

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра дискретной математики и информационных технологий

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ РАСЧЕТА СРЕДНИХ ПОЛЕЙ,
ЗОНАЛЬНЫХ И МЕРИДИОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
СКОРОСТИ ВЕТРА, РАСЧЕТА СКОРОСТИ ВЕТРА
ПРИЛОЖЕНИЯ GEOSTATSGU**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 421 группы
направления 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника
факультета КНиИТ
Кожевниковой Яны Алексеевны

Научный руководитель
старший преподаватель

М. В. Белоконь

Заведующий кафедрой
к. ф.-м. н., доцент

Л. Б. Тяпаев

Саратов 2026

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Современная гидрометеорология опирается на цифровые архивы наблюдений, результатов численного прогноза и реанализов. Данные представлены многомерными полями в форматах NetCDF и GRIB с координатами, временными осями, единицами измерения и другими метаданными. Для учебных и прикладных задач необходим настольный инструмент, в котором визуализация и расчётные операции связаны с понятным пользовательским сценарием и сохраняют трассируемость результата.

Практическая актуальность работы связана с запросом географического факультета Саратовского государственного университета (СГУ). В условиях ограничения доступа к ряду зарубежных пакетов для первичной обработки метеорологических полей возникает потребность в отечественном решении согласованного функционала. Приложение GeostatSGU позволяет выполнять типовые расчёты и отображать результаты на карте без разрыва учебных сценариев на кафедрах физической географии и картографии.

Цель работы - разработка модулей расчета средних полей, зональных и меридиональных составляющих скорости ветра, расчета скорости ветра приложения GeostatSGU.

Задачи работы:

- изучить теоретические основы, необходимые для расчётов;
- освоить инструментарий для реализации модулей приложения;
- реализовать модуль расчета средних полей;
- реализовать модуль расчета зональных и меридиональных составляющих скорости ветра;
- реализовать модуль расчета скорости ветра.

Материалы исследования. Объектом служат процессы расчёта и визуализации метеорологических полей в настольном приложении GeostatSGU. Предметом - методы расчёта средних полей и характеристик ветра, их программная реализация и сопровождение применения. В качестве исходных данных используются многомерные архивы NetCDF и GRIB: поля моделей и реанализов (геопотенциал, температура, компоненты ветра, модуль и направление ветра и др.) с метаданными по конвенциям CF. Теоретическая база опирается на учебную и справочную литературу по метеорологии, численным методам, форматам обмена данными и документацию используемых

программных библиотек.

Структура работы. Бакалаврская работа состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка источников и приложения. Раздел 1 «Постановка задачи и описание инструментария» раскрывает актуальность разработки модулей GeostatSGU, выбранный программный стек и дополнительные средства сопровождения. Раздел 2 «Гидрометеорологические характеристики, вычисляемые в приложении» формализует постановки расчётов средних полей, компонент ветра, модуля скорости и дискретного лапласиана, критерии корректности данных и требования к пользователю. Раздел 3 «Программная реализация модуля» описывает архитектуру MVVM, перенос постановок в код, тестирование по схеме «объект - эталон - метрика» и конвейер поставки под Windows. В приложении приведены листинги основных функций расчётного ядра.

Объект исследования - процессы расчёта и визуализации метеорологических полей в настольном приложении GeostatSGU. Предмет исследования - методы расчёта средних полей и характеристик ветра, программная реализация указанных модулей и сопровождение их применения. Практическая значимость - готовые расчётные модули, интерактивная справка и установщик, не требующий отдельной настройки Python на компьютере пользователя; решение ориентировано на нужды географического факультета СГУ. Дополнительно в работе описаны дискретный лапласиан, архитектура MVVM, интерактивная справка, темы оформления и поставка под Windows; эти компоненты поддерживают внедрение модулей в учебной практике, хотя не входят в минимальный перечень задач задания.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе обоснована актуальность разработки модулей GeostatSGU для первичной обработки метеорологических архивов. Показано, что современные поля моделей и реанализов хранятся как многомерные массивы с привязкой ко времени и географической сетке, а типовые операции включают усреднение по времени, переход к компонентам ветра и восстановление модуля скорости. Описан выбранный инструментарий: язык Python, библиотеки `xarray` и `NumPy` для маркированных полей и редукций, `netCDF4`, `cf_grib` и `esCodes` для чтения NetCDF/GRIB, `Matplotlib`, `Cartopy` и `PROJ` для картографической визуализации, `PyQt6` для графического интерфейса. Проект организован по схеме, близкой к MVVM: каталог `models` содержит расчётное ядро, `viewmodels` - сценарии пользователя, `views` - элементы интерфейса. Расчётные функции могут вызываться из тестов без инициализации Qt, что поддерживает воспроизводимость результатов. Проверка ядра выполняется средствами `pytest`.

Помимо модулей, предусмотренных заданием, описаны средства сопровождения: интерактивная справка в виде пошагового обхода интерфейса с подсветкой активных виджетов; светлая и тёмная темы оформления на базе таблиц стилей Qt с сохранением выбора между сеансами; конвейер поставки под ОС Windows на базе `PyInstaller` (автономный исполняемый файл) и `Inno Setup` (установщик с мастером развертывания). Структура бакалаврской работы выстроена так, что раздел 1 задаёт постановку и инструментарий, раздел 2 формализует метеорологические расчёты, раздел 3 описывает перенос постановок в код и проверку реализации.

Во втором разделе рассмотрен класс задач первичной обработки и критерии корректности. Выделены три аспекта: размерностный и семантический (единицы, имена осей, конвенции CF), конвенциональный (метеорологическое направление ветра, знаки компонент u и v) и численный (порядок дискретных аппроксимаций, шаг сетки, граничные условия). Подчёркнута необходимость воспроизводимости: одинаковые входные файлы, версия программы и параметры расчёта должны давать один и тот же численный результат. Это связывает теоретическую постановку с модульным тестированием и регрессионными проверками.

Описано представление полей во времени и на сетке. Метеорологиче-

ские архивы поставляются как упорядоченные массивы значений на фиксированной решётке с метаданными о единицах, типе уровня и смысле координатных переменных. Форматы NetCDF и GRIB обеспечивают машиночитаемую семантику данных; библиотека хатгау позволяет оперировать маркированными многомерными массивами с именованными осями `time`, `latitude`, `longitude` и сохранением атрибутов `units`, `long_name`. На широтно-долготной сетке учитывается изменение длины дуги параллели с широтой ($\cos \varphi$), что важно при дифференцировании и оценке локальных шагов.

Средние поля. Для поля $A(\mathbf{r}, t)$ на горизонтальной сетке среднее по выборке сроков t_k определяется как

$$\bar{A}(\mathbf{r}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N A(\mathbf{r}, t_k).$$

На вход подаётся согласованная последовательность значений на одной сетке и оси времени; на выходе - поле «широта × долгота». При работе с пропусками (NaN) различают условное среднее по доступным срокам и требование полной валидности всех N сроков; выбор политики влияет на смещение результата. Для ветра важно различать среднее модуля скорости и модуль среднего вектора: при переменном направлении $|\overline{\mathbf{V}}| \neq \overline{|\mathbf{V}|}$, поскольку модуль - нелинейная функция компонент.

Компоненты ветра u и v . По модулю $|\mathbf{V}|$ и метеорологическому направлению θ (откуда дует ветер) зональная и меридиональная составляющие задаются соотношениями

$$u = -|\mathbf{V}| \sin \theta, \quad v = -|\mathbf{V}| \cos \theta.$$

Углы переводятся в радианы; при $|\mathbf{V}| = 0$ компоненты фиксируются как $(0, 0)$. Порядок операций принципиален: сначала перевод в (u, v) с последующим осреднением и осреднение модуль/направления с последующим переводом - разные постановки.

Модуль скорости ветра восстанавливается из компонент по формуле $|\mathbf{V}| = \sqrt{u^2 + v^2}$. Скаляр инвариантен относительно поворота осей «восток-север», но нелинеен относительно усреднения: $\sqrt{u^2 + v^2}$ и $\overline{\sqrt{u^2 + v^2}}$ в общем случае не совпадают.

Дискретный лапласиан на регулярной сетке реализован как диагностический показатель локальной неоднородности скалярного поля. На внутренних узлах используется пятиточечная схема вторых разностей с шагами Δx , Δy в метрах; для глобального круга долгот предусмотрена периодичность по долготе, крайние параллели остаются неопределёнными. Оператор дополняет основной набор расчётов приложения и требует тех же принципов контроля метаданных и размерности результата.

Сформулированы требования к входным данным (самодокументируемость по CF, согласованность осей `time`, `latitude`, `longitude`), к программе (сохранение атрибутов, понятные сообщения об ошибках) и к пользователю (понимание метеорологических конвенций и порядка операций). Отдельно перечислены типовые риски: потеря метаданных при редукции, неверная интерпретация направления ветра, смещение разных временных срезов, подмена среднего модуля средним вектором. Для каждого риска указаны меры контроля на уровне интерфейса и расчётного ядра.

В третьем разделе описана программная реализация. Типовой поток данных: загрузка файла NetCDF/GRIB \rightarrow объект `xaarray` \rightarrow выбор переменной и срезов \rightarrow функции каталога `models` \rightarrow карта (Matplotlib/Cartopy) или экспорт. Расчёт среднего поля выполняется редукцией по временной оси с сохранением атрибутов (`keep_attrs`); сценарная часть в `MeanFieldsVM` обеспечивает отбор диапазона по времени и уровню перед вызовом функции осреднения. Преобразования ветра реализованы в `models/calculations.py`; лапласиан - функцией `calculate_scalar_laplacian` с учётом локальных шагов сетки и $\cos \varphi$. Длительные вычисления выполняются в фоновом потоке `CalcWorker`, чтобы не блокировать интерфейс.

Архитектура MVVM отделяет метеорологическую логику от отрисовки: ядро `models` тестируется без Qt. Проверка модулей организована по схеме «объект - эталон - метрика»: усреднение сравнивается с эталонным `.mean xaarray`, преобразования ветра - на контрольных узлах с погрешностью порядка 10^{-14} , модуль скорости - на ортогональных тестовых полях; отдельно проверяются сценарии справки, смены темы и загрузки типового файла.

Справка и темы оформления. Интерактивная справка реализована как пошаговый обход интерфейса с подсветкой целевого виджета: загрузка файла, панель расчётов, просмотр карты, переключение темы. Это снижает опе-

рациональные ошибки при первом знакомстве с архивами NetCDF/GRIB. Светлая и тёмная темы задаются таблицами стилей Qt; выбор сохраняется между сеансами и не влияет на численные результаты.

Сборка и установщик. Для распространения на рабочих местах без установленного Python подготовлены исполняемый файл (PyInstaller) и установщик (Inno Setup) с ярлыками и каталогом данных пользователя. После установки приложение запускается без настройки виртуального окружения. В приложении к бакалаврской работе приведены листинги ключевых функций каталога `models/calculations.py`.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы достигнута поставленная цель: разработаны модули расчета средних полей, зональных и меридиональных составляющих скорости ветра, расчета скорости ветра приложения GeostatSGU.

Основные результаты:

- изучены теоретические основы представления метеорологических полей во времени и на сетке, правила усреднения, переход между модулем, направлением и компонентами ветра, требования к корректности входных данных и метаданным CF;
- освоены и описаны инструментарий разработки: Python, NumPy, хатрай, PyQt6, библиотеки чтения NetCDF/GRIB и картографической визуализации;
- реализован модуль расчёта средних полей с редукцией по временной оси и сохранением атрибутов результата;
- реализован модуль расчёта компонент ветра u , v по модулю и метеорологическому направлению с учётом принятой конвенции;
- реализован модуль расчёта скорости ветра как восстановление модуля по компонентам;
- дополнительно описаны и реализованы дискретный лапласиан, интерактивная справка, темы оформления и конвейер поставки под Windows.

Практическая значимость подтверждается тем, что расчётные модули встроены в единое настольное приложение с понятным интерфейсом, справкой и установщиком, ориентированным на нужды географического факультета СГУ. Разработанное решение может использоваться при работе с архивами моделей и реанализов в учебных и прикладных задачах как локальная альтернатива зарубежным пакетам аналогичного назначения.

Сопоставление с упрощённым прототипом показывает, что добавленная сложность оправдана требованиями работы с реальными архивами: метаданные CF, пара (u, v) , разделение слоёв MVVM и воспроизводимая поставка превращают учебный скрипт в инструмент, пригодный для разбора полей на рабочем месте исследователя.

Перспективы развития связаны с количественной верификацией дифференциальных операторов на аналитических полях, расширением автоматических тестов, профилированием на крупных архивах NetCDF/GRIB и со-

гласованным расширением функционала приложения вместе со справкой и сценариями проверки.

Основные источники информации:

- 1 IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. V. Masson-Delmotte et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. 2391 p.
- 2 Ahrens C.D., Henson R. Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment. 12th ed. Boston: Cengage Learning, 2022. 656 p.
- 3 Балтыжакова Т. И. Геоинформационные системы: учебное пособие. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. 115 с.
- 4 Unidata. Network Common Data Form (NetCDF). Документация [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.unidata.ucar.edu/netcdf/> (дата обращения: 25.04.2026).
- 5 Калиткин Н.Н. Численные методы. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 592 с.
- 6 Hoyer S., Hamman J. xarray: N-D labeled Arrays and Datasets in Python // Journal of Open Research Software. 2017. Vol. 5, no. 1. Art. 14.
- 7 Eaton B. et al. CF Metadata Conventions. Version 1.10 [Электронный ресурс]. URL: <https://cfconventions.org> (дата обращения: 27.04.2026).
- 8 WMO. Manual on the Global Data-processing and Forecasting System. WMO-No. 485. Geneva: WMO, 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://library.wmo.int/> (дата обращения: 28.04.2026).
- 9 Riverbank Computing Limited. PyQt6 Reference Guide [Электронный ресурс]. URL: <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt6/> (дата обращения: 02.05.2026).
- 10 Братков В. В., Луговской А. М., Мелкий В. А., Верхотуров А. А. Метеорология и климатология: учебник. М.: КноРус, 2022. 239 с.