для самостоятельного изучения 133
Список дополнительных источников 136
Модуль 3. Интеллектуализация цифровой метеорологии 138
Вводный материал 138
Основной теоретический материал 140
Тема 3.1. Интеллектуализация цифровых технологий 140
Тема 3.2. Веб-платформы для применения алгоритмов искусственного интеллекта для автоматизации анализа данных 142
Тема 3.3. Безопасность и этика применения интеллектуальных цифровых технологий в метеорологии 143
Практические задания 146
Проектные задания 148
Вопросы для самостоятельного изучения 154
Список дополнительных источников 155

Модуль 1. Цифровизация и цифровая трансформация метеорологии

Вводный материал

Цифровые технологии в настоящее время – признак современного общества, они во многом уже изменили и само общество, особенно, сферы образования, науки, производства, преобразовали логику привычных процессов обработки данных, информации в этих сферах и, как следствие, способы взаимодействия людей между собой и с информационными ресурсами. Для описания результатов изменений в обществе под воздействием цифровых (информационных и коммуникационных) технологий применяются несколько терминов, среди них самыми частотными являются «цифровизация» и «цифровая трансформация», но наряду с ними в литературе встречаются такие понятия, как «компьютеризация» и «информатизация», рассмотрим их сходства и различия. Все упомянутые понятия описывают стадии одного процесса – перехода к цифровому (информационному) обществу, который начался с компьютеризации и в настоящее время находится на этапе цифровой трансформации. То есть «компьютеризация», «информатизация», «цифровизация» (иногда применяется понятие «диджитализация», образованное от англ. слова digitalization[1]) и «цифровая трансформация» характеризуют разный по своей сложности, но всегда организованный, целенаправленный переход внутри общества (или определенных сфер общества, таких как образование, промышленность, экономика и т.д.) к осознанному применению средств цифровых технологий для оптимизации и улучшения качества деятельности человека.

[1] Digitalization – the process of changing something such as a document to a form that can be stored and read by computers, or *the use of digital technology to do something*, источник определения – Cambridge Dictionary, https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/digitalization

Однако, любая инновация, которая широко применяется в обществе/науке/сфере производства, приводит к глубинным изменениям и перестроению не только системы взаимодействия между людьми, но и к перестройке принципов работы с данными, оборудованием. Изменяются также процессы преобразования данных (как системы сигналов) – в информацию (данные, которые уже подвергаются кодированию и декодированию для извлечения нематериального смысла) и из категории «информация» – в категорию «знания» (знания понимаются как систематизированная, верифицированная система взаимосвязанных информационных компонентов, отображающих явление или процесс реального мира). И если на этапе компьютеризации, который массово в нашей стране прошел с 1984 по 2005 гг., было положено начало внедрения компьютеров и информационных технологий, функционирующих на их основе, во все сферы деятельности и массовой подготовки и переподготовки населения к применению аппаратных и программных средств, то в следующее десятилетие, начиная с 2005 года, когда процесс стал проходить под названием «информатизация», усилия государства и общества были сконцентрированы на развитии сетевой инфраструктуры, расширения качественного контента сети интернет, вебсервисов и началу правового регулирования сетевого взаимодействия. Следующие этапы шли не так последовательно, как предыдущие[2], но начиная с 2015 г. по настоящее время – сначала стартовала «цифровизация» (она включала: качественный скачок в развитии самих цифровых технологий, «интеллектуализацию» устройств и развитие интернет-сервисов, работающих на базе облачных технологий), затем к ней присоединился процесс под названием «цифровая трансформация» (означала усиление процессов государственного регулирования взаимодействия в цифровой среде, выработку качественно иных способов обработки данных их представления миру на основе технологий искусственного интел-

[2] В некоторых отраслях цифровизация как внедрение цифровых средств и обновление устаревшей техники до сих пор идет совместно с цифровой трансформацией

лекта, производство информации и знаний уже не человеком, а интеллектуальными агентами (сервисами). Цифровая трансформация приводит к полному перестроению системы общения и сотрудничества между людьми, где часть бытовых и производственных задач решается без непосредственного участия «живого» человека в качестве эксперта/консультанта/собеседника), собеседником часто выступает нейросеть, функционирующая на основе больших языковых моделей (так называемые «чаты джи-пи-ти») или интеллектуальные агенты (ИИ-агенты).

Все процессы, о которых уже шла речь, – информатизация, затем цифровизация и цифровая трансформация – протекают в двух направлениях: с одной стороны, они идут организовано, согласно государственным программам (например, «Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 гг.» или «Электронная Россия») или стратегическим планам и программам внедрения цифровых технологий в бизнес-секторе, и, с другой стороны, – в обществе при накоплении опыта применения информационных и коммуникационных технологий, процесс цифровизации и цифровой трансформации происходит без системы – стихийно, и формируемый опыт их применения не всегда отражает оптимальное и рациональное использование технических, программных средств и веб-сервисов – то есть человек самостоятельно вырабатывает способ применения приложения/веб-сервиса, но часто это ведет к дополнительным временным затратам или к росту его усталости, однако, он «уже привык так действовать» и не хочет менять способы взаимодействия с устройствами и программным обеспечением.

Для обозначения результата процессов насыщения общества цифровыми технологиями, также используются два термина: более традиционный – «информационное общество» и, более современный, «цифровое общество». Под информационным обществом понимается такое общественное устройство, в котором структуры, техническая база и человеческий потенциал приспособлены для оптимального превращения знаний в информационные ресурсы в цифровой форме с целью перевода пассивных форм знаний в активные

[1]. При описании данного понятия используется определение постиндустриального (информационного) общества, данное Э. Тоффлером[3], где он подчеркнул, что вследствие информационной революции в обществе начинают преобладать люди, основной сферой занятости которых является производство знаний. То есть ключевое понятие, описывающее «информационное общество» – это «информационный ресурс»; его определение: информационный ресурс – информация, представленная в форме, предоставляющей возможность массового доступа и воспроизведения, при этом подчеркивается, что ведущую роль играет человек, который при помощи компьютеров и им подобных устройств создаёт информационные (цифровые) ресурсы. В настоящее время существуют способы создания информационных ресурсов средствами искусственного интеллекта, что вызывает такие проблемы как «придумывание» содержания, не соответствующего истинному положению дел (галлюцинирование) и основным занятием современного человека является не столько продуцирование информационных ресурсов, сколько их верификация (установление соответствия истинному положению дел), что делает необходимым развитие критического мышления.

Среди признаков информационного общества можно выделить три основных: информация становится товаром; создаются условия доступа широким слоям населения к информации; основой общества становится автоматизированное производство, хранение, обработка, использование знаний, а также создание с их помощью цифровых технологий нового поколения.

В настоящее время, наряду с понятием «информационное общество», все чаще применяется термин «цифровое общество» для того, чтобы подчеркнуть преобладание процессов цифровой трансформации привычных сфер деятельности человека под влиянием цифровых технологий и расширение спектра устройств, применяемых для создания информационных (электронных) ресурсов. В большинстве случаев термины «информационное общество» и «цифровое общество» используются как синонимы.

[3] Toffler A. The Third Wave: The Classic Study of Tomorrow. – New York: Random House Publishing Group, 2022. – 560 с.

Основной теоретический материал

Abstract: Цифровая технология, ее компоненты – аппаратное, программное, технологическое и методическое обеспечение. Классификация цифровых технологий. Понятие об устоявшихся и передовых цифровых технологиях. История развития цифровых технологий для решения метеорологических задач. Применение базовых цифровых технологий для простейших расчетов и представления результатов обработки метеорологической информации посредством цифровых технологий: презентации, отчётные документы, решение метеорологических задач средствами табличного редактора, интерактивные сетевые технологии, технологии структурирования и управления базами данных. Информационные системы для обработки метеорологической информации. Метеорологические информационные сети. Географические информационные системы для решения задач метеорологии. Геопорталы. Понятие «платформы» и применение сетевых платформ для решения метеорологических задач.

Тема 1.1. Цифровая технология: суть понятия, компоненты, классификация

Исторически сложилось, что под информационной технологией (information technology) подразумевалась «автоматизация реализации информационных процессов (таких как создание, обработка, передача, хранение и структурирование информации) с использованием технических средств и устройств без выхода в сеть»[4]. Когда в первое десятилетие 21 века (с 2000 по 2010 гг.) количество пользователей сети интернет стало расти высокими темпами из-за

[4] Блинова Е. Е., Евланова А.Г. Цифровые технологии в образовании : Учебное пособие / Е.Е. Блинова, А. Г. Евланова.– Ростов-на-Дону – Таганрог : Южный федеральный университет, 2024. – 171 с. Режим доступа URL: https://hub.sfedu.ru/repository/material/801313121/(дата обращения: 20.05.2025).

появления более доступного оборудования, тарифов для подключения, появления новых технологий организации сетевого оборудования и создания контента, стали чаще использовать термин «информационные и коммуникационные технологии» (ИКТ), подчеркивая то, что без компьютерных сетей реализовать задачи на автономном компьютере стало уже проблематично. Information and communications technology (ICT) – an umbrella term that means computers, as well as necessary hardware, software, middleware, storage and audiovisual, that enable people to access, store, transmit, understand and manipulate information in a digital form.

Сейчас более распространённым является термин «цифровая технология», который является синонимом словосочетания «информационные и коммуникационные технологии», при этом он больше подчеркивает, что технологические средства уже могут функционировать в автоматическом, «интеллектуальном» режиме, заменяя при этом человека как оператора, выполняющего рутинные функции. В тех процессах, где требуется принятие решений, особенно связанных с безопасностью и надежностью, интеллектуальные технологии работают «совместно» с человеком, принимающим решения. Итак, digital technology means the implementation of digital tools, devices and information systems for optimization of processing, storage, and transmitting data in electronic form.

Выделим ***основные компоненты*** цифровой технологии:

1 – аппаратное обеспечение (hardware) – технические узлы и оборудование: hardware – the physical and electronic parts of a computer/computational system;

2 – программное обеспечение (software) – совокупность системных (операционные системы, драйверы и др.), служебных (архиваторы, антивирусные программные комплексы, файловые менеджеры и др.) и прикладных программ (табличные редакторы, графические редакторы, редакторы презентаций, геоинформационные программные средства и др.), которые предоставляют пользователю возможность решать широкий спектр задач – от обеспечения корректного функционирования оборудования и до оптимизации работы пользователя по обработке информации. В связи с

усложнением программных комплексов и их расположением не только на локальных компьютерах, но и на удаленных серверах, в компонент «программное обеспечение цифровой технологии» входит такой вид программ как middleware, или связующее программное обеспечение: middleware – software that enables communication between multiple software applications, possibly running on more than one computer or server, in other words middleware helps various application (or different parts of one complicated information system) to connect and cooperate. Важно помнить, что в понятие «программное обеспечение» не только входят программы (desktop-версии, мобильные приложения, веб-сервисные приложения), но и документация, которая определяет права пользователя на их применение, ответственность производителя и пользователя (обычно это включено в лицензионный договор) и описывает возможности их применения, минимальные требования для работы (традиционно это включается в документ, который называется «руководство пользователя»).

Вопросы к размышлению и рассуждению:

– если коммерческая лицензия предполагает выплаты правообладателю, то какие особенности в этом плане имеет общественная лицензия?

– всегда ли программы, обозначающиеся freeware имеют общественную лицензию?

– нужно ли стремиться к полной документации современного программного обеспечения, если пользователи чаще учатся сами, осваивая интерфейс, и используют подсказки и видеоуроки других пользователей?

– как разработчикам и авторам документации следует поступить, если документация для ПО быстро устаревает из-за частых обновлений версий: сокращать объем сведений, писать более обобщенно или нужно изменить требование по документации?

В раздел программное обеспечение цифровых технологий (в отличие от программных средств информационных технологий), входят любые программные средства, обеспечивающие работу цифровых устройств, применяемых для обработки информации –

например, приложения смартфонов, «мини»-операционные системы сетевых узлов или метеостанций, программы для обеспечения работы беспилотных летательных аппаратов и др.

3 – алгоритмическое или технологическое обеспечение цифровой технологии, которое определяет технологию взаимодействия между компонентами аппаратных узлов, включая и принципы человеко-машинного взаимодействия, поэтому часто данный компонент обозначается термином brainware и обозначает знание пользователем принципов работы аппаратного обеспечения и программного обеспечения, алгоритмов работы с ними, в данном случае человек рассматривается как неотъемлемая часть компьютерной системы: Brainware means ability to give commands or use computing devices, to manage their software and hardware; brainware is a human being who is able to explore software or hardware on a computer».[5] Часто в литературе можно встретить разделение данного компонента на два отдельных вида обеспечения: алгоритмическое/технологическое и методическое, куда выделяются знания и умения человека управлять техникой и программами, особенно, если управление включает ряд специфических умений. Также следует подчеркнуть, что со временем может меняться и смысл термина, потому что в связи с распространением технологий искусственного интеллекта и развития биоинформатики, направленной на объединение природных человеческих возможностей и алгоритмов искусственного интеллекта и роботизированных частей человеческого тела, появляются публикации, где термин «brainware» обозначает именно такое объединение «человеческого» и «машинного» обеспечения для функционирования «расширенных» цифровых технологий.

Объединение программного и аппаратного обеспечения называют средствами цифровых технологий.

[5] Источник определения: https://nds.id/en/brainware-en/

Классификация цифровых технологий

Существует несколько разновидностей разделения цифровых технологий на группы, при этом каждая классификация представляет собой подразделение на группы в зависимости соответствия или не соответствия определенным условиям или критериям, объединяемым под названием «основание классификации». Представим несколько часто применяемых классификаций цифровых технологий:

1. В зависимости от преобладающего функционала при обработке данных и информации цифровые технологии делятся на «технологии структурирования и хранения информации, технологии обеспечения информационной безопасности (защиты информации), технологии кодирования и преобразования информации, технологии передачи информации (сетевые/телекоммуникационные технологии); технологии анализа данных»[6].
2. По степени объединения разных технологий в единую технологию различают:

2.1. Интегрированные технологии (когда несколько технологий объединяются для решения широкого круга задач), например, технология электронного офиса – несколько программ для стандартных задач, решаемых в любом учреждении, где работают с документами, могут быть оснащены одинаковым интерфейсом окна и общими принципами работы. Пример данной технологии – Microsoft Office – именно данный пакет программ и послужил эталоном комплектации подобных технологических решений, куда стандартно входят текстовый процессор, табличный редактор, редактор презентаций, система управления базами данных. Среди устанавливаемых на компьютер версий наиболее известными продуктами с коммерческой лицензией являются «Р7-Офис», «Мои Офис»,

[6] Блинова Е. Е., Евланова А.Г. Цифровые технологии в образовании : Учебное пособие / Е.Е. Блинова, А. Г. Евланова.- Ростов-на-Дону – Таганрог : Южный федеральный университет, 2024. – 171 с. Режим доступа URL: https://hub.sfedu.ru/repository/material/801313121/(дата обращения: 20.05.2025).

«AlterOffice», свободно распространяемые пакеты «LibreOffice», «WPS Office». Также существует реализация технологии «электронного офиса» через сети и облачные решения с применением облачных технологий и наиболее известными онлайн офисами являются «MS Office 365», российские сервисы «МойОфис», «Яндекс 360», «VK WorkSpace».

2.2. Автоматизированные рабочие места (АРМ), которые представляют собой объединение программного обеспечения и оборудования для решения профессионально-ориентированных задач, то есть от интегрированных технологий общего назначения они отличаются акцентом на оборудование и программы для решения профессиональных задач, при этом ключевым отличием является то, что без оборудования программное обеспечение редко применяется, поскольку оно необходимо для обработки данных, поступающих от измерительных приборов в автоматизированном режиме. Наиболее близкие термины на английском языке для обозначения данного типа объединенных технологий – automated workplace и automated workstation. An Automated Workplace means implementation of digital tools (hardware, software, including artificial intelligence tools to increase efficacy of employees by delegating repetitive operations and rule-based tasks to digital tools. Если говорить о метеорологии АРМ – это комплекс аппаратных и программных средств, обеспечивающий возможность автоматизации сбора метеоданных, их обработку, визуализацию, кодирование и передачу для централизованного хранения (например, во Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, сокращенно ВНИИГМИ-МЦД; или на серверы Росгидромета и Всемирной метеорологической организации). Примерами использования АРМ в атмосферных науках являются аппаратно-программный комплекс «Almeta Monitor» (от компании «Ланит Интеграция»), чья работа сопряжена с метеорологическими станциями, АРМ метеоролога-наблюдателя (разработчик ВНИИГМИ-МЦД), Метеорологическая система измерения пространственной

структуры атмосферной турбулентности в неоднородном ландшафте (разработанная коллективом авторов ИНХС РАН[7]). В такие комплексы входят мобильные или стационарные центры управления с мачтами и антеннами, комплекты метеорологических датчиков для постов, дополнительное оборудование для обеспечения связи, персональный компьютер или ноутбук для первичной обработки информации, ее визуального представления (блоки индикации – мониторы), кодирования (например, для формирования метеорологических телеграмм в форматах METAR, SPECI, TAF), архивирования и передачи; программное обеспечение, которое обеспечивает работу всех устройств и создающее условия для работы специалисту (например, Метео (входит в комплект АМС-МЕТЕО), ГИС «Метео» и ГИС Метео-Синоптик (от компании Мэп Мейкер) и другие). Также АРМ может входить в комплект более сложных систем, например, в составе Аэродромной метеорологической информационно-измерительной системы (АМИИС) могут быть включены АРМ ВИУ АМИС-РФ, АМИИС-2000, АМИС-ROSA, АРМ Климат[8], КРАМС-4, и др. Данные аппаратно-программные комплексы обычно имеют и дополнительные возможности ввода данных в режиме эксперта, например, в программе «Almeta Monitor» специалист может ввести вручную данные о наблюдаемых опасных метеорологических явлениях, об облачности и др. В настоящее время сложно отделить понятие «автоматизированное рабочее место» от применения сетевых платформ, поэтому часто применяются не «локальные» АРМ, а платформенные решения, когда информация от оборудования поступает в облачное хранилище, а затем обрабатывается теми программными средствами, которые предоставляет «облако».

2.3. Интегрированные инструментальные цифровые технологии, где объединение осуществляется для того, чтобы обеспечить оптимальное преобразование информации в электронной форме.

[7] Полная информация о комплектации и коллективе авторов расположена по адресу https://istina.ips.ac.ru/patents/445379832/

[8] Разработаны Институтом геофизического приборостроения (г. Санкт-Петербург), дополнительная информация доступна по ссылке http://igptech.ru/

В данную группу включают *технологию гипертекста* (гипертекстовую технологию), определяющую принципы разработки текстов разветвлённой структуры и перемещения по ним с помощью гиперссылок; *технологию мультимедиа* (мультимедийную технологию) – предоставляет инструменты для создания информационных ресурсов, включающих комбинацию информации различного вида (текст, графику, видео, звук, анимацию); технологию гипермедиа (гипермедийную технологию), включающую в себя средства, объединяющие возможности мультимедийной и гипертекстовой технологий, и ориентированную на создание информационных ресурсов сложной структуры, где ассоциативные связи в виде гиперссылок устанавливаются между различными видами информации.

3. В зависимости от того, на какой преимущественно тип обрабатываемой информации направлена технология, различают технологию обработки текстовой информации; технологию обработки числовой информации; технологию обработки графической информации; технологию обработки мультимедийной информации, геоинформационные технологии (технологии обработки пространственно-временных данных).
4. Классификация по новизне применения: поскольку цифровые технологии уже прошли в своем развитии несколько поколений, то в зависимости от того, когда они были разработаны и насколько еще будут изменяться, различают устоявшиеся цифровые технологии и передовые цифровые технологии. Устоявшие цифровые технологии представляют собой хорошо отработанный комплекс компонентов, стабильно применяющийся для решения определённых задач, для которого разработаны понятные большинству пользователей правила применения, при этом часто правила работы с такими технологиями превращаются в стандарт, они используются при решении регулярных задач, где важны надежность и сопоставимость результатов. К устоявшимся цифровым технологиям в метеорологии можно отнести обработку данных метеостанций, спутниковый мониторинг снежного/ледового покрова, автоматизацию численных моделей