Издается
Московским
государственным
университетом
геодезии
и картографии
(МИИГАиК)
с 2008 года

Published by
MIIGAiK since 2008

e-ISSN 2782-6678

Пространственные данные: наука и технологии

Spatial Data: Science, Research and Technology

15 | 02 | 2024

Научное издание
Московского государственного университета
геодезии и картографии (МИИГАиК)

Пространственные данные: наука и технологии

Scientific peer-reviewed journal
"Spatial Data: Science, Research and Technology"

15 | 02 | 2024

Москва, Россия
Moscow, Russia

О журнале

ПОЛНОЕ НАЗВАНИЕ
Научный журнал «Пространственные данные: наука и технологии»

СОКРАЩЕННОЕ НАЗВАНИЕ
«Пространственные данные: наука и технологии»

МЕЖДУНАРОДНОЕ НАЗВАНИЕ
Spatial Data: Science, Research and Technology

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ
геодезия, геоинформатика, картография, землеустройство, кадастр, мониторинг земель, геоэкология, геофизика, маркшейдерское дело, горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, системный анализ, машинное обучение, искусственный интеллект

УЧРЕДИТЕЛЬ, ИЗДАТЕЛЬ
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК)

ЛИЦЕНЗИЯ
материалы журнала распространяются в открытом доступе по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

СТРАНА, ГОРОД
Россия, Москва

ДАТА ОСНОВАНИЯ
2008 год

ПЕРИОДИЧНОСТЬ
4 выпуска в год

ЯЗЫКИ
русский язык (полнотекстовая версия), английский язык (метаданные)

e-ISSN
2782-6678

ВЕБ-САЙТ
www.miigaik.ru/journal

СВИДЕТЕЛЬСТВО О СМИ
серия Эл № ФС77-85558 (сетевое СМИ)

ИНДЕКСИРОВАНИЕ
РИНЦ (НЭБ eLIBRARY.RU)

About the journal

INTERNATIONAL TITLE
Spatial Data: Science, Research and Technology

SUBJECT AREAS
Geodesy, geoinformatics, cartography, land management, cadastre, land monitoring, geoecology, geophysics, mining and oil and gas geology, system analysis, machine learning, artificial intelligence

FOUNDED AND PUBLISHED BY
Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)

LICENSE
The material is published on the basis of Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

INDEXING
Russian Science Citation Index (Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU)

LOCATION
Moscow, Russia

ESTABLISHED IN
2008

FREQUENCY
quarterly scientific journal

LANGUAGES
Russian (main text), English (metadata)

e-ISSN
2782-6678

WEBSITE
www.miigaik.ru/journal

Редакционная коллегия

Редакция
Отдел наукометрии и издательской деятельности

Выпускающий редактор:
Фомина Н.В.
Научный редактор:
Шишкина М.В.
Технический редактор:
Журавлёва Е.Д.
Компьютерная верстка:
Леднёва С.В.
Дизайн-макет:
Леднёва С.В.

Учредитель и издатель
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

Адрес
105064, Москва, Гороховский пер., 4

e-mail:
info@spacejournal.ru

Подписано в печать
28.06.2024.

Гарнитура Ubuntu.

© МИИГАиК

Главный редактор

Камынина Надежда Ростиславовна
д-р экон. наук (Москва, Россия)

Заместитель главного редактора

Матерухин Андрей Викторович
д-р техн. наук (Москва, Россия)

Атаманов Сергей Александрович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Ашихмина Тамара Яковлевна д-р техн. наук (Киров, Россия)

Братков Виталий Викторович д-р геогр. наук (Москва, Россия)

Булаева Нуржаган Маисовна д-р техн. наук (Махачкала, Россия)

Воробьёв Андрей Владимирович д-р техн. наук (Уфа, Россия)

Воробьёва Гульнара Равилевна д-р техн. наук (Уфа, Россия)

Вшивкова Ольга Владимировна д-р техн. наук (Москва, Россия)

Гайрабеков Ибрагим Гиланиевич д-р техн. наук (Грозный, Россия)

Гарбук Сергей Владимирович канд. техн. наук (Москва, Россия)

Григорьев Сергей Александрович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Гусев Владимир Николаевич д-р техн. наук (С.-Петербург, Россия)

Кашников Юрий Александрович д-р техн. наук (Пермь, Россия)

Колоденкова Анна Евгеньевна д-р техн. наук (Самара, Россия)

Кулагин Владимир Петрович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Малинников Василий Александрович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Пененко Алексей Владимирович д-р техн. наук (Новосибирск, Россия)

Розенберг Игорь Наумович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Сугаипова Лейла Супьяновна д-р техн. наук (Москва, Россия)

Темкин Игорь Олегович д-р техн. наук (Москва, Россия)

Сученко Владимир Николаевич д-р техн. наук (Москва, Россия)

Ульянов Сергей Викторович д-р физ.-мат. наук (Дубна, Россия)

Editorial Board

Editorial Office
Department
of Scientometrics
and Publication

Project Management by:
Nina V. Fomina
Edited by:
Mariya V. Shishkina
Illustrations by:
Ekaterina D. Zhuravlyova
Layout design by:
Svetlana V. Ledneva
Cover design by:
Svetlana V. Ledneva

Founded
and published by
Moscow State University
of Geodesy and Cartography

Address
4, Gorokhovskiy pereulok,
Moscow, Russia, 105064

e-mail:
info@spacejournal.ru

Published:
28.06.2024.

Font family: Ubuntu

© MIIGAiK

Editor-in-Chief
Nadezhda R. Kamynina
DSc (Moscow, Russia)

Deputy Editor-in-Chief
Andrei V. Materukhin
DSc (Moscow, Russia)

Tamara Ya. Ashikhmina DSc (Kirov, Russia)

Sergey A. Atamanov DSc (Moscow, Russia)

Vitaly V. Bratkov DSc (Moscow, Russia)

Nurzhagan M. Bulaeva DSc (Makhachkala, Russia)

Ibragim G. Gairabekov DSc (Grozny, Russia)

Sergey V. Garbuk PhD (Moscow, Russia)

Sergey A. Grigoriev DSc (Moscow, Russia)

Vladimir N. Gusev DSc (Saint-Petersburg, Russia)

Yuriy A. Kashnikov DSc (Perm, Russia)

Anna E. Kolodenkova DSc (Samara, Russia)

Vladimir P. Kulagin DSc (Moscow, Russia)

Vasiliy A. Malinnikov DSc (Moscow, Russia)

Alexey V. Penenko DSc (Novosibirsk, Russia)

Igor N. Rozenberg DSc (Moscow, Russia)

Vladimir N. Suchenko DSc (Moscow, Russia)

Leyla S. Sugaipova DSc (Moscow, Russia)

Igor O. Temkin DSc (Moscow, Russia)

Sergey V. Ulyanov DSc (Dubna, Russia)

Andrei V. Vorobev DSc (Ufa, Russia)

Gulnara R. Vorobeva DSc (Ufa, Russia)

Olga V. Vshivkova DSc (Moscow, Russia)

Содержание

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Исаева М.А., Черных Е.Г. **8**
Разработка элементов комплексной системы показателей городского пространства при расчете индекса стабилизации урбанизированной территории (на примере Тюменской области)

ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ

Бондаренко С.В., Кравченко А.В. **25**
Геопространственный и интеллектуальный анализ данных в Федеральной государственной географической информационной системе «Единая цифровая платформа „Национальная система пространственных данных“»

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Соколова Н.В. **43**
Мониторинг геологических процессов высокого ранга с использованием системы транзитных тальвегов

ГЕОДЕЗИЯ

Рахмонов С.С., Рахманов А.С. **59**
Исследование (анализ) временных рядов нескольких станций, полученных из обработки RINEX-файлов

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Сереке Т.Э., Братков В.В. **84**
Сравнение эффективности оптических данных со спутников дистанционного зондирования PlanetScope, Landsat 8 и Sentinel 2 для классификации типов землепользования на примере г. Мендеферы

Contents

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

Isaeva M.A., Chernykh E.G. **8**
Development of elements of an integrated system of urban space indicators for calculating the stabilization index of an urbanized territory (using the example of the Tyumen region)

GEOINFORMATICS, CARTOGRAPHY

Bondarenko S.V., Kravchenko A.V. **25**
Methods of spatial data analysis in the Federal State Geoinformation System "Unified Digital Platform National Spatial Data System"

GEOECOLOGY

Sokolova N.V. **43**
Monitoring high-rank geological processes using a system of transit thalwegs

GEODESY

Rakhmonov S.S., Rakhmanov A.S. **59**
Investigation of time series of several stations obtained from processing RINEX files

SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING

Sereke Temesghen Eyassu, Bratkov V.V. **84**
Evaluating the performance of optical remote sensing data PlanetScope, Landsat 8 and Sentinel-2 for land use land cover classification case study Mendefera town

УДК 351.823
DOI:10.30533/scidata-2024-15-02

CC BY

Разработка элементов комплексной системы показателей городского пространства при расчете индекса стабилизации урбанизированной территории (на примере Тюменской области)

М.А. Исаева[1], Е.Г. Черных[1]

АФФИЛИАЦИИ

[1] Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
isaewa.marta@yandex.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Исаева М.А., Черных Е.Г. Разработка элементов комплексной системы показателей городского пространства при расчете индекса стабилизации урбанизированной территории (на примере Тюменской области) // Пространственные данные: наука и технологии. 2024. Т. 15. № 2. С. 8–24. DOI:10.30533/scidata-2024-15-02.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

устойчивое развитие урбанизированных территорий, экономические возможности территории, экологическая потребность, демографическая динамика, жилищная и рекреационная емкость территории, обеспеченность инженерной инфраструктурой, вегетационный индекс территории города, зеленый пояс города, миграционный поток, структура городского пространства

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается система элементов комплексной оценки показателей городского пространства, которая включает в себя экономические возможности и экологическую потребность локаций, жилищную и рекреационную емкость изучаемых базисов, обеспеченность инженерной инфраструктурой (газ, электричество, водопровод и водоотведение

и т.д.), социальные инфраструктурные возможности территории города. Авторами охарактеризованы основные концепции устойчивого развития урбанизированных территорий, на основе которых раскрыто понятие «устойчивое развитие территории города». Для оценивания уровня развития городских территорий предложен индекс стабилизации урбанизированных территорий (stabilization index — I_{st}), который базируется на двух группах факторов, аккумулирующих в себе девять признаков урбанизированной территории. На примере Тюменской области (включая Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа) составлена матрица связей и подразделений городского пространства, которая включена в схему расчета индекса стабилизации урбанизированных территорий. Результаты визуализированы в табличной форме посредством расчета I_{st}. Сделан вывод о возможном использовании рассчитанного индекса по территориям Тюменской области в качестве инструментария стратегии социально-экономического развития Тюменской области на долгосрочный период.

1 Введение

Урбанизированные территории представляют собой сложные инфраструктурно-территориальные базисы, в которые входят все жизненно важные объекты и структуры городской жизнедеятельности. Урбанистические базисы выстраиваются на основании документов территориального планирования, в которых фиксируются границы города, функциональные зоны агломерации (природные и техногенные локации) в зависимости от уровня финансирования (местного, регионального, федерального значения).

Компоненты урбанизированных территорий тесно связаны друг с другом, задача городских властей состоит в том, чтобы соотнести экономические, экологические, социальные, жилищные и транспортные показатели для работы в одном «потоке» в целях устойчивого развития урбанизированной территории. Именно в соответствии с генеральным планом, который является основным документом на уровне администрации города, утверждаются, реализуются и продвигаются экономические, экологические, инфраструктурные и социальные проекты развития агломерации.

Указ Президента РФ от 1 апреля 1996 г. «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию»[1], в котором закреплены основные принципы развития территорий (механизмы экономического и экологического благополучия, соблюдение законодательных нормативов, инфраструктурная и социальная модернизация), дал основу для дальнейшего исследования в данной отрасли.

1 Указ Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440 «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://base.garant.ru/1548498 (дата обращения: 30.03.2024).

Градостроительный кодекс РФ[2] трактует понятие «устойчивое развитие» с акцентом на благоприятные условия жизнедеятельности населения и рациональное использование природных ресурсов городов. Отличную от этой точку зрения приводит Н.С. Шиликов в работе «Выполнение целей устойчивого развития странами „Группы двадцати“ в период с 2022 года по первое полугодие 2023 года» [1]. Автор под устойчивым развитием понимает улучшение качества жизни населения за счет экологии и безопасности городской среды.

Нами были проанализированы исследовательские работы К.Н. Айнуллиной [2], Е.Ю. Камчатовой, А.О. Конышевой [3], М.М. Каширипура [4]. На основании проведенного анализа в статье под устойчивым развитием предлагается понимать такое развитие территории, при котором экономический рост способствует инфраструктурному, социальному прогрессу, не разрушая при этом экологический баланс города.

Устойчивое развитие урбанизированной территории (УТ) подразумевает сбалансированную, взаимовыгодную работу всех функциональных зон. Для этого необходимо проведение мониторинга УТ с целью выявления потенциальных проблем (положительного или отрицательного прогресса). Каждый из компонентов городской системы важен для жизнедеятельности человека.

2 Материалы и методы

Для решения поставленных задач использовались следующие методы исследования: анализ основных компонентов урбанизированной территории; синтез — аккумулирование компонентов городского пространства в две группы факторов; моделирование — соотнесение комплексной оценки матричной системы показателей; метод статистики — расчет индекса стабилизации по основным территориальным единицам Тюменской области; метод разработки — добавление корреляционного коэффициента в расчетную формулу индекса стабилизации урбанизированной территории.

С целью расчета индекса стабилизации урбанизированных территорий для выведения отдельных показателей городской структуры были использованы следующие источники: доклад «Об экологической ситуации в Тюменской области в 2022 году» (экологическая обстановка в Тюменской области в отношении загрязняющих веществ от автомобильного транспорта); данные Тюменского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и ФБУЗ «Центр

2 Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (ред. от 25.12.2023) (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 01.05.2024). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/?ysclid=m0zj58gqzz817210114 (дата обращения: 30.03.2024).

гигиены и эпидемиологии Тюменской области» (информация о выбросах и поглощении парниковых газов), Управления Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу и Ямало-Ненецкому автономному округу (численность населения в пределах городов и за их пределами), Прогноз социально-экономического развития Тюменской области на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов (уровень дохода населения), а также программный модуль QGIS 3.36.1 (доля зеленой инфраструктуры города).

3 Результаты и обсуждение

Для комплексной оценки городов анализ матричной системы факторов предлагается провести на основании индекса стабилизации урбанизированных территорий. Матричный анализ в системе городского пространства подразумевает исследование большого набора структурных компонентов. Они систематизированы в две основные группы.

Факторы 1-й группы — экономические возможности территории и экологическая потребность. Оцениваются уровень дохода населения, демографическая динамика, экологическое истощение УТ по объектам зеленой инфраструктуры, уровню загрязнения воздуха.

Факторы 2-й группы — жилищная и рекреационная емкость территории, обеспеченность инженерной инфраструктурой (газ, электричество, водопровод и водоотведение и т.д.), социальные инфраструктурные возможности территории города. При исследовании оцениваются объекты капитального строительства, наличие аварийных домов (согласно федеральному проекту «Обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда» национального проекта «Жилье и городская среда»[3]). Инфраструктурные возможности территории, рекреационная емкость города реализуются через нормативно-правовые законодательные акты, в частности Постановление Правительства РФ от 1 октября 2015 г. № 1050 «Об утверждении требований к программам комплексного развития социальной инфраструктуры поселений, муниципальных округов, городских округов»[4].

3 Паспорт федерального проекта «Обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда» (Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2024 г.). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://base.garant.ru/408586949/ (дата обращения: 30.03.2024).

4 Постановление Правительства РФ от 1 октября 2015 г. № 1050 «Об утверждении требований к программам комплексного развития социальной инфраструктуры поселений, муниципальных округов, городских округов» (с изменениями и дополнениями от 28.11.2023). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://base.garant.ru/71207226/?ysclid=m0zmf24v1p637320385 (дата обращения: 30.03.2024).

Первая группа факторов подразумевает экологические проблемы городов, которые наиболее остры и понятны с точки зрения способов решения. Очевидно, что в каждой локации велико техногенное и промышленное влияние на жизнедеятельность населения городов. Предлагается провести оценку экологического истощения урбанизированной территории по двум факторам: объекты зеленой инфраструктуры и уровень загрязнения воздуха (транспортная аналитика). Согласно докладу «Об экологической ситуации в Тюменской области в 2022 году»[5], в котором представлена аналитическая информация об экологической ситуации в области, выбросах загрязняющих вредных веществ в воздух действующим автомобильным парком на исследуемой территории, количество транспортных средств в 2022 году составило 693 283 транспортных единиц (легковые автомобили, грузовые автомобили и автобусы); в сравнении с 2021 годом число легковых автомобилей увеличилось на 0,9 %, а число грузовых автомобилей и автобусов уменьшилось на 1,7 и 4 % соответственно.

Рис. 1 Выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта в Тюменской области в 2021 г.

Fig. 1 Pollutant emissions from motor vehicles in the Tyumen region in 2021



На **рис. 1** визуализированы выбросы загрязняющих веществ от транспортных единиц в Тюменской области в 2021 году (оксид углерода, диоксид азота, сернистый ангидрид, метан, аммиак).

Тюменский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды[6] и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Тюменской области»[7] предоставили

5 Доклад Правительства Тюменской области «Об экологической ситуации в Тюменской области в 2022 году». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://admtyumen.ru/files/upload/OIV/D_nedro/Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2022 году.pdf (дата обращения: 30.03.2024).

6 Тюменский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://omsk-meteo.ru/index.php/ru/ob-organizatsii/struktura-uchrezhdeniya?id=582 (дата обращения: 30.03.2024).

7 ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Тюменской области». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://fguz-tyumen.ru (дата обращения: 30.03.2024).

совокупные аналитические данные о выбросах парниковых газов и объеме их поглощения по Тюменской области (информация о выбросах и поглощении CO_2 представлена в **табл. 1**).

На основании представленных за период с 2020 по 2023 год данных прослеживается положительная тенденция: поглощение CO_2 преобладает над выбросом загрязняющего вещества в окружающую среду урбанизированных территорий. Данная прогрессия объясняется ростом вегетационного индекса [5], т.е. увеличением зеленых насаждений в городах области (**табл. 2**).

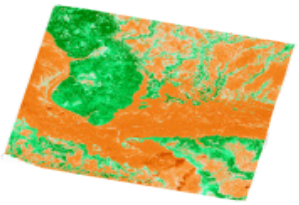
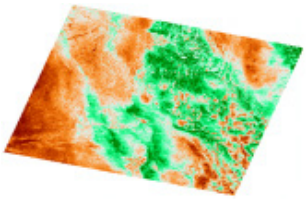
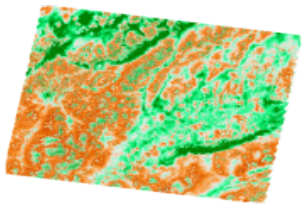
Таблица 1 Данные о выбросах и объемах поглощения CO_2 по Тюменской области за 2020–2023 годы

Table 1 Data on CO_2 emissions and the volume of its absorption in the Tyumen region for 2020–2023

Год	Выброс CO_2, млн т	Поглощение CO_2, млн т
2020	41,7	46,5
2021	43,4	48,2
2022	46,7	52,4
2023	51,8	53,5

Таблица 2 Значение вегетационного индекса на территории городов Тюменской области

Table 2 The value of the vegetation index in urban areas of the Tyumen region

Города Тюменской области	Вегетационные индексы, рассчитанные в программном модуле QGIS 3.36.1 (озеленение городских территорий), баллы				
	Фрагмент программы SAGA	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Тюмень		0,44	0,46	0,58	0,62
Салехард		0,36	0,38	0,41	0,45
Ханты-Мансийск		0,43	0,46	0,48	0,51

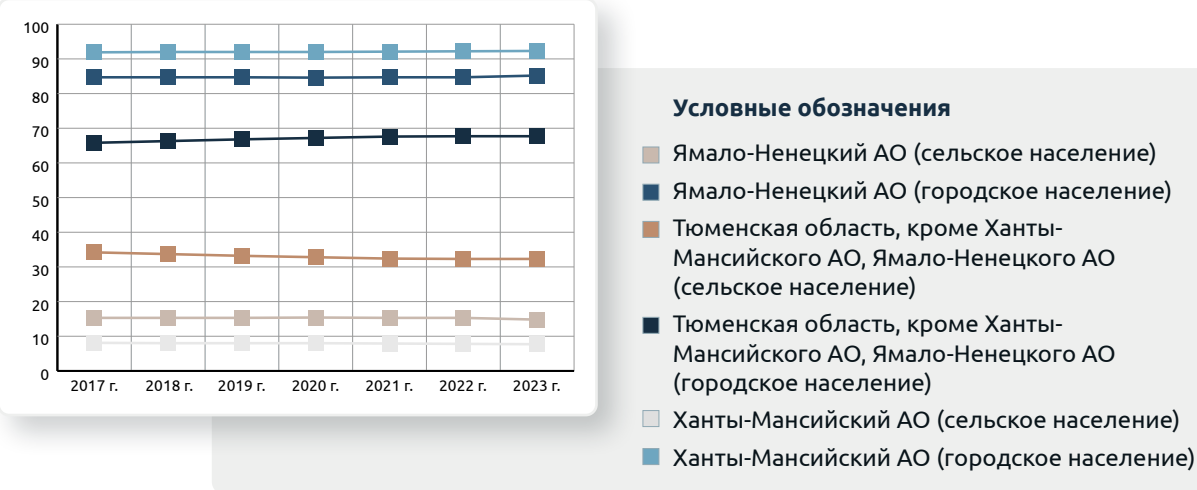
В г. Салехарде наблюдается дефицит зеленых насаждений в черте жилых застроек, в части придомовых площадок и в секторах мест отдыха населения. Зеленая инфраструктура г. Ханты-Мансийска требует увеличения лесопарковых зеленых поясов города. В г. Тюмени наблюдается положительная динамика: численность объектов зеленой инфраструктуры увеличивается[8].

Для проведения анализа использовались также данные Управления Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому и Ямало-Ненецкому автономным округам[9]. Представлены данные по численности населения, проживающего в черте города и за его пределами. Процентное соотношение миграционного потока из сельских местностей на урбанизированные территории составляет: в Ханты-Мансийском АО — 0,09 %, Ямало-Ненецком АО — 0,18 %, Тюменской области (кроме Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого АО) — 0,52 %. На основании диаграммы, представленной на **рис. 2**, можно сделать вывод, что миграционные потоки из сельской местности в город происходят стабильно, на что влияет ряд объяснимых причин: нехватка рабочих мест, неразвитость экономики сельской местности, для граждан молодого возраста — желание получить образование в средних и высших учебных

Рис. 2 Численность населения Тюменской области (включая Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа)

Fig. 2 Population of the Tyumen region (including Khanty-Mansiysk autonomous okrug, Yamalo-Nenets autonomous okrug)

Численность населения Тюменской области (включая Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа), %



8 Решение Тюменской городской думы «О правилах благоустройства территории города Тюмени» от 21 октября 2021 г. № 404. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://duma.tyumen-city.ru/files/informer/file/2021/11/617fc6d278eb1.pdf?ysclid=m0zomurz2r500953490 (дата обращения: 30.03.2024).

9 Доходы и уровень жизни населения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://72.rosstat.gov.ru/ofs_doh_ynao (дата обращения: 30.03.2024).

заведениях, отсутствие перспектив в отношении трудоустройства на крупные промышленные предприятия [6].

Уровень дохода населения урбанизированной территории включает в себя несколько показателей: заработную плату, социальные выплаты, вклады и сбережения в банке, дополнительные источники дохода и т.д. По данным Прогноза социально-экономического развития Тюменской области на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов[10], денежные доходы населения в 2022 году составили 101,1 % относительно уровня 2021 года, в 2023 году — 109,1 % относительно 2022 года. В **табл. 3** представлена сводная аналитическая информация по уровню доходов населения Тюменской области (включая автономные округа).

Таблица 3 Уровень дохода населения в Тюменской области (включая автономные округа)
Table 3 Income level of the population in the Tyumen region (including autonomous districts)

Наименование территориального образования	Динамика уровня дохода в диапазоне с 2020 по 2024 г., %				
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г. (1-й кв.)
Ханты-Мансийский автономный округ	99,6	102,4	103,1	106,1	108,2
Ямало-Ненецкий автономный округ	100,9	105,9	99,3	104,2	106,8
Тюменская область (без Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого АО)	100,4	103,9	102,2	104,2	108,4

Примечание. Ответственность за достоверность данных, представленных в табл. 3, несут авторы.

Ко второй группе факторов относится формирование качественной городской среды для комфортного проживания населения. Обеспеченность граждан объектами капитального строительства, социальная инфраструктура, рекреационные возможности ареалов и наличие высокого уровня инженерного обеспечения представляют собой материальные показатели и составляют успешную городскую среду. Именно формирование качественной градостроительной среды на высоком уровне будет провоцировать развитие человеческого потенциала и экономический прогресс [7–10].

Коммунальные инфраструктуры в Тюменской области (кроме Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого АО) модернизируются в 2023–2024 годах с участием финансовой поддержки Фонда развития территорий. В области реконструируют и построят 101,4 км сетей тепловодоснабжения и водоотведения. Итогом послужит обеспечение инженерными сообщениями 19,2 тыс. жителей региона.

10 Постановление Правительства Тюменской области «Прогноз социально-экономического развития Тюменской области на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов» (изменения и дополнения от 04.03.2021 № 109-п). Тюмень, 2023. 49 с.

Было также проанализировано постановление Правительства Ханты-Мансийского АО — Югры от 20 января 2023 г. № 27-п «О региональной программе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры „Модернизация систем коммунальной инфраструктуры на 2023–2027 годы“»[11], в котором приведены основные показатели по модернизации технического состояния теплоснабжения и водоотведения территорий. Системы коммунальной инфраструктуры характеризуются высоким уровнем износостойкости, однако предусмотрена плановая реконструкция, стоимость ремонта составляет 938 879,32 тыс. руб. по территории автономного округа.

Рассмотренные группы факторов можно оценить с помощью количественных показателей на основе статистических и аналитических баз данных. Частные показатели могут быть аккумулированы в один общий признак, так как характеризуют общее направление и единицу измерения. Например, к экономическим возможностям урбанизированных территорий относятся уровень дохода населения, демографическая динамика, структура городского пространства.

Матричная система комплексной оценки индекса стабилизации представлена на **рис. 3**. Совокупные показатели аккумулируются в группы факторов урбанизированных территорий, которые рассчитываются на примере городов Тюменской области, что представлено в первой стадии расчета. На второй стадии

Рис. 3 Матричная система комплексной оценки индекса стабилизации

Fig. 3 Matrix of comprehensive assessment of the stabilization index



11 Постановление Правительства ХМАО — Югры от 20 января 2023 г. № 27-п «О региональной программе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры „Модернизация систем коммунальной инфраструктуры на 2023–2027 годы“». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.garant.ru/hotlaw/hant/1606497 (дата обращения: 30.03.2024).

расчет ведется относительно городов РФ. Для выведения нормализованного показателя производится деление значения по области на значение по стране. Заключительный этап — расчет индекса стабилизации по совокупным показателям двух факторов структурных компонентов урбанизированной территории.

В матричную систему факторов входят девять показателей, разделенных на две группы (**табл. 4**). Поскольку расчет данных, которые характеризуют обеспеченность городских жителей жилищными условиями и объектами социальной инфраструктуры, проводился на 1000 человек, возникает потребность добавления в формулу корреляционного коэфициента, выражающего плотность населения урбанизированной территории.

Таблица 4 Матрица связей и подразделений городского пространства

Table 4 Matrix of connections and subdivisions of urban space

Совокупные показатели	Значение для городов Тюменской области	Значение для городов РФ
1-я группа факторов		
Объекты зеленой инфраструктуры, баллы	H_1^I	H_{1S}^I
Уровень загрязнения воздуха, млн т	H_2^I	H_{2S}^I
Уровень дохода населения, %	H_3^I	H_{3S}^I
Демографическая динамика, %	H_4^I	H_{4S}^I
Структура городского пространства, %	H_5^I	H_{5S}^I
2-я группа факторов		
Обеспеченность населения объектами капитального строительства, кол-во мест / 1000 чел.	H_6^{II}	H_{6S}^{II}
Обеспеченность населения объектами социальной инфраструктуры, кол-во мест / 1000 чел.	H_7^{II}	H_{7S}^{II}
Рекреационная емкость территории города, %	H_8^{II}	H_{8S}^{II}
Обеспеченность инженерной инфраструктурой, %	H_9^{II}	H_{9S}^{II}

Предлагается схема расчета индекса стабилизации урбанизированной территории (stabilization index):

1
$$I_{st} = \frac{1}{n}\left(R_{dh} \sum_{l=1}^{L} \frac{H_l^I}{H_{ls}^I} + \sum_{t=1}^{T} \frac{H_t^{II}}{H_{ts}^{II}} \right),$$

где n — количество совокупных показателей 1-й и 2-й групп;
R_{dh} — корреляционный коэфициент относительной плотности населения;
H_l^I — значение l-го совокупного показателя из первой группы факторов стабилизации урбанизированной территории для городов Тюменской области;

H_{ls}^{I} — значение l-го совокупного показателя из первой группы факторов стабилизации урбанизированной территории для городов РФ;
H_{t}^{II} — значение t-го совокупного показателя из второй группы факторов стабилизации урбанизированной территории для городов Тюменской области;
H_{ts}^{II} — значение t-го совокупного показателя из второй группы факторов стабилизации урбанизированной территории для городов РФ.

Расчет индекса стабилизации урбанизированных территорий был проведен для городов и городских поселений Тюменской области, включая Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа.

Для лучшего восприятия результаты исследования были визуализированы в **табл. 5** (расчет индекса стабилизации урбанизированных территорий).

Таблица 5 Индекс стабилизации урбанизированной территории

Table 5 Index of urbanized territory stabilization

Урбоблоки (территориальные единицы)		Значение индекса стабилизации			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
1	**г. Москва**	0,86	0,89	0,92	0,98
2	**г. Санкт-Петербург**	0,84	0,86	0,91	0,97
3	**г. Салехард**	0,76	0,78	0,84	0,88
4	**г. Тюмень**	0,72	0,76	0,78	0,82
5	**г. Когалым**	0,64	0,71	0,76	0,78
6	**г. Сургут**	0,69	0,72	0,74	0,77
7	**г. Нижневартовск**	0,66	0,71	0,74	0,76
8	**г. Тобольск**	0,71	0,68	0,73	0,75
9	**г. Ханты-Мансийск**	0,68	0,69	0,73	0,74
10	**г. Нефтеюганск**	0,61	0,64	0,68	0,72
11	**г. Югорск**	0,62	0,66	0,71	0,72
12	**г. Новый Уренгой**	0,63	0,65	0,66	0,72
13	**г. Тарко-Сале**	0,61	0,64	0,69	0,72
14	**г. Нягань**	0,62	0,63	0,67	0,71
15	**г. Надым**	0,62	0,54	0,68	0,71
16	**г. Ноябрьск**	0,64	0,62	0,67	0,69
17	**г. Белоярский**	0,55	0,59	0,62	0,67
18	**г. Пыть-Ях**	0,61	0,64	0,59	0,66
19	**г. Ишим**	0,61	0,63	0,64	0,66
20	**г. Советский**	0,59	0,62	0,64	0,65
21	**г. Муравленко**	0,54	0,58	0,61	0,65

Урбоблоки (территориальные единицы)		Значение индекса стабилизации			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
22	**г. Ялуторовск**	0,58	0,62	0,63	0,65
23	**г. Мегион**	0,54	0,56	0,58	0,64
24	**г. Покачи**	0,54	0,62	0,58	0,64
25	**г. Лабытнанги**	0,56	0,57	0,60	0,64
26	**г. Радужный**	0,57	0,59	0,61	0,62
27	**г. о. Заводоуковский**	0,54	0,56	0,58	0,62
28	**г. Лянтор**	0,52	0,54	0,57	0,61
29	**г. Лангепас**	0,52	0,53	0,58	0,61
30	**г. Губкинский**	0,52	0,56	0,58	0,61
31	**пгт Заполярный**	0,42	0,48	0,51	0,54
32	**пгт Уренгой**	0,42	0,46	0,51	0,52
33	**пгт Харп**	0,38	0,42	0,44	0,48
34	**пгт Пангоды**	0,41	0,41	0,44	0,46
35	**пгт Тазовский**	0,36	0,39	0,41	0,43

Результаты исследования предлагается оценивать по следующей шкале:

- $I_{st} \leq 0{,}300$ — низкий уровень стабилизации территории;
- $0{,}300 \leq I_{st} \leq 0{,}500$ — удовлетворительный уровень;
- $0{,}500 \leq I_{st} \leq 0{,}750$ — средний уровень;
- $0{,}750 \leq I_{st} \leq 0{,}900$ — достаточный уровень;
- $0{,}900 \leq I_{st} \leq 1{,}000$ — высокий уровень.

4 Выводы

В аналитические данные были добавлены города федерального значения, взятые за среднее значение по России. На основании проведенного исследования с помощью предлагаемой шкалы оценивания можно сделать следующие выводы: на удовлетворительном уровне стабилизации находятся пгт Харп, Пангоды, Тазовский, которые входят в состав Ямало-Ненецкого автономного округа, на среднем — города Ханты-Мансийского автономного округа Нефтеюганск, Ханты-Мансийск, Югорск и Нягань, а также города Ямало-Ненецкого автономного округа Новый Уренгой и Тарко-Сале. К достаточно высокому уровню предлагается отнести города Салехард, Тюмень, Сургут. Городам федерального значения присвоен высокий уровень стабилизации.

Индекс стабилизации урбанизированной среды предполагает комплексную оценку территории городов, целью которой является аккумулирование всех жизненно важных условий для благополучной жизнедеятельности и развития населения, проживающего на данной территории. Учет всех факторов (первой и второй групп) приведет урбанизированную территорию к устойчивому развитию. Рассчитанные показатели и выведенный индекс стабилизации могут быть использованы в качестве инструментария в реализации стратегии социально-экономического развития Тюменской области на долгосрочный период. Возможен также перенос данных индекса для их визуализации на картографическую основу с помощью программных модулей (в качестве дополнительного источника информации при изучении урбанизированных территорий).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Шиликов Н.С. Выполнение целей устойчивого развития странами «Группы двадцати» в период с 2022 года по первое полугодие 2023 года // Государственная служба. 2023. № 4. С. 73–87.
2. Айнуллина К.Н. Анализ концепции устойчивого развития // Московский экономический журнал. 2023. № 2. С. 100–107.
3. Камчатова Е.Ю., Конышева А.О. Устойчивое развитие как стратегический инструмент гармонизации региональной экономики РФ // Устойчивое развитие России — 2024: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (18 января 2024 г.). Петрозаводск, 2024. С. 8–13.
4. Каширипур М.М. Применение концепции устойчивого развития в городской структуре // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. № 1. С. 35–49.
5. Баширова Ч.Ф. Индекс NDVI для дистанционного мониторинга растительности // Молодой ученый. 2019. Т. 31. № 269. С. 30–31.
6. Алиева З.Б. Актуальные проблемы оттока сельского населения России: причины, потенциальные пути решения // Журнал прикладных исследований. 2022. № 2. С. 160–169.
7. Кустова К.А. Оценка качества городской среды проживания // Управление развитием территории. 2014. № 4. С. 26–28.
8. Овсянникова Т.Ю., Николаенко М.Н. Оценка качества градостроительной среды на урбанизированных территориях: межрегиональные сопоставления // Мир экономики и управления. 2015. Т. 15. № 2. С. 120–131.
9. Овсянникова Т.Ю., Преображенская М.Н. Индексный подход к оценке качества жизни населения и уровня развития урбанизированных территорий развития // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2014. Т. 1. № 25. С. 30–47.
10. Аврунев Е.И., Чернов А.В., Дубровский А.В. и др. Технологические аспекты построения 3D-модели инженерных сооружений в городах арктического

региона РФ // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 7. С. 131–137.

АВТОРЫ

Исаева Марта Андреевна
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (ФГБУ «ТИУ»), Тюмень, Россия
кафедра геодезии и кадастровой деятельности,
Институт сервиса и отраслевого мониторинга
0009-0001-8511-4589

Черных Елена Германовна
chernyheg@tyuiu.ru
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (ФГБУ «ТИУ»), Тюмень, Россия
кафедра геодезии и кадастровой деятельности,
Институт сервиса и отраслевого мониторинга
д-р техн. наук, доцент
0000-0002-2644-4721

Поступила 08.05.2024. Принята к публикации 21.06.2024. Опубликована 28.06.2024.

UDC 332.3
DOI:10.30533/scidata-2024-15-02

CC BY

Development of elements of an integrated system of urban space indicators for calculating the stabilization index of an urbanized territory (using the example of the Tyumen region)

Marta A. Isaeva[1], Elena G. Chernykh[1]

AFFILIATIONS

[1] Tyumen Industrial University (TIU), Tyumen, Russia
isaewa.marta@yandex.ru

CITATION

Isaeva MA, Chernykh EG. Development of elements of an integrated system of urban space indicators for calculating the stabilization index of an urbanized territory (using the example of the Tyumen region). *Spatial Data: science, research and technology*. 2024;15(2): 8–24. DOI:10.30533/scidata-2024-15-02.

KEYWORDS

sustainable development of urbanized territories, economic opportunities of the territory, environmental needs, demographic dynamics, housing and recreational capacity of the territory, provision of engineering infrastructure, vegetation index of the city territory, the “green belt” of the city, migration flow, the structure of urban space.

ABSTRACT

The article considers a system of elements for a comprehensive assessment of urban space indicators, which includes the following elements: economic opportunities and environmental

needs of locations, housing and recreational capacity of the studied bases, provision of engineering infrastructure (gas, electricity, water supply and sanitation, etc.), social infrastructure capabilities of the city territory. The author considers the basic concepts of sustainable development of urbanized territories, applying the experience of which, the article describes what is meant by sustainable development of the city territory. To assess the level of development of urban areas, an index of stabilization of urbanized territories (I_{st}) is proposed, which is based on two groups of factors accumulating nine signs of an urbanized territory. To assess the level of development of urban areas, an index of stabilization of urbanized territories (I_{st}) is proposed, which is based on two groups of factors accumulating nine signs of an urbanized territory. Using the example of the Tyumen region (including Khanty-Mansiysk Autonomous okrug and Yamal-Nenets Autonomous okrug), a matrix of links and subdivisions of urban space has been compiled, which is included in the calculation scheme of the stabilization index of urbanized territories. The results are visualized in tabular form by calculating I_{st}. The conclusion is made about the possible use of the calculated index for the territories of the Tyumen region as a tool for the strategy of socio-economic development of the Tyumen region for the long term.

REFERENCES

1. Shilikov NS. Vypolnenie celej ustojchivogo razvitija stranami “Gruppy dvadcati” v period s 2022 goda po pervoe polugodie 2023 goda [Implementation of the Sustainable Development Goals by the countries of the Group of Twenty in the period from 2022 to the first half of 2023]. ***Public Service.*** 2023;4: 73–87. (In Russian).
2. Ainullina KN. Analiz koncepcii ustojchivogo razvitija [Analysis of the concept of sustainable development]. ***Moscow Economic Journal.*** 2023;2: 100–107. (In Russian).
3. Kamchatova EYu, Konysheva AO. Ustojchivoe razvitie kak strategicheskij instrument garmonizacii regional’noj jekonomiki RF [Sustainable development as a strategic tool for harmonizing the regional economy of the Russian Federation]. ***Sustainable development of Russia – 2024: collection of articles of the All-Russian Scientific and practical conference (January 18, 2024).*** Petrozavodsk, 2024: 8–13. (In Russian).
4. Kashiripour MM. Primenenie koncepcii ustojchivogo razvitija v gorodskoj strukture [Application of the concept of sustainable development in urban structure]. ***Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering.*** 2023;1: 35–49. (In Russian).
5. Bashirova CF. Indeks NDVI dlja distancionnogo monitoringa rastitel’nosti [NDVI index for remote vegetation monitoring]. ***Young Scientist.*** 2019;31(269): 30–31. (In Russian).
6. Alieva ZB. Aktual’nye problemy ottoka sel’skogo naselenija Rossii: prichiny, potencial’nye puti reshenija [Actual problems of the outflow of the rural population of Russia: causes, potential solutions]. ***Journal of Applied Research.*** 2022;2: 160–169. (In Russian).

7. Kustova KA. Ocenka kachestva gorodskoj sredy prozhivanija [Assessment of the quality of the urban living environment]. *Territory development management.* 2014;4: 26–28. (In Russian).
8. Ovsyannikova TYu, Nikolaenko MN. Ocenka kachestva gradostroitel'noj sredy na urbanizirovannyh territorijah: mezhregional'nye sopostavlenija [Assessment of the quality of the urban environment in urbanized territories: interregional comparisons]. *The world of economics and management.* 2015;15(2): 120–131. (In Russian).
9. Ovsyannikova TYu, Preobrazhenskaya MN. Indeksnyj podhod k ocenke kachestva zhizni naselenija i urovnja razvitija urbanizirovannyh territorij razvitija [An index approach to assessing the quality of life of the population and the level of development of urbanized development territories]. *Bulletin of Tomsk State University. Economy.* 2014;1(25): 30–47. (In Russian).
10. Avrunev EI, Chernov AV, Dubrovsky AV, et al. Tehnologicheskie aspekty postroenija 3D-modeli inzhenernyh sooruzhenij v gorodah arkticheskogo regiona RF [Technological aspects of building a 3D model of engineering structures in the cities of the Arctic region of the Russian Federation]. *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering.* 2018;329(7): 131–137. (In Russian).

AUTHORS

Marta A. Isaeva
Federal State Budgetary Educational Institution Of Higher Education "Tyumen Industrial University" (FSBI "TIU"), Tyumen, Russia
Department of Geodesy and Cadastral Activity,
Institute of service and industry management
0009-0001-8511-4589

Elena G. Chernykh
chernyheg@tyuiu.ru
Federal State Budgetary Educational Institution Of Higher Education "Tyumen Industrial University" (FSBI "TIU"), Tyumen, Russia
Department of Geodesy and Cadastral Activity,
Institute of service and industry management
Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor
0000-0002-2644-4721

Submitted: May 08, 2024. Accepted: June 21, 2024. Published: June 28, 2024.

УДК 004.048
DOI:10.30533/scidata-2024-15-07

CC BY

Геопространственный и интеллектуальный анализ данных в Федеральной государственной географической информационной системе «Единая цифровая платформа „Национальная система пространственных данных“»

С.В. Бондаренко[1], А.В. Кравченко[1]

АФФИЛИАЦИИ

[1] Филиал ППК «Роскадастр» ЦИТ «Роскадастр-Инфотех», Москва, Россия
andre190@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Бондаренко С.В., Кравченко А.В. Геопространственный и интеллектуальный анализ данных в Федеральной государственной географической информационной системе «Единая цифровая платформа „Национальная система пространственных данных“» // Пространственные данные: наука и технологии. 2024. Т. 15. № 2. С. 25–42. DOI:10.30533/scidata-2024-15-07.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

национальная система пространственных данных, геоинформационная система, цифровая платформа, геопространственный анализ, дистанционное зондирование Земли, интеллектуальный анализ, сервисы, пространственные данные, результаты анализа, искусственный интеллект

АННОТАЦИЯ

Федеральная государственная геоинформационная система «Единая цифровая платформа „Национальная система пространственных данных“» (ФГИС ЕЦП НСПД) — это уникальный цифровой проект в Российской Федерации, который обеспечивает сбор, обработку

и анализ межотраслевых пространственных данных. ФГИС ЕЦП НСПД обладает широким спектром инструментов геопространственного анализа. Инструменты обработки пространственных данных реализованы как часть геоинформационной подсистемы, предназначенной для сбора, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации. ФГИС ЕЦП НСПД предоставляет широкие возможности интеллектуального анализа данных, содержащихся в системе, для обнаружения неочевидных, скрытых в рамках обычного геопространственного анализа данных, закономерностей и их взаимосвязей. Данные анализируются непосредственно с помощью подсистемы анализа данных и формирования аналитики. Электронные сервисы позволяют решать актуальные задачи граждан и бизнеса с помощью пространственной информации, а также повышать эффективность управленческих решений органов власти. Система ФГИС ЕЦП НСПД также включает инструменты для анализа данных с использованием технологий искусственного интеллекта. Принцип работы нейросетей основан на выявлении совокупности визуальных признаков у наборов пикселей в растрах изображений, полученных с использованием методов дистанционного зондирования Земли.

1 Введение

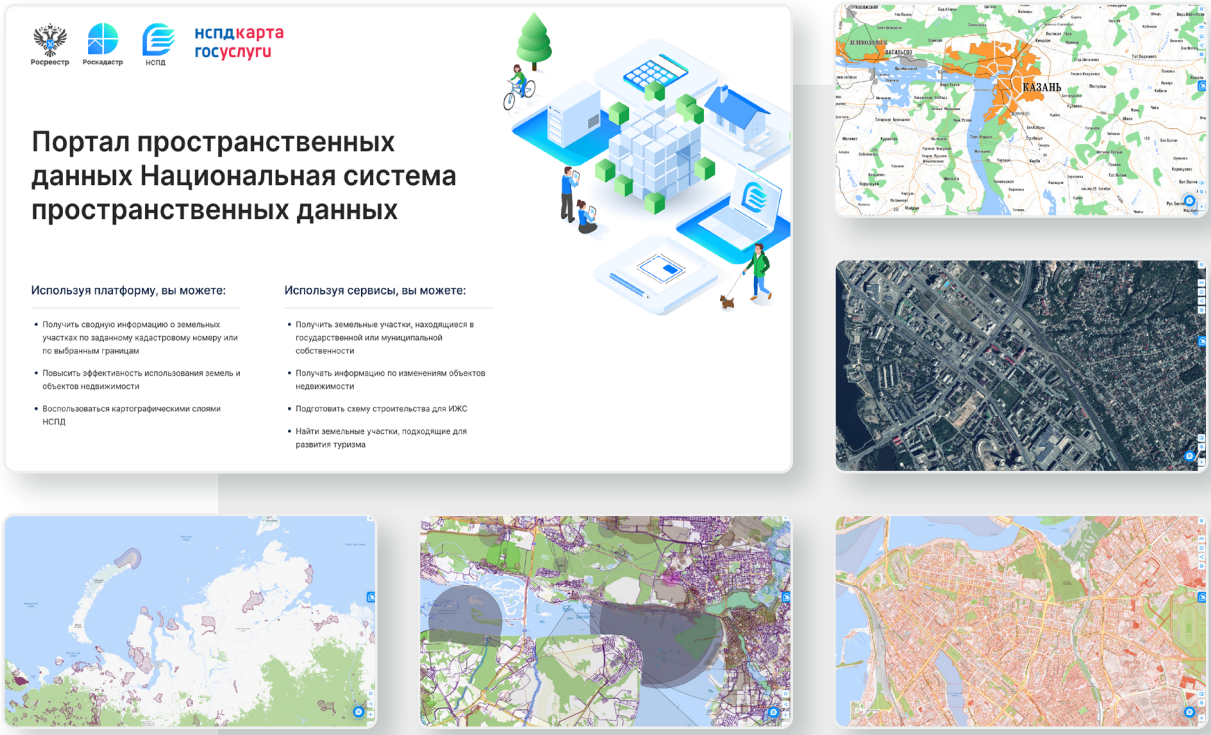
В Российской Федерации продолжается работа по цифровизации государственных органов в рамках заданного тренда развития инфраструктуры электронных правительств [1]. На пути достижения целей данного развития важной вехой стало введение в эксплуатацию с начала 2024 года уникальной для страны федеральной государственной географической информационной системы «Единая цифровая платформа „Национальная система пространственных данных“» (ФГИС ЕЦП НСПД) (**рис. 1**).

ФГИС ЕЦП НСПД решает следующие задачи [2]:

- позволяет определять потенциал земель и вовлекать новые земли и объекты недвижимости в хозяйственный оборот;
- содержит электронные сервисы в сфере земли, недвижимости;
- открывает новые возможности для государственных органов по оказанию широкого спектра услуг для граждан и бизнеса и решения большого количества жизненных ситуаций;
- содержит инструменты анализа пространственных данных, в том числе о земле и недвижимости.

Рис. 1 Портал пространственных данных «НСПД»

Fig. 1 Spatial Data Portal "National Spatial Data System"



2 Материалы и методы

2.1 Геопространственный анализ

Проведение геопространственного анализа возможно в первую очередь при наличии собранных и агрегированных пространственных данных, которые связаны с местоположением или географической областью. ФГИС ЕЦП НСПД позволяет проводить геопространственный анализ, используя статистические, атрибутивные, моделирующие, классификационные и другие инструменты геопространственного анализа [3] с целью исследовать пространственные связи между различными наборами пространственных данных, делая такой анализ востребованным в различных областях — от землепользования до социологии и тематической ретроспективы.

Область геопространственного анализа, производимого во ФГИС ЕЦП НСПД, может иметь различные масштабы использования — от небольшого муниципального образования до федерального или глобального, что, несомненно,

отражается на количестве инструментов и уровне сложности анализа в зависимости от поставленных перед системой задач [4].

ФГИС ЕЦП НСПД — это многослойная географическая информационная система, соединившая множество разрозненных информационных систем по земле, недвижимости и иным пространственным данным как федерального, так и регионального уровня, при этом каждый слой — это определенный срез информации. Важно отметить, что не только объединение различных пространственных данных в одной системе являлось главной задачей, это была лишь часть проводимой работы. Важнее было верифицировать пространственные данные от первоисточника, структурировать и обеспечить их доступность в режиме реального времени для проведения качественного геопространственного анализа [5].

Ключевую роль для решения задач геопространственного анализа во ФГИС ЕЦП НСПД играет подсистема анализа данных и формирования аналитики, предназначенная для подготовки агрегированных сводных аналитических и статистических отчетов, в том числе с возможностью выбора и настройки показателей формирования отчетов.

Подсистема анализа данных и формирования аналитики на основе используемых ею пространственных данных, которые включают информацию, связанную с определенным местоположением или географическими координатами, позволяет проводить широкий набор интерпретаций и получать информацию с помощью сервисов в виде аналитических и статистических отчетов, в том числе предоставляя пользователю возможность выбора данных и настройки необходимых показателей.

Кратко расскажем о том, за счет каких решений подсистема анализа данных и формирования аналитики позволяет пользователям решать задачи геопространственного анализа.

Подсистема содержит 5 элементов (рис. 2):

1) модуль «Конструктор анализа пространственных данных»;
2) модуль «Загрузка данных для аналитики»;
3) модуль «Формирование статистической отчетности»;
4) модуль «Работа с шаблонами отчетов»;
5) модуль «Выгрузка результатов анализа данных».

Модуль «Конструктор анализа пространственных данных» предоставляет пользователю возможность в соответствии с ролевой моделью производить настройки:

- панели вывода аналитических данных;
- вывода пространственных данных на карте в аналитических панелях и отчетах;
- вывода картоосновы для отображения пространственных данных на карте в аналитических панелях и отчетах;
- вывода тепловых карт.

Рис. 2 Подсистема анализа данных и формирования аналитики ФГИС ЕЦП НСПД

Fig. 2 Subsystem for Data Analysis and Analytics Generation of FSGS UDP NSDS



Модуль «Загрузка данных для аналитики» обеспечивает:

- загрузку данных из подсистемы обработки и хранения данных и трансформацию в аналитическую структуру хранения данных;
- настройку наборов данных и показателей, используемых для построения аналитических панелей и отчетов.

Модуль «Формирование статистической отчетности» обеспечивает настройку:

- источников данных;
- применяемых методов расчета результатов;
- параметров анализа;
- алгоритмов обработки пространственных данных при анализе.

Модуль «Работа с шаблонами отчетов» позволяет производить настройку:

- форм шаблонов отчетов;
- параметров фильтрации аналитических отчетов и панелей;
- способов визуализации получившихся аналитических отчетов (графика на карте, таблица, график), а также возможности редактирования шаблонов аналитических, статистических отчетов и панелей пользователями системы.

Модуль «Выгрузка результатов анализа данных» создан:

- для выгрузки отчетов в виде документа (печать), в том числе в электронном виде;
- отображения отчетов в веб-приложении.

В целом подсистема обеспечивает возможность производить геопространственный анализ в полном цикле от выбора пространственных данных до формирования отчета.

Возможность геопространственного анализа ФГИС ЕЦП НСПД как функция, заложенная в алгоритм работы сервисов, отвечает требованиям обеспечения экономического роста государства [6], которому необходимо определение четких и понятных правил и векторов развития. Растущее благосостояние граждан и благоприятные условия, созданные для ведения бизнеса, связаны с успехами государственного сектора экономики, основанными в том числе на предоставлении возможностей для любого рода внутренних инвестиций в строительство, недвижимость, территориальное планирование.

Проблемы экономического развития государства последних лет включают необходимость вовлечения в хозяйственный оборот новых земельных участков [7] из числа находящихся в государственной или муниципальной собственности с получением информации по изменениям объектов недвижимости, с подготовкой схем строительства и их согласованием, а также с получением специальной информации об особенностях тех или иных территорий, на которых расположены земельные участки, с целью использования таких особенностей для развития бизнеса [8]. При этом главными являются не только актуальность и полнота получаемой информации, но и форма и скорость ее получения [9].

С целью решения данных задач на сегодняшний день **ФГИС ЕЦП НСПД предоставляет широкий спектр сервисов (рис. 3)**, широко востребованных гражданами и юридическими лицами Российской Федерации [10]:

1. «Согласование в стройке» — позволяет получить согласования, требуемые для строительства.
   Результат: кратное сокращение сроков предоставления услуг по согласованию строительных работ с постоянным информированием пользователя о статусах и процессе согласования с федеральными органами власти.
2. «Индивидуальное жилищное строительство» — позволяет разместить дом на земельном участке.
   Результат: анализ возможности строительства на выбранной пользователем территории и получение муниципальных услуг в сфере индивидуального жилищного строительства.
3. «Комплексное развитие территории» — позволяет принимать решения о комплексном развитии территории.

Результат: снижение расходов на поиск и анализ территорий для вовлечения в комплексное развитие территорий, сокращение сроков согласований при взаимодействии частного бизнеса и власти [11].

4. «Земля для стройки» — позволяет выбрать земельный участок, подходящий для строительства.
   Результат: вовлечение в хозяйственный оборот неиспользуемых земельных участков через упрощение порядка получения земли под застройку со значительной экономией времени.

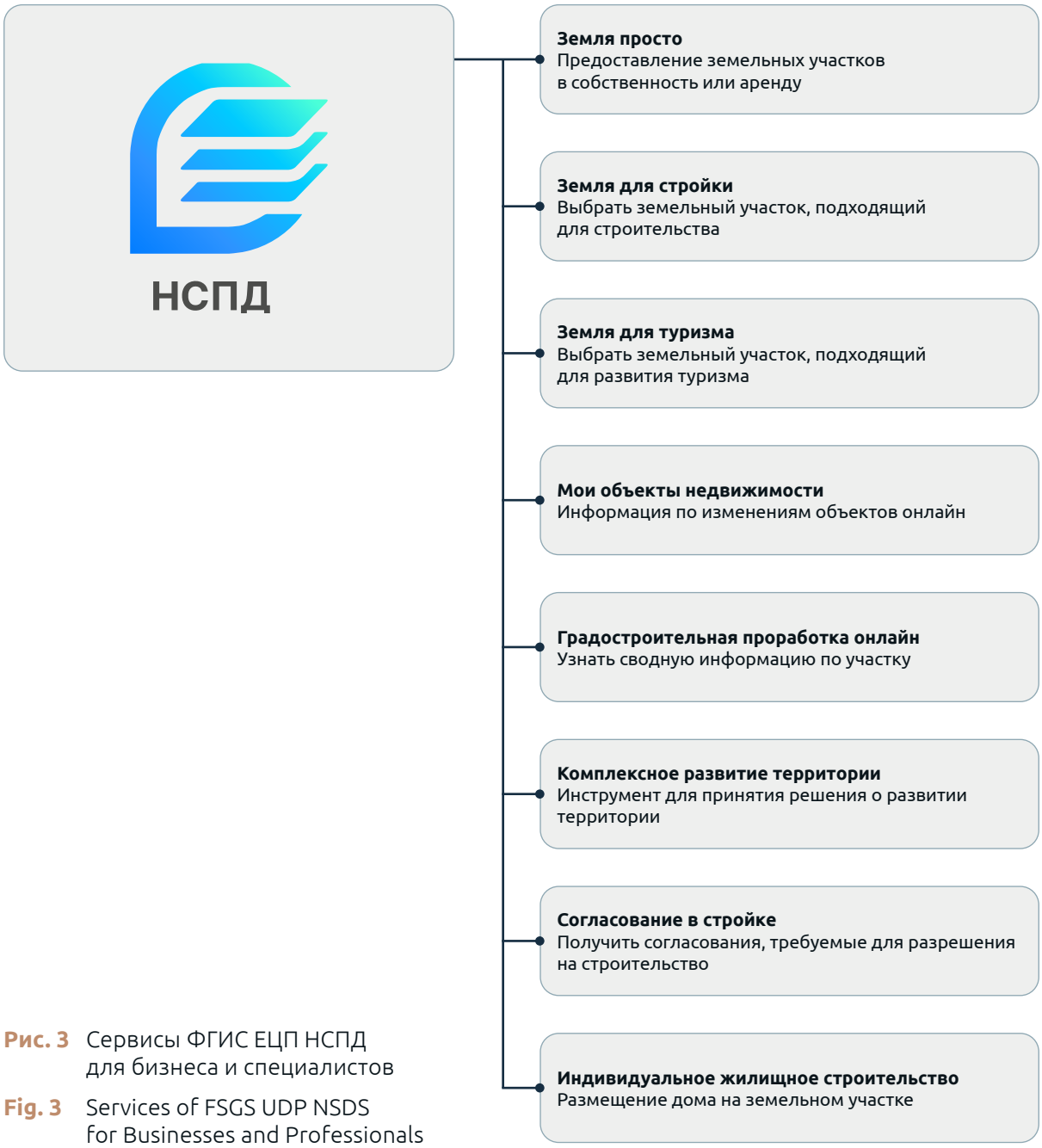


Рис. 3 Сервисы ФГИС ЕЦП НСПД для бизнеса и специалистов

Fig. 3 Services of FSGS UDP NSDS for Businesses and Professionals

5. «Земля для туризма» — позволяет выбрать земельный участок, подходящий для развития туризма.
   Результат: создание базы необходимых территорий, доступных к вовлечению в развитие туристической отрасли, сокращение сроков для поиска, согласования и приобретения земельных участков.
6. «Земля просто» — позволяет получить возможность приобрести земельные участки в собственность или аренду.
   Результат: значительное, более чем двукратное сокращение сроков подачи заявлений на получение государственных и муниципальных услуг по приобретению прав в упрощенной форме.
7. «Мои объекты недвижимости» — позволяет получить информацию по изменениям, связанным с объектами недвижимости.
   Результат: предоставление агрегированных пространственных данных, позволяющих пользователям отслеживать изменения данных по объектам и их окружению, при этом предоставляя возможность устранять ошибки и противоречия в сведениях через направления обращений в органы федеральной и муниципальной власти.
8. «Градостроительная проработка онлайн» — позволяет получить в режиме онлайн сводную информацию по земельному участку.
   Результат: предоставление сводной информации о возможности использования земельного участка (в том числе об имеющихся обременениях и ограничениях) в реальном времени, оптимизация процедуры подбора и анализа эффективности использования земли [12].

2.2 Интеллектуальный анализ

ФГИС ЕЦП НСПД хранит и обрабатывает значительные массивы пространственных данных в электронном виде, что дает возможность внедрять более сложные методы анализа, классификации и поиска данных с высокой степенью автоматизации процессов. При этом ФГИС ЕЦП НСПД также является крупной интеграционной платформой, в которую передаются пространственные данные из всех государственных информационных систем, что, в свою очередь, открывает большие возможности для использования лучших практик обработки пространственных данных всеми органами власти Российской Федерации и бизнес-сообществом с возможностью их дальнейшего масштабирования, а также применения в рамках межгосударственного взаимодействия.

Тенденции развития и вызовы, которые ставили перед нами время и государство, явились предпосылками для перехода к интеллектуальному анализу пространственных данных [13]. Интеллектуальный анализ данных, содержащихся

во ФГИС ЕЦП НСПД, стал использоваться для обнаружения неочевидных, скрытых в рамках обычного геопространственного анализа данных, закономерностей и их взаимосвязей [14].

Внедряя интеллектуальный анализ данных в своей геоинформационной системе, мы хотели добиться вполне конкретных, финансово измеримых результатов. Для этого Росреестром и публично-правовой компанией «Роскадастр» был разработан сервис «Умный кадастр», который использует широкие возможности искусственного интеллекта, машинного обучения и нейронных сетей.

Сервис «Умный кадастр» предназначен для массового выявления незарегистрированных в Едином государственном реестре недвижимости объектов недвижимости (государственный информационный ресурс, содержащий сведения об объектах недвижимости на территории Российской Федерации) земельных участков и объектов капитального строительства, иных объектов, определяемых в результате работы нейросетей и алгоритмов пространственного анализа. При работе сервиса «Умный кадастр» сравниваются данные об объектах капитального строительства и земельных участках из информационной системы, в которой хранятся сведения, с данными, полученными в результате работы нейронных сетей с материалами дистанционного зондирования Земли (материалов аэрофотосъемки и космических снимков).

3 Результаты и обсуждение

Принцип работы нейросетей основан на выявлении совокупности визуальных признаков у наборов пикселей в растрах дистанционного зондирования Земли, позволяющих на основе этих признаков определить границы объектов определенного класса, который нейросеть заранее обучена распознавать. Хотя все растровые изображения состоят из набора пикселей, имеющих ограниченный набор параметров (цветовые характеристики и размер пикселя, зависящий от разрешения снимка), по одному отдельному пикселю невозможно определить, к какому именно объекту он относится.

Нейросети анализируют наборы пикселей, включая:

- их взаимное расположение;
- спектральные характеристики;
- текстуры, которые эти пиксели образуют;
- границы между существенно различающимися наборами пикселей.

На основании полученных сводных параметров набор пикселей относят к шаблону объекта нужного класса. Если распознавание идет по аэрофотосъемке, анализируется RGB-изображение, у космоснимков обрабатываются мультиспектральные данные дистанционного зондирования Земли, состоящие

из спектральных каналов с различными длинами волн, в том числе с инфракрасными. Объединение признаков объектов на основе различных спектральных данных позволяет сформировать составной взаимодополняющий мультислоевой шаблон объектов нужного класса (**рис. 4, 5**)[1].

Рис. 4 Пространственный анализ земельных участков и объектов капитального строительства алгоритмами искусственного интеллекта ФГИС ЕЦП НСПД

Fig. 4 Spatial analysis of land plots and capital construction objects by artificial intelligence algorithms of FSGS UDP NSDS

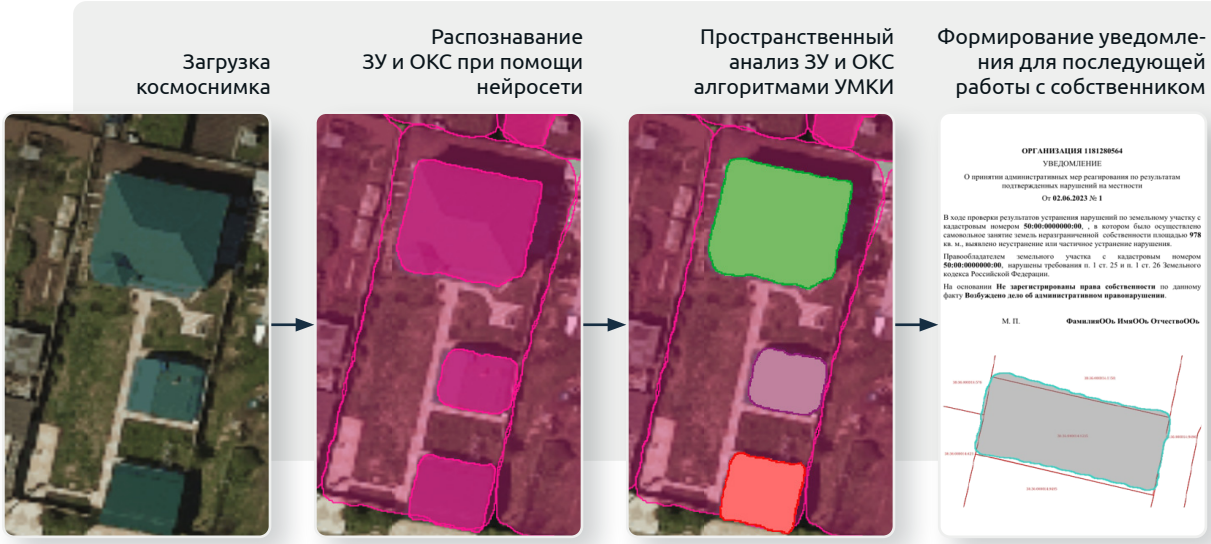


Рис. 5 Пространственный анализ и визуализация алгоритмами искусственного интеллекта ФГИС ЕЦП НСПД

Fig. 5 Spatial analysis and visualization by FSGS UDP NSDS artificial intelligence algorithms

УМКА

процессы

- Выявление и визуализация несоответствий, существующих в ЕГРН
- Классификация нарушений
- Формирование аналитики



Условные обозначения

- Без нарушений
- Не поставлен на государственный кадастровый учет
- Сведения о границах отсутствуют в ЕГРН
- Объект без прав
- Неверная площадь объекта (экспериментальная оценка)

1 Портал пространственных данных «Национальная система пространственных данных». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://nspd.rosreestr.gov.ru/map?location=1083 (дата обращения: 15.04.2024).

В настоящее время существуют, применяются и обучаются разные модели для нейросетей, обеспечивающих обработку визуальных изображений. Наиболее известны из них Unet и DeepLab — сверхточные нейронные сети, часто применяемые для анализа визуальных образов. Такие нейросети могут перекодировать конфигурацию набора пикселей, присваивая на выходе набору пикселей код определенного признака.

Более точные наборы коэффициентов, применяемых для распознания объектов, регулярно сравниваются с объектами, заранее распознанными специалистом, что дает возможность в значительной степени повлиять на обучаемость искусственного интеллекта. Много внимания отводится дообучению искусственного интеллекта, поскольку этот параметр является одним из самых приоритетных для поддержания высочайшей корректности работы сервиса и предоставляемых им результатов.

Технологии распознавания изображений существенно различаются в зависимости от исходных материалов для распознавания, и от того, какой класс изображений распознается, и от того, какие требования выдвигаются к дальнейшему применению этих изображений. Качество исходных материалов в ближайшие годы будет обеспечено космической радиолокационной интерферометрической съемкой Земли в рамках российского проекта «Кондор-ФКА». Его первый спутник выведен на орбиту в мае 2023 года, перемещаясь через полярные районы в меридиональном направлении, радиолокационные данные уже предоставляются потребителям. Он имеет три режима работы с разрешением от 1 до 12 м, локатор зеркального типа работает в сантиметровом диапазоне. Это первый спутник необходимой для точных результатов измерений группировки, включающей два космических аппарата. Запуск второго спутника должен состояться уже в этом году. Еще одну пару спутников этого проекта с улучшенными параметрами планируется запустить в 2029–2030 годах для замены отработавших аппаратов.

В апреле этого года подтверждены планы по запуску в 2028 году российско-белорусского космического аппарата дистанционного зондирования Земли сверхвысокого разрешения 0,35 м и созданию космической системы дистанционного зондирования Земли Союзного государства на ближайшую перспективу.

В связи с этим у Российской Федерации в ближайшем десятилетии появляется возможность резко повысить качество исходных данных для работы искусственного интеллекта, используемого в сервисе «Умный кадастр». Улучшение качества исходных данных приведет к тому, что границы объектов определенного класса при выявлении совокупности визуальных признаков у наборов пикселей в растрах дистанционного зондирования Земли будут определяться с гораздо более высокой точностью и быстротой, что существенно может повлиять на доступность и востребованность итогового продукта [15] за счет:

- обнаружения искусственным интеллектом границ земельных участков по заборам или по иным малозаметным разграничениям территории;

- значительного улучшения распознавания искусственным интеллектом объектов капитального строительства по четкому и практически безошибочному отделению текстуры их крыш от окружения;
- четкого восприятия искусственным интеллектом текстуры и NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) участков леса;
- уверенного определения искусственным интеллектом дорог по равномерности текстуры покрытия и типовому набору цветовых характеристик.

4 Выводы

Итогом внедрения геопространственного и интеллектуального анализа, осуществляемого посредством сервисов ФГИС ЕЦП НСПД, стал мультипликационный эффект в экономическом развитии как государственных институтов, так и частного бизнеса, а именно:

- предоставляется обширная сводная информация о земельных участках по заданному кадастровому номеру или по выбранным границам, применяемая для повышения эффективности использования земель и объектов недвижимости;
- значительно упрощен процесс вовлечения земельных участков и объектов недвижимости в хозяйственный и коммерческий оборот;
- получили мощный толчок к развитию целые направления деятельности, такие как туризм, сельское хозяйство, промышленное и жилое строительство, страхование и др.;
- создан инструмент оперативного принятия решения по вовлечению в экономический оборот неучтенных объектов недвижимости для регионов и муниципалитетов, дающий практически немедленный финансовый результат;
- снижены издержки, связанные с организацией физического осмотра объектов, с длительными и затратными контрольно-надзорными мероприятиями, которые заменены камеральными работами с максимальной степенью автоматизации;
- с высокой скоростью выявляются факты негативного воздействия на окружающую среду, нарушения правил застройки и использования земельных ресурсов, нарушения, связанные с экологией.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность за предоставление материалов и консультации по вопросам, связанным с подготовкой статьи, заместителю руководителя Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестра) Елене

Вячеславовне Мартыновой и кандидату экономических наук, начальнику Управления координации создания и обеспечения функционирования ФГИС ЕЦП НСПД филиала ППК «Роскадастр» ЦИТ «Роскадастр-Инфотех» Василию Анатольевичу Баландину.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Мартынова Е.В. Направления формирования и обеспечения качества национальной системы пространственных данных // Теория и практика общественного развития. 2023. Т. 4. № 182. С. 109–114. DOI:10.24158/tipor.2023.4.14.
2. Мартынова Е.В. Перспективы развития инфраструктуры пространственных данных в России // Экономические стратегии. 2022. Т. 24. № 3. С. 96–100.
3. Мартынова Е.В. Организационно-экономический механизм функционирования открытой среды национальной системы пространственных данных // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2023. № 2. С. 154–158.
4. Мартынова Е.В. Предпосылки создания стратегии обеспечения качества пространственных данных // Научные исследования и разработки 2023: гуманитарные и социальные науки: сборник материалов Международной научно-практической конференции (8 февраля 2023 г.): в 2 т. М.: Изд-во НИЦ «Империя», 2023. Т. 2. С. 32–35.
5. Кузнецова С.Г., Чуксин И.В., Ганичева А.О. и др. Тенденции синтеза и верификации пространственных данных // Московский экономический журнал. 2023. Т. 8. № 6. С. 9–18. DOI:10.55186/2413046X_2023_8_6_253.
6. Мартынова Е.В. Пространственные данные как элемент цифровой трансформации экономики // Российская наука на пути к устойчивому развитию: междисциплинарные исследования: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Ставрополь: Изд-во «Параграф», 2023. С. 303–307.
7. Баландин В.А. Повышение эффективности процедур регулирования землепользования и застройки сельских поселений // Инновационная экономика: новые задачи и вызовы: тезисы докладов I Международной научно-практической конференции. Йошкар-Ола: Научно-издательский центр «Коллоквиум», 2012. С. 32–34.
8. Баландин В.А. Методические положения правового зонирования как инструмента социально-экономического развития сельских поселений // Апробация. 2012. № 1. С. 40–46.
9. Баландин В.А. Алгоритм разработки документов территориального планирования сельских поселений (на примере Волоколамского муниципального района) // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2012. Т. 10. № 94. С. 54–62.
10. Мартынова Е.В. Структурная модель национальной системы пространственных данных Российской Федерации // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 2. № 2. С. 84–92. DOI:10.36871/ek.up.p.r.2023.02.02.010.

11. Баландин В.А. Анализ территориального устройства и определение задач пространственного планирования сельских поселений Волоколамского муниципального района Московской области // Научная дискуссия: вопросы экономики и управления: материалы III Международной заочной научно-практической конференции: в 2 ч. М.: Международный центр науки и образования, 2012. Ч. 1. С. 17–26.
12. Баландин В.А. Предложения по совершенствованию системы регулирования землепользования и застройки территории поселений // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2011. Т. 8. № 80. С. 79–85.
13. Мартынова Е.В. Состояние мирового рынка пространственных данных и проблемы его развития в Российской Федерации // Управленческий учет. 2021. № 12. С. 729–734.
14. Белогурова Е.Б., Воробьев В.Е., Гвоздев О.Г. и др. Пространственные данные: потребности экономики в условиях цифровизации / ред. кол. В.Г. Бондур и др. М.: НИУ ВШЭ, 2020. 128 с.
15. Мартынова Е.В. Методика оценки качества пространственных данных // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 2. № 7. С. 111–118. DOI:10.36871/ek.up.p.r.2023.07.02.009.

АВТОРЫ

Бондаренко Сергей Владимирович
bondarenkosv@kadastr.ru
Филиал ППК «Роскадастр» ЦИТ «Роскадастр-Инфотех», Москва, Россия
управление координации создания и обеспечения функционирования ФГИС ЕЦП НСПД

Кравченко Андрей Викторович
Филиал ППК «Роскадастр» ЦИТ «Роскадастр-Инфотех», Москва, Россия
управление координации создания и обеспечения функционирования ФГИС ЕЦП НСПД

Поступила 31.05.2024. Принята к публикации 21.06.2024. Опубликована 28.06.2024.

UDC 004.04
DOI:10.30533/scidata-2024-15-07

CC BY

Methods of spatial data analysis in the Federal State Geoinformation System “Unified Digital Platform National Spatial Data System”

Sergey V. Bondarenko[1], Andrey V. Kravchenko[1]

AFFILIATIONS

[1] PLC Roskadastr branch Information Technology Center “Roskadastr-Infotech”, Moscow, Russia
andre190@mail.ru

CITATION

Bondarenko SV, Kravchenko AV. Methods of spatial data analysis in the Federal State Geoinformation System “Unified Digital Platform National Spatial Data System”. *Spatial Data: science, research and technology*. 2024;15(2): 25–42. DOI:10.30533/scidata-2024-15-07.

KEYWORDS

digital platform, National Spatial Data System, geoinformation system, geospatial analysis, Earth remote sensing, intelligent analysis, services, spatial data, analysis results, artificial intelligence

ABSTRACT

The Federal State Geoinformation System Unified Digital Platform “National Spatial Data System” (FSGS UDP NSDS) is a unique digital project in the Russian Federation, that enables collecting, processing and analyzing cross-sectoral spatial data. FSGS UDP NSDS has a vastest of geospatial analysis tools. The spatial data processing tools are implemented as part of the geoinformation subsystem aimed at collection, analysis and graphical visualization of spatial data and related information. The data are analyzed directly using the subsystem of data analysis and analytics formation. The e-services allow solving relevant tasks for citizens and businesses with the help of spatial information, as well as to improve

the efficiency of managerial decisions of the authorities. FSGS UDP NSDS also includes tools for analyzing data using artificial intelligence technologies

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful for providing materials and advice on issues related to the preparation of the article Elena V. Martynova, Deputy Head of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography (Rosreestr); Vasily A. Balandin; PhD in Economics, Head of the Department for Coordination of the Creation and Operation of the Federal State Geoinformation System Unified Digital Platform "National Spatial Data System".

REFERENCES

1. Martynova EV. Napravleniya formirovaniya i obespecheniya kachestva nacional'noj sistemy prostranstvennyh dannyh [Directions of formation and quality assurance of the national spatial data system]. ***Theory and practice of social development.*** 2023;4(182): 109–114. (In Russian). DOI:10.24158/tipor.2023.4.14.
2. Martynova EV. Perspektivy razvitiya infrastruktury prostranstvennyh dannyh v Rossii [Prospects for the development of spatial data infrastructure in Russia]. ***Economic strategies.*** 2022;24(3): 96–100. (In Russian).
3. Martynova EV. Organizacionno-ekonomicheskij mekhanizm funkcionirovaniya otkrytoj sredy nacional'noj sistemy prostranstvennyh dannyh [Organizational and economic mechanism of functioning of the national spatial data system open environment]. ***Competitiveness in the global world: economics, science, technology.*** 2023;2: 154–158. (In Russian).
4. Martynova EV. Predposylki sozdaniya strategii obespecheniya kachestva prostranstvennyh dannyh [Prerequisites for the establishment of a spatial data quality assurance strategy]. ***Research and development 2023: humanities and social sciences: proceedings of the International scientific and practical conference (February 8, 2023).*** In 2 vols. Vol. 1. Moscow: publ. NIC "Imperia"; 2023: 32–35. (In Russian).
5. Kuznetsova SG, Chuksin IV, Ganicheva AO, et al. Tendencii sinteza i verifikacii prostranstvennyh dannyh [Trends in spatial data synthesis and verification]. ***Moscow Economic Journal.*** 2023;8(6): 9–18. (In Russian). DOI:10.55186/24130 46X_2023_8_6_253.
6. Martynova EV. Prostranstvennye dannye kak element cifrovoj transformacii ekonomiki [Spatial data as an element of digital transformation of the economy]. ***Russian science on the way to sustainable development: interdisciplinary research: proceedings of the V All-Russian scientific and practical conference***. Stavropol: publ. "Paragraph", 2023: 303–307. (In Russian).
7. Balandin VA. Povyshenie effektivnosti procedur regulirovaniya zemlepol'zovaniya i zastrojki sel'skih poselenij [Improving the efficiency of procedures for regulating land use and rural settlements development]. ***Innovative economy: new tasks***

and challenges. Abstracts of the I International scientific and practical conference. Yoshkar-Ola: Scientific Publishing Center "Colloquium"; 2012: 32–34. (In Russian).
8. Balandin VA. Metodicheskie polozheniya pravovogo zonirovaniya kak instrumenta social'no-ekonomicheskogo razvitiya sel'skih poselenij [Methodological provisions of legal zoning as a tool for the rural settlements socio-economic development]. *Approbation.* 2012;1: 40–46. (In Russian).
9. Balandin VA. Algoritm razrabotki dokumentov territorial'nogo planirovaniya sel'skih poselenij (na primere Volokolamskogo municipal'nogo rajona) [Algorithm for developing territorial planning documents for rural settlements (on the example of the Volokolamsk Municipal District)]. *Land management, cadastre and land monitoring.* 2012;10(94): 54–62. (In Russian).
10. Martynova EV. Strukturnaya model' nacional'noj sistemy prostranstvennyh dannyh Rossijskoj Federacii [Structural model of the National Spatial Data System of the Russian Federation]. *Economics and management: problems, solutions.* 2023;2(134): 84–92. (In Russian). DOI:10.36871/ek.up.p.r.2023.02.02.010.
11. Balandin VA. Analiz territorial'nogo ustrojstva i opredelenie zadach prostranstvennogo planirovaniya sel'skih poselenij Volokolamskogo municipal'nogo rajona Moskovskoj oblasti [Analysis of the territorial structure and identification of spatial planning objectives for rural settlements of the Moscow Oblast Municipal District Volokolamsk]. *Scientific discussion: issues of economics and management: proceedings of the III International correspondence research and practice conference:* in 2 parts. Part 1. Moscow: International Center for Science and Education; 2012: 17–26. (In Russian).
12. Balandin VA. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu sistemy regulirovaniya zemlepol'zovaniya i zastrojki territorii poselenij [Proposals for improving the system of regulation of land use and rural settlement development]. *Land management, cadastre and land monitoring.* 2011;8(80): 79–85. (In Russian).
13. Martynova EV. Sostoyanie mirovogo rynka prostranstvennyh dannyh i problemy ego razvitiya v Rossijskoj Federacii [The state of the global spatial data market and the problems of its development in the Russian Federation]. *Management accounting.* 2021;12: 729–734. (In Russian).
14. Belogurova EB, Vorobyev VE, Gvozdev OG, et al. *Prostranstvennye dannye: potrebnosti ekonomiki v usloviyah cifrovizacii* [Spatial Data: the Needs of the Economy in the Context of Digitalization]. Bondur VG (ed.). Moscow: HSE; 2020. 128 p. (In Russian).
15. Martynova EV. Metodika ocenki kachestva prostranstvennyh dannyh [Methodology for assessing the quality of spatial data]. *Economics and management: problems, solutions.* 2023;2(7): 111–118. (In Russian). DOI:10.36871/ek.up.p.r.2023.07.02.009.

AUTHORS

Sergey V. Bondarenko
bondarenkosv@kadastr.ru
PLC Roskadastr branch Information Technology Center “Roskadastr-Infotech”
Department for Coordination of the Creation and Operation of the Federal State Geoinformation System Unified Digital Platform “National Spatial Data System”

Andrey V. Kravchenko
PLC Roskadastr branch Information Technology Center “Roskadastr-Infotech”
Department for Coordination of the Creation and Operation of the Federal State Geoinformation System Unified Digital Platform “National Spatial Data System”

Submitted: May 31, 2024. Accepted: June 21, 2024. Published: June 28, 2024.

УДК 551.4
DOI:10.30533/scidata-2024-15-10

CC BY

Мониторинг геологических процессов высокого ранга с использованием системы транзитных тальвегов

Н.В. Соколова[1]

АФФИЛИАЦИИ

[1] Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия
sona@ipng.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Соколова Н.В. Мониторинг геологических процессов высокого ранга с использованием системы транзитных тальвегов // Пространственные данные: наука и технологии. 2024. Т. 15. № 2. С. 43–58. DOI:10.30533/scidata-2024-15-10.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

процесс усиления уплотнения вещества к центру Земли, процесс разуплотнения внутриземного вещества, ранжирование, соподчиненная сфера узла транзитных тальвегов, ограниченная транзитными тальвегами область денудации, уровень естественного управления гидро- и литодинамическими потоками

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена очень важной, но малоизученной в нашей стране и за рубежом проблеме ранжирования и мониторинга противоположных геологических процессов, от которых зависит непрерывное развитие Земли и отдельных ее частей. Незнание такой информации негативно влияет на уровень адаптации общества к возникающим неблагоприятным природным условиям и чрезвычайным ситуациям. В качестве главного непрерывного геологического процесса рассматривается усиление уплотнения вещества к центру Земли. Зависимым от него является разуплотнение внутриземного вещества в обратном направлении. Различную степень проявления этого доминирующего процесса отражают

транзитные тальвеги, зафиксированные на земной поверхности и глубоких горизонтах. В отличие от традиционного фрагментарного использования тальвегов для решения различных практических задач, транзитные тальвеги рассматриваются как непрерывные индикаторы доминирующего процесса усиления уплотнения. С помощью картографического метода определены возможности мониторинга противоположных геологических процессов с учетом единой системы транзитных тальвегов. Представлены соподчиненные сферы узлов транзитных тальвегов и связанные с ними области денудации вещества, которые целесообразно использовать в качестве системных объектов мониторинга. В статье впервые проведено ранжирование таких сфер с учетом первого уровня естественного управления гидро- и литодинамическими потоками. Эти сферы имеют большое практическое значение и позволяют с учетом ротационного фактора отслеживать неблагоприятные процессы (в том числе в пределах нефтегазоносных территорий), вызывающие возникновение зон затопления и повышение сейсмичности, изменения климата в структурах естественного управления. Данные такого мониторинга необходимы для разработки перспективных геотехнологий.

1 Введение

Ранжирование и мониторинг геологических процессов — это актуальная проблема, но изучена она пока очень слабо. В то же время исследованиям отдельных геологических процессов на разных территориях посвящено множество отечественных и зарубежных работ высокого уровня.

В общем плане, по данным В.Н. Холодова [1], непрерывное движение вещества в глубь Земли является характерной особенностью осадочного процесса. За рамками многочисленных исследований остаются системы взаимосвязей противоположных геологических процессов, определяющих перманентное развитие Земли и ее частей. Самым весомым из них является усиление уплотнения вещества к центру планеты. В единой связке с ним всегда функционирует антипод — зависимое разуплотнение внутриземного вещества в противоположном направлении. Поскольку при превалировании разуплотнения внутриземного вещества Земля развиваться уже не сможет, то очевидно, что в природе должен быть заложен механизм естественного управления данными процессами. Как показали исследования [2], характер проявления отмеченных выше противоположных процессов усиления уплотнения и разуплотнения вещества, а также уровни естественного управления ими отражают транзитные тальвеги, обладающие свойством непрерывности.

Согласно определению[1], тальвег — линия, соединяющая самые низкие точки дна речной долины, балки, оврага и других эрозионных форм рельефа. Эти реальные линии используются человеком с древнейших времен, особенно с тех пор, как он создал самые примитивные суда. Последние при необходимости перетаскивались по относительно пониженным участкам земной поверхности, соединяющим разные речные системы. Позднее были созданы судоходные каналы.

Однако до сих пор во всем мире тальвеги используются фрагментарно. Если на реках фарватер прокладывается по тальвегу, то в озерах, морях и океанах такой необходимости нет. Ведь требующиеся для безопасного прохода судов глубины могут фиксироваться вблизи побережья. Этот сугубо прагматический подход, а также отсутствие репрезентативных общегеографических карт не позволили ранее выявить единую систему взаимосвязей тальвегов.

Цель данного исследования — выявить системные объекты мониторинга изменений геологических процессов высокого ранга с учетом уровней естественного управления транзитными тальвегами.

2 Материалы и методы

Согласно А.Н. Дмитриевскому [3], в ходе геофизических работ на разных глубинах были выявлены слои пониженной вязкости, флюидонасыщенные зоны. Верхняя кора отличается характерной трещиноватой структурой.

Такому положению вещей способствует господствующий процесс усиления уплотнения вещества к центру планеты. При этом наиболее глубокие слои горных пород уплотняются сильнее, чем вышележащие. В результате между ниже- и вышележащими слоями формируются относительно разуплотненные пропластки, пронизанные вертикальными каналами двух типов в зависимости от направления продвижения вещества. Для одних характерно преимущественное продвижение к центру Земли (главные), для других — от центра планеты к дневной поверхности (зависимые). Аксиомой является то, что нет ни одного потока, действующего без приточной системы. Как было установлено [2], зона транзитного тальвега всегда структурирована узлами в наиболее низких его точках (местных базисах денудации). В таком узле сочленяются главный поток и активный приток к нему (и тем самым всегда в конкретный момент времени определяется первый уровень естественного управления ими). Данные потоки меняются в ходе ротации Земли.

Согласно В.И. Орлову [4], на земной поверхности действуют противоположные процессы усиления сноса и усиления аккумуляции, которые отражают характер

1 Геологический словарь: в 3 т. / гл. ред. О.В. Петров. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. Т. 3. С. 190.

развития геологических процессов. На общегеографических картах из Атласа мира[2] зафиксирована единая система транзитных тальвегов и приуроченных к ним гидро- и литодинамических потоков. Ширина зоны транзитного тальвега на местности определяется массивом самых низких очень близко расположенных друг к другу точек земной поверхности.

В работе [5] рассматриваются пространственно-временные изменения узлов слияния рек (без учета единой системы транзитных тальвегов). Одновременно актуализируется проблема стока наносов и мутности воды, показанная в [6] на примере основных притоков Ладожского озера. В связи с этим целесообразно все реки рассматривать в качестве гидро- и литодинамических потоков.

На **рис. 1**[3,4] эти потоки разного ранга отображены синими линиями. К самым крупным из них относятся течение Западных Ветров (ТЗВ) и два его активных притока, взаимосвязанные через общий водораздел, функционирующие в Атлантическом и Тихом океанах и соединяющиеся с ТЗВ в узлах 1 и 2 (рис. 1). Согласно использующимся картографическим данным, узел 1 находится в Южно-Сандвичевой впадине (местный базис денудации в нем находится на глубине 8262 м). Узел 2 располагается в Южно-Тихоокеанской котловине (местный базис денудации на глубине ниже 5000 м).

Сам факт существования двух крупнейших противоположных активных притоков ТЗВ способствует некоторым вариациям вращения планеты в течение суток. При первом режиме ротации относительно усиливается тихоокеанский приток ТЗВ, а при втором (через 12 часов) — атлантический. Полной компенсации изменений энергетики данных противоположных притоков при этом не происходит, согласно результирующим фактическим данным, отраженным на картах, атлантический приток ТЗВ сильнее тихоокеанского.

Системы взаимосвязей гидро- и литодинамических потоков, состоящие из транзитного потока, двух его соседних односторонних (левых или правых) притоков и замыкающих их транзитных тальвегов, составляют одну положительную структуру, область денудации вещества (она подробно рассматривается в работе автора [2]). Оконтуривающие ее транзитные тальвеги определенного ранга ограничивают врезание всех гидро- и литодинамических потоков в пределах данной структуры. Центральные части таких структур отражают развитие конкретных вертикальных каналов разуплотнения внутриземного вещества. Такая область преимущественной денудации является антиподом соподчиненной сферы узла транзитных тальвегов (воронки), которая показывает характер проявления господствующего уплотнения вещества к центру Земли.

---

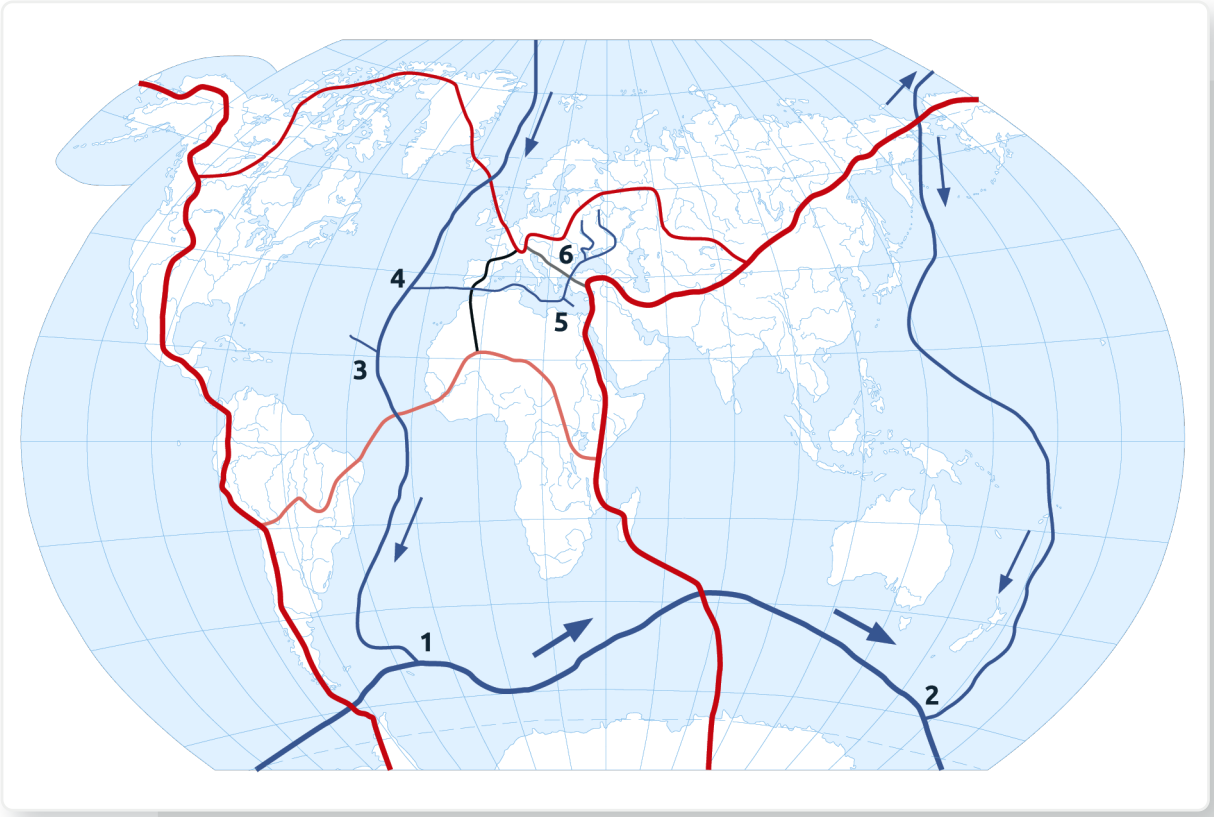
2 Атлас мира / отв. ред. А.Н. Баранов. М.: ГУГК при МВД СССР, 1954. 284 с.

3 Там же.

4 Контурная карта мира. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.1maps.ru (дата обращения: 10.04.2024).

Рис. 1 Единая система соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов и гидро- и литодинамических потоков, действующих на земной поверхности, с использованием данных [2], Атласа мира и контурной карты

Fig. 1 A unified system of subordinate spheres of transit thalwegs nodes and hydro- and lithodynamic flows on the earth's surface, using data [2], World Atlas and contour map



Условные обозначения

Зоны транзитных тальвегов, в которых функционируют:
- течение Западных Ветров (ТЗВ)
- активные притоки ТЗВ в Атлантическом и Тихом океанах
- притоки разного ранга к активному атлантическому притоку ТЗВ

Границы соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов разного ранга:
- первого
- второго
- третьего
- четвертого
- пятого

Направление:
- ТЗВ (совпадающее с направлением вращения Земли вокруг своей оси)
- активных притоков ТЗВ в Атлантическом и Тихом океанах

Номера узлов сочленения соподчиненных транзитных тальвегов и гидро- и литодинамических потоков:
1. ТЗВ и атлантического активного притока
2. ТЗВ и тихоокеанского активного притока
3. атлантического активного притока ТЗВ со своим притоком, связанным через общий водораздел с притоком во впадину Пуэрто-Рико
4. атлантического активного притока ТЗВ со своим притоком, действующим в Средиземном море
5. потока, действующего в Средиземном море, и его притока, связанного с котловиной Черного моря
6. потока в Черном море с его притоком, связанным (единым транзитным тальвегом) с р. Днепр

На физической карте мира масштаба 1 : 50 000 000 из Атласа мира[5] отчетливо выделяются ортогональные зоны транзитных тальвегов самого высокого ранга, проходящих через крупнейшие котловины и впадины субмеридионального и субширотного простирания. Эти тальвеги определяют границы шести областей денудации первого ранга: верхней — с Евразией и Северной Америкой, нижней — с Антарктидой, четырех боковых (с Южной Америкой, Африкой, Австралией и южной частью Тихого океана). Наиболее крупной из них является та, которая включает Евразию и Северную Америку. В условиях усиления уплотнения вещества зоны транзитных тальвегов развиваются в режиме компрессии, а центральные части областей денудации — в режиме декомпрессии.

Непрерывно действующие зависимые противоположные процессы усиления сноса и усиления аккумуляции стремятся выровнять рельеф земной поверхности [4]. Одновременно процесс вращения Земли вокруг своей оси способствует сглаживанию различий в деформации отдельных ее частей. Реальные размеры самых крупных областей денудации показывают, что пределы трансформации земного шара без глобальных зон разрывных нарушений могут быть весьма широкими. В связи с этим единая система транзитных тальвегов способствует формированию упругой Земли.

Данные о транзитных тальвегах разного ранга вкупе с исследованиями, представленными в работах А. Пуанкаре[6] и Р.Р. Мухина [7], увеличивают перспективы выявления широкого диапазона непрерывных деформаций Земли (без нарушений сплошности) в ходе закономерных изменений ее движения. Проблема непрерывных деформаций планеты из-за изменений ее вращения имеет огромное значение и требует более широких исследований с учетом взаимосвязанных противоположных геологических процессов крупного ранга.

3 Результаты и обсуждение

В ходе настоящих исследований была выявлена единая система соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов разного ранга, действующая на земной поверхности (рис. 1). При ранжировании подобных сфер впервые учитывался первый уровень естественного управления гидро- и литодинамическими потоками.

Такой уровень позволил определить границы и ранг области влияния (сферы) конкретного управляющего узла сочленения двух соподчиненных транзитных тальвегов (и приуроченных к ним гидро- и литодинамических потоков). Границы данной сферы фиксируют пределы всех стоков к такому узлу, поэтому она по сути

5 Атлас мира / отв. ред. А.Н. Баранов. М.: ГУГК при МВД СССР, 1954. 284 с.

6 Пуанкаре А. Избранные труды: в 3 т. / под ред. акад. Н.Н. Боголюбова. М.: Наука, 1972. Т. 2. 999 с.

своей является областью аккумуляции вещества, по форме это своеобразная воронка, в которой функционирует местный относительно самый глубокий базис денудации, не всегда приуроченный к управляющему узлу. Например, сфера управляющего узла (3) представлена воронкой более высокого (второго) ранга, нежели подобная с самым глубоким в ней местным базисом денудации (– 9218 м) во впадине Пуэрто-Рико (см. рис. 1).

Отличительной особенностью каждой такой соподчиненной сферы является то, что на ее границе имеется только одна точка выхода. Последняя определяется уровнем слабого звена, где сочленяются соседние подобные воронки и фиксируется относительно более высокая отметка проходящего через нее транзитного тальвега. От изменения превышения между местным базисом денудации в управляющем узле и точкой выхода зависит характер развития данной сферы. Если такое превышение увеличивается, то она активно обводняется, в ней формируются практически бессточные акватории, временные или постоянные зоны затопления. Если такое превышение уменьшается, то сфера узла транзитных тальвегов активно дренируется, и в результате могут сформироваться переосушенные земли, усилятся процессы расчленения данной территории, увеличится ее сейсмичность. Поэтому этот параметр сферы узла соподчиненных транзитных тальвегов должен быть задействован в системе мониторинга геологических процессов.

Другой особенностью данной сферы (также требующей мониторинга) является функциональная принадлежность ее к области влияния либо транзитного потока, либо активного его притока. На рис. 1 толстыми красными линиями показаны границы двух самых крупных сфер узлов (1 и 2) транзитного тальвега, в котором функционирует ТЗВ. По отношению к ТЗВ сфера узла 3 определяет уже пределы действия активного притока к нему. Эта информация очень важная. В стабильных условиях, если не наблюдается тенденции к изменению функций потоков в узле относительно друг друга, область влияния главного потока больше подвержена процессам обводнения, а сфера ее активного притока — развитию эрозионных процессов. Одновременно они по-разному дренируются в течение суток.

Объектом наблюдений должны стать также слабые звенья транзитных тальвегов, где проходит граница между соседними соподчиненными воронками и где возможна активизация эрозионных процессов. Кроме того, требуют мониторинга и другие участки границ воронок, наиболее расчлененные, которые формируют «волоки» и через которые могут быть сбросы воды из соседних сфер разного ранга при действии естественных систем адаптации Земли в случае создания экстремальных условий обводнения. Особенно это касается участков сильно изогнутых границ соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов.

Точность выделения транзитных тальвегов и границ соподчиненных сфер их узлов зависит от масштаба применяющейся географической карты. С увеличением ее масштаба положение этих объектов все более уточняется.

К транзитным тальвегам приурочены зоны разрядки геодинамических напряжений, потенциальных разрывов земного вещества [2]. Поэтому все сейсмические события и их афтершоки целесообразно исследовать с учетом соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов. Согласно данным Камчатского филиала ЕГС РАН[7], сейсмические события магнитудой выше 5,5 на полуострове Камчатка приурочены к зонам соподчиненных (тихоокеанского и охотоморского) транзитных тальвегов высокого ранга. Выявлена тенденция усиления сейсмичности данных зон, особенно охотоморской. Такую информацию необходимо учитывать при решении технологических проблем разработки месторождений УВ в пределах Охотской нефтегазоносной провинции.

Рассмотрим развитие сферы узла 6, действующего в Черноморской котловине, в единой системе соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов. На рис. 1 показаны также границы сферы узла 3 второго ранга (находящегося в северной части Атлантического океана и взаимодействующего с узлом транзитных тальвегов во впадине Пуэрто-Рико) и подобной воронки четвертого ранга с узлом 5, действующим в Средиземном море на глубине свыше 3000 м. Слабое звено этой воронки находится в Гибралтарском проливе. Главный гидро- и литодинамический поток, выходящий здесь из данной воронки, соединяется с атлантическим притоком ТЗВ в узле 4. В пределах этой воронки четвертого ранга функционирует сфера узла 6 пятого ранга.

Развитие акватории зависит от непрерывной динамики конкретного узла транзитных тальвегов. На **рис. 2**[8,9] отображены границы сферы узла 6 транзитных тальвегов (пятого ранга), функционирующего в котловине Черного моря (рис. 1).

Режим экспансии Черного моря действует при активизации тихоокеанского притока ТЗВ, увеличении скорости погружения местного базиса денудации в узле 6 (на глубине порядка 2245 м, по картографическим данным) и замедлении погружения участка тальвега в слабом его звене на выходе из воронки в конкретной точке (в проливе Босфор). На рис. 2 это слабое звено показано желтым крестом. Противоположный режим сокращения площади Черного моря формируется, наоборот, при замедлении погружения указанного местного базиса денудации в узле 6 и усилении погружения участка слабого звена транзитного тальвега на выходе из этой воронки. Тогда данная территория активно дренируется. Такому развитию событий способствует усиление атлантического притока ТЗВ.

На рис. 1 показаны границы сфер узлов транзитных тальвегов 1–5 рангов, выявленные с использованием картографического метода исследований. С учетом этой новой информации можно сказать следующее.

---

7 Интерактивная карта землетрясений. [Электронный ресурс]. URL: https://www.glob.emsd.ru (дата обращения: 10.01.2022).

8 Атлас мира / отв. ред. А.Н. Баранов. М.: ГУГК при МВД СССР, 1954. 284 с.

9 Контурная карта Евразии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.1maps.ru (дата обращения: 15.04.2024).

Рис. 2 Границы соподчиненных сфер узлов (5–8) транзитных тальвегов, действующих в Средиземном, Черном, Каспийском морях и бывшем Арале (см. также рис. 1), с использованием [2], Атласа мира и контурной карты

Fig. 2 Boundaries of subordinate spheres of transit thalwegs nodes (5–8), operating in the Mediterranean, Black, Caspian Seas and the former Aral Sea (see also Fig. 1), using [2], the World Atlas and a contour map



Условные обозначения

Зоны транзитных тальвегов разного ранга, в которых действуют гидро- и литодинамические потоки, связанные с активным атлантическим притоком ТЗВ

Границы соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов разного ранга:

- первого
- третьего
- четвертого
- пятого
- шестого

Слабые звенья зон транзитных тальвегов, где сочленяются соседние сферы их узлов разного ранга:

- четвертого
- пятого
- шестого

Номера управляющих узлов сочленения соподчиненных транзитных тальвегов и гидро- и литодинамических потоков, действующих:

5 в Средиземном море
6 в Черном море
7 в южной части Каспийского моря
8 в котловине бывшего Аральского моря

Рассматриваемая черноморская воронка входит в подобную более крупную с местным базисом денудации в узле 5 (на глубине свыше 3000 м) в Средиземном море. Данная воронка, в свою очередь, вложена в подобную с узлом 3, которая в конечном итоге является частью самой крупной атлантической сферы с узлом 1.

Одновременно сама сфера узла 6 состоит из трех подобных более низкого ранга. Одна из них отражает предел развития только Черноморской котловины (без Каспия и Арала), другая — котловины Каспия с подобным узлом 7 в южной его части, третья — котловины бывшего Аральского моря с узлом 8. Все эти воронки приурочены к зоне транзитного тальвега.

На земной поверхности сфера узла 6 пятого ранга в целом наклонена на запад, в сторону Средиземного моря (2). Из трех воронок шестого ранга в этом направлении наиболее наклонены сферы узлов 6 и 8, наименее — сфера узла 7 (рис. 2).

Из-за существования двух противоположных режимов ротации Земли в каждой воронке действуют два узла транзитных тальвегов со своими местными базисами денудации разного ранга. Один из них отвечает за ее дренирование, а другой — за ее погружение. Самый глубокий из них местный базис денудации показывает превалирующий режим развития данной сферы узла транзитных тальвегов.

Например, в зоне транзитного тальвега, проходящего через Каспийскую котловину, фиксируется два крупных узла с местными базисами денудации (в южной ее части и в северной, на шельфе близ дельты Волги). Наиболее глубокий из них находится в южной части Каспия на уровне –980 м. Если бы самым глубоким был местный базис денудации в северной широтной его части, то границы Каспийского моря и режим дренирования данной котловины были бы иными, чем в настоящее время. По данным Л.Н. Гумилева[10], на дне в южной части Каспийского моря находятся древние затопленные города.

Структурные геологические карты также дают возможность фиксировать транзитные тальвеги на разных глубоких горизонтах. С учетом информации, приведенной в [8–10], на структурных картах поверхностей фундамента и Мохо также прослеживаются (хотя и со смещениями) границы отмеченных выше на земной поверхности трех воронок шестого ранга с узлами 6–8 (см. рис. 2).

Данные [8] показывают, что на поверхности фундамента местный базис денудации под Черноморской котловиной находится на глубине порядка 15–19 км. На поверхности Мохо западная граница черноморской сферы пятого ранга и местный базис денудации в ней смещены на восток. Местный базис денудации здесь фиксируется на глубине 52 км под территорией (43° с. ш., 43° в. д.), вблизи которой на земной поверхности находится г. Казбек. На поверхности Мохо под котловиной Черного моря на глубинах порядка 20 км развиваются две положительные структуры (более крупная западная и восточная), развитие которых зависит от ротационного фактора.

10 Гумилев Л. Трагедия «Прикаспийских Нидерландов» // Тайны веков. М.: Молодая гвардия, 1980. Кн. 2. С. 111–112.

С учетом [9, 10] на поверхности фундамента местный базис денудации в каспийской сфере узла 7 шестого ранга находится на глубине порядка 25 км. Получается, что на этом глубоком горизонте местный базис денудации каспийской сферы узла шестого ранга расположен ниже, чем подобный под Черным морем. Это свидетельствует о том, что черноморская воронка шестого ранга наклонена на данной поверхности в сторону Каспия. Одновременно на поверхности Мохо каспийская воронка наклонена уже в сторону местного базиса денудации на глубине 52 км в пределах черноморской сферы пятого ранга. При этом две сферы (с узлами 7 и 8, под Каспием и бывшим Аралом) имеют в плане близкое положение.

Информация о взаимосвязях соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов разного ранга на земной поверхности и на различных глубоких горизонтах является очень актуальной для социума. Ее также необходимо учитывать при мониторинге геологических процессов. Данная проблема, безусловно, требует специальных изысканий.

4 Выводы

Мониторинг крупных противоположных геологических процессов целесообразно проводить в границах соподчиненных сфер узлов транзитных тальвегов и областей преимущественного сноса земного вещества разного ранга.

Для прогнозирования, разработки технологий минимизации и недопущения зон затопления необходимо наблюдать изменения параметров и функции сфер конкретных узлов транзитных тальвегов (воронок) разного ранга, выявлять их уязвимость, а затем своевременно реагировать. Эта информация нужна для изучения динамики климатических показателей, так как каждая такая воронка характеризуется своими микроклиматическими различиями при непрерывных преобразованиях глобальной системы гидро- и литодинамических потоков, обусловленных ротационным фактором. В ней заложена своя естественная способность к самоочищению земель, воздуха, воды и др. При этом каждый природно-антропогенный объект зависит от изменений условий конкретной сферы узла транзитных тальвегов. Эта конкретная сфера всегда может быть привязана к единой системе подобных сфер разного ранга, представленной в настоящей работе. Это позволит учесть широкий спектр изменений геологических процессов.

Области денудации являются более устойчивыми образованиями по сравнению с самими зонами транзитных тальвегов. Целесообразно проводить мониторинг изменений центральных частей таких областей разного ранга, являющихся проекциями вертикальных каналов разуплотнения внутриземного вещества. Эта информация требуется также при изучении потоков УВ-флюидов, динамики

развития вулканов и возможных явлений усиления дегазации, характера преобразований гидросети. Для определения изменений сейсмичности территорий необходим сопряженный мониторинг соподчиненных воронок и областей денудации, так как распространение землетрясений разной магнитуды зависит от системы естественного управления процессами денудации. С учетом полученной новой информации о транзитных тальвегах можно решать и многие другие важные практические задачи, в том числе связанные с инвестициями.

В настоящее время назрела насущная необходимость интеграции ESG[11] (ответственное отношение к окружающей среде — высокая социальная ответственность — высокое качество корпоративного управления) в производственные процессы. Полученная информация о соподчиненных сферах узлов транзитных тальвегов разного ранга может быть уже сейчас использована для оценки риска и разработки свода правил и подходов к ведению бизнеса, которые одновременно будут способствовать его устойчивому развитию и заботе об экологии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 122022800270-0).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Холодов В.Н. Условия формирования аномально высоких и сверхвысоких давлений в стратисфере // Актуальные проблемы нефти и газа. 2016. Т. 3. № 15. С. 1–13.
2. Соколова Н.В. Роль узлов транзитных тальвегов в современном развитии Черного моря // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2023. Т. 9. № 19. С. 233–242.
3. Дмитриевский А.Н. Избранные труды: в 7 т. Т. 3. Прогнозирование нефтегазоносности недр: теория, методы, практические результаты. М.: Наука, 2011. 446 с.
4. Орлов В.И. Динамическая география: монография. М.: Научный мир, 2006. 594 с.
5. Чалов Р.С., Чалова Е.Р. География русел рек, разветвленных на рукава, на территории России // Известия Русского географического общества. 2019. Т. 151. № 6. С. 20–34. DOI:10.31857/S0869-6071151620-34.
6. Шмакова М.В., Кондратьев С.А. Сток наносов и мутность воды основных притоков Ладожского озера // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 3. С. 71–84. DOI:10.35567/1999-4508-2021-3-4.
7. Мухин Р.Р. Колмогоров и теория KAM: заметки к истории ее создания // Известия вузов «Прикладная нелинейная динамика». 2003. Т. 11. № 1. С. 3–11.

11 ESG-принципы: что это такое и зачем компаниям их соблюдать. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.trends.rbc.ru (дата обращения: 27.04.2024).

8. Коболев В.П. Плюм-тектонический аспект рифтогенеза и эволюции мегавпадины Черного моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2016. № 2. С. 16–36.
9. Антипов М.П., Волож Ю.А., Дмитриевский А.Н. и др. Астраханский карбонатный массив. Строение и нефтегазоносность. М.: Научный мир, 2008. 221 с.
10. Хаустов В.В. К проблеме формирования вод грязевых вулканов региона Южно-Каспийской впадины // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2012. Т. 1. № 1. С. 1–7.

АВТОР

Соколова Надежда Васильевна
ФГБУН «Институт проблем нефти и газа РАН» (ИПНГ РАН), Москва, Россия
Центр инновационных нефтегазовых технологий
канд. техн. наук
0000-0002-4381-4667

Поступила 29.04.2024. Принята к публикации 21.06.2024. Опубликована 28.06.2024.

UDC 551.4
DOI:10.30533/scidata-2024-15-10

CC BY

Monitoring high-rank geological processes using a system of transit thalwegs

Nadezda V. Sokolova[1]

AFFILIATIONS

[1] Oil and Gas Research Institute of RAS, Moscow, Russia
sona@ipng.ru

CITATION

Sokolova NV. Monitoring high-rank geological processes using a system of transit thalwegs. *Spatial Data: science, research and technology*. 2024;15(2): 43–58. DOI:10.30533/scidata-2024-15-10.

KEYWORDS

the process of increasing compaction of matter toward the Earth center, the process of decompaction of intraterrestrial matter, ranking, the subordinate sphere of transit thalwegs node, the denudation area bounded by transit thalwegs, the level of natural control hydro- and lithodynamic flows

ABSTRACT

The article is devoted to a very important, but little studied in our country and abroad, problem of ranking and monitoring opposing geological processes on which the continuous development of the Earth and its individual parts depends. Ignorance of such information negatively affects the level of society adaptation to the emerging unfavorable natural conditions and emergency situations. The main continuous geological process is considered to be the intensification of matter compaction of towards the Earth center. Dependent on it is the decompaction of the intra-earth matter in the opposite direction. The varying degrees of this dominant process manifestation are reflected by transit thalwegs recorded on the earth's surface and deep horizons. In contrast to the traditional

fragmentary use of thalwegs to solve various practical problems, transit thalwegs are considered as continuous indicators of the increasing compaction dominant process. Using the cartographic research method, the possibilities of monitoring opposite geological processes were determined taking into account a single system of transit thalwegs. The subordinate spheres of transit thalwegs nodes and associated areas of substance denudation are presented, which are appropriate to use as systemic objects monitoring. In the article, for the first time, ranking of such spheres is carried out taking into account the first level of hydro- and lithodynamic flows natural control. These spheres are very important for practice and allow, taking into account the rotational factor, to monitor unfavorable processes (including within oil and gas-bearing territories) that cause the development of flood zones and increased seismicity, climate changes in structures of natural control. Data from such monitoring are necessary for the development of advanced geotechnologies.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the state assignment (topic No. 122022800270-0).

REFERENCES

1. Kholodov VN. Uslovija formirovanija anomal'no vysokih i sverhvysokih davlenij v stratisfere [Conditions of formation of high and ultrahigh pressures in the stratosphere]. ***Actual problems of oil and gas.*** 2016;3(15): 1–13. (In Russian).
2. Sokolova NV. Rol' uzlov tranzitnyh tal'vegov v sovremennom razvitii Chernogo morya [The role of transit thalwegs nodes in the modern development of the Black Sea]. ***Geopolitics and ecogeodynamics of regions.*** 2023;9(19): 233–242. (In Russian).
3. Dmitrievsky AN. ***Izbrannye trudy*** [Selected works]. In 2 vols. Vol. 3. Prognozirovanie neftegazonosnosti nedr: teoriya, metody, prakticheskie rezul'taty [Forecasting the oil and gas potential of the subsoil: theory, methods, practical results]. Moscow: Nauka, 2011. 446 p. (In Russian).
4. Orlov VI. ***Dinamicheskaja geografija*** [Dynamic geography] [monograph]. Moscow: Nauchnyj mir, 2006. 594 p. (In Russian).
5. Chalov RS, Chalova ER. Geografija rusel rek, razvetvlennyh na rukava, na territorii Rossii [Geography of riverbeds branched into branches in Russian territory]. ***Proceedings of the Russian Geographical Society.*** 2019;151(6): 20–34. (In Russian). DOI:10.31857/S0869-6071151620-34.
6. Shmakova MV, Kondratiev SA. Stok nanosov i mutnost' vody osnovnyh pritokov Ladozhskogo ozera [Sediment runoff and turbidity of the water of the main tributaries of Lake Ladoga]. ***Water management of Russia: problems, technologies, management.*** 2021;3: 71–84. (In Russian). DOI:10.35567/1999-4508-2021-3-4.
7. Mukhin RR. Kolmogorov i teoriya KAM: zametki k istorii ee sozdaniya [Kolmogorov and KAM Theory: Notes on the History of Its Creation]. ***Izvestiya vuzov. Applied Nonlinear Dynamics.*** 2003:11(1): 3–11. (In Russian).

8. Kobolev VP. Pljum-tektonicheskij aspekt riftogeneza i jevoljucii megavpadiny Chernogo morja [Plume-tectonic aspect of rifting and evolution of the megawall of the Black Sea]. *Geology and minerals of the World Ocean*. 2016;2: 16–36. (In Russian).
9. Antipov MP, Volozh YuA, Dmitrievsky AN, et al. ***Astrahanskij karbonatnyj massiv. Stroenie i neftegazonosnost'*** [Astrakhan carbonate massif. Structure and oil and gas potential]. Moscow: Nauchnyj mir, 2008. 221 p. (In Russian).
10. Khaustov VV. K probleme formirovanija vod grjazevyh vulkanov regiona Juzhno-Kaspijskoj vpadiny [On the Formation of Mud Volcanoes' Waters in Region of South Caspian Basin]. *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time.* 2012;1(1). P. 1–7. (In Russian).

AUTHOR

Nadezda V. Sokolova
Oil and Gas Research Institute of RAS (OGRI RAS), Moscow, Russia
Center for Innovative Oil and Gas Technologies
PhD in Engineering
0000-0002-4381-4667

Submitted: April 29, 2024. Accepted: June 21, 2024. Published: June 28, 2024.

УДК 528.063
DOI:10.30533/scidata-2024-15-11

CC BY

Исследование (анализ) временных рядов нескольких станций, полученных из обработки RINEX-файлов

С.С. Рахмонов[1] ✉, А.С. Рахманов[1]

АФФИЛИАЦИИ

[1] Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
✉ rahmonov_samandar@inbox.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Рахмонов С.С., Рахманов А.С. Исследование (анализ) временных рядов нескольких станций, полученных из обработки RINEX-файлов // Пространственные данные: наука и технологии. 2024. Т. 15. № 2. С. 59–83. DOI:10.30533/scidata-2024-15-11.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

временные ряды, анализ временных рядов, обработка спутниковых измерений, сезонные эффекты, периодические эффекты, адаптивный анализ, GNSS Laboratory (gLAB), MATLAB, трендовая функция, аддитивная модель

АННОТАЦИЯ

Накопленные наблюдения природных явлений или эффектов в течение длительного периода времени становятся хорошим материалом для изучения природы этих явлений. В статье рассмотрены накопленные спутниковые измерения нескольких станций, полученные из EarthScope Consortium (UNAVCO). Эти измерения обработаны в gLAB методом PPP (точное точечное позиционирование), далее выполнен их анализ численными методами в MATLAB. Для анализа временных рядов необходимо подбирать модели таким образом, чтобы они были адекватными, — это важное требование для их выбора, иначе результаты могут быть неправильными. Требуется заранее знать или определить значимые характеристики временного ряда, которыми будут математическое ожидание

и дисперсия. На основе этих двух характеристик делается вывод о виде ряда, затем выполняется подбор модели. Для стационарных (если математическое ожидание и дисперсия постоянны) и нестационарных (математическое ожидание и дисперсия изменяются со временем) рядов существуют определенные группы моделей. Есть также универсальные модели (вейвлет-разложение, сингулярный спектральный анализ и т.д.), которые можно применять для анализа как стационарного, так и нестационарного ряда.

1 Введение

Анализ временных рядов требует применения сложных статистических алгоритмов и методов. Сейчас по всей планете размещены геодезические станции, выполняющие измерения в непрерывном режиме, а измерения производят через определенный интервал времени. Так, станция KIT3, расположенная в г. Китабе (Узбекистан), производит измерения каждые 30 секунд, а станции, находящиеся рядом с разломом Сан-Андреас, — каждые доли секунды. Накопленные измерения с таких станций можно представить в виде временного ряда и выполнить их анализ с последующим контролем.

Сделать выводы о закономерностях для временного ряда в его чистом виде сложно. Такая проблема возникает из-за сложности структуры самого временного ряда. Чтобы сделать правильные выводы, исходя из измерений временного ряда, нужно выполнить его анализ. Под анализом временных рядов подразумевают вычисление их детерминированной (определенной) и случайной (неопределенной) составляющих, или компонент [1, 2]. В ходе анализа для определения детерминированной составляющей нужно вычислить тренд, сезонные и периодический (либо циклический) эффекты:

1 $$q(x) = \omega_\tau \tau(t) + \omega_s \sum_i s_i(t) + \omega_p \sum_j p_j(t),$$

где $\tau(t)$ — функция тренда;
$s_i(t)$ — i-я функция сезонной (месячной, квартальной, годовой и др.) составляющей;
$p_j(t)$ — j-я функция периодической (или циклической) составляющей;
ω_τ, ω_s, ω_p — коэффициенты наличия или отсутствия составляющих (принимают значения 0 или 1).

Если вычесть все эти составляющие из исходного временного ряда, образуется остаток, называемый случайной составляющей временного ряда [1]. Другая сложность — это разрывы во временном ряде, возникающие в результате отсутствия измерений. Такие проблемы могут наблюдаться у любой станции, и при анализе ряда это приводит к дополнительным сложностям, а именно к трудностям вычисления периодической составляющей ряда и ее прогноза. В случае,

когда пропуски незначительны, проблему можно решить усреднением ряда, равным этому незначительному пропуску, при больших пропусках данная проблема почти нерешаема.

Из существующих моделей [2–4] не все позволяют выполнить анализ временных рядов, так как для их применения должны быть выполнены определенные критерии (качество и адекватность модели).

Для анализа стационарных временных рядов можно использовать аддитивную модель (типовые модели авторегрессии, модель скользящего среднего, смешанные модели и др.), применяемые в основном для стационарных временных рядов:

$$f(x) = \omega_\tau \tau(t) + \omega_s \sum_i s_i(t) + \omega_p \sum_j p_j(t) + \xi(t), \quad (2)$$

где $\tau(t)$ — функция тренда;
$s_i(t)$ — i-я функция сезонной (месячной, квартальной, годовой и др.) составляющей;
$p_j(t)$ — j-я функция периодической (или циклической) составляющей;
ω_τ, ω_s, ω_p — коэффициенты наличия или отсутствия составляющих (принимают значения 0 или 1);
$\xi(t)$ — функция случайной составляющей.

Если ряд нестационарный, применяют методы адаптивного анализа (сингулярный спектральный анализ, метод вейвлет-разложения, эмпирическая модовая декомпозиция, частотно-временные характеристики временных рядов и др.) временных рядов. У методов адаптивного анализа есть преимущество — их можно применить также для анализа стационарных рядов, поэтому они имеют универсальный [5] характер.

2 Материалы и методы

Исходными материалами для выполнения анализа служат результаты в виде временных рядов, полученных из обработки в gLAB методом PPP [6]. Сырые измерения для выбранных станций (**табл. 1**) получены с официального сайта EarthScope Consortium. Измерения представляют из себя файлы в сжатом виде формата HATANAKA.

Из семи выбранных станций (**рис. 1**) три находились в Таджикистане (GARM, MANM и SHTZ), три — в Узбекистане

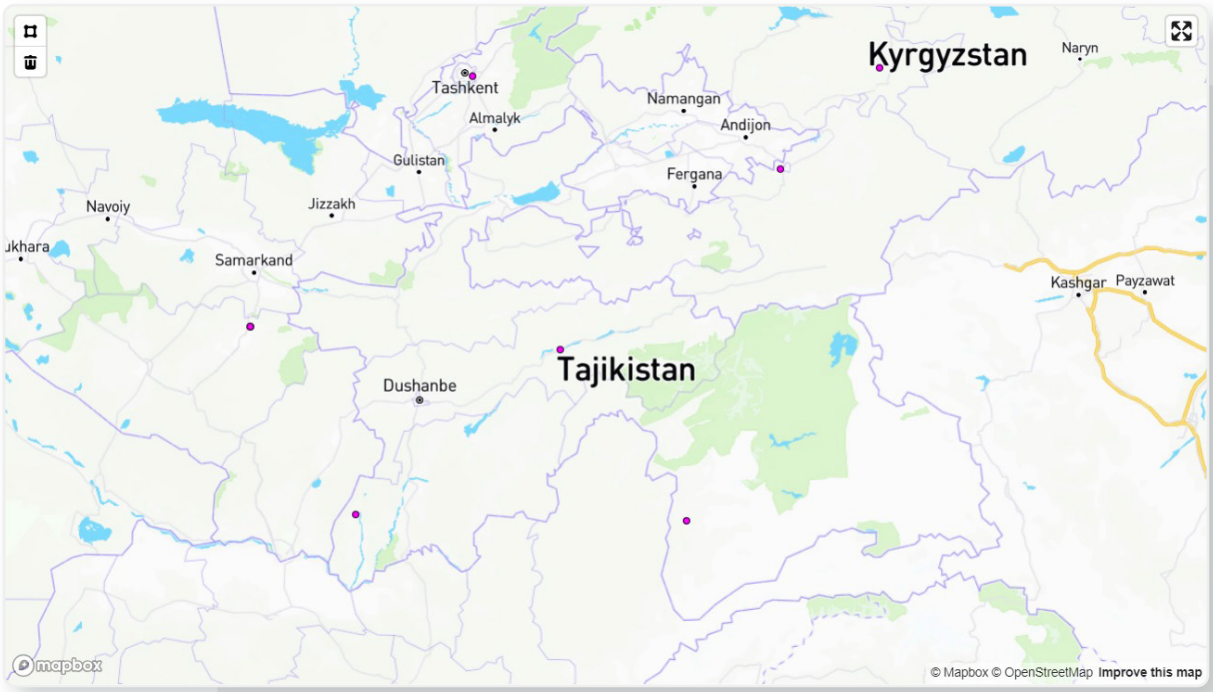
Таблица 1 Сведения о местоположении станций

Table 1 Information about the location of the stations

Станция		B	L	H
1.	**GARM**	39,007	70,317	1,303.9
2.	**KIT3**	39,135	66,886	643.3
3.	**KITG**	39,133	66,887	622.1
4.	**MANM**	37,542	71,68	2,304.5
5.	**OSHK**	40,53	72,778	1,014.9
6.	**SHTZ**	37,562	68,123	405.9
7.	**TASH**	41,328	69,296	439.7

Рис. 1 Расположение ближайших станций в выбранном регионе (станции обозначены точками)

Fig. 1 The location of the nearest stations in the selected region (stations are marked with dots)



(KIT3, KITG и TASH), и последняя выбранная станция расположена в Кыргызстане (OSHK). Станции в Таджикистане в настоящее время уже не выполняют измерения. Имеющиеся измерения, произведенные в прошлом (**табл. 2**), хранятся на официальном сайте EarthScope Consotium и находятся в открытом доступе. Станции, расположенные в Узбекистане, в настоящее время функционируют, старые измерения этих станций, произведенные в прошлом, можно получить с официального сайта EarthScope Consotium.

Таблица 2 Период выполнения измерений спутниковыми станциями

Table 2 The period of measurement by satellite stations

	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
GARM	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KIT3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
KITG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
MANM	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
OSHK	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
SHTZ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TASH	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Выбранные станции функционировали в разное время, шесть из них начали выполнять измерения в 2010 году или ранее, лишь у одной станции — KITG — период начала измерений относится к 2016 году. Для исследования геодинамических эффектов в выбранном районе необходимы измерения, выполненные одновременно или синхронно на нескольких станциях. Синхронные измерения выполнены лишь шестью станциями из семи (нет синхронных измерений со станцией KITG), причем синхронными они будут на 4 года — с 2010 по 2014 год (табл. 2), — и поэтому станция KITG будет исключена из анализа.

Сырые измерения обработаны в gLAB методом PPP [6], с помощью gLAB можно либо выполнить пакетную обработку, либо обработать один файл. В итоге из полученных результатов были сформированы временные ряды, содержащие важные параметры: время и значение определенного показателя (уровня), которыми будут координаты станции в разные моменты. В зависимости от выбранной временной сетки ряды будут равноотстоящими (значения приведены через каждые 30 секунд), а в зависимости от характера распределения случайных величин ряды будут нестационарными. У нестационарных рядов математическое ожидание и дисперсия меняются с течением времени. На это нужно обратить внимание, поскольку от этого зависит, какая модель будет применена для анализа ряда. Большинство временных рядов на практике оказываются нестационарными, а в литературе хорошо описаны случаи со стационарными рядами, так как анализ и прогноз таких рядов выполнять проще. В связи с этим любой ряд необходимо изначально исследовать на стационарность. На практике теоретическое определение случайного процесса — сложная задача. Чтобы решить эту задачу, нужно перебрать все сдвиги временного ряда. Именно поэтому проще изначально принять временной ряд нестационарным и использовать подходящие модели для его анализа.

В основе любого ряда существует случайная величина, которую можно описать либо через функцию распределения, либо через математическую модель. Второй способ наиболее подходящий, и его можно реализовать в любом статистическом программном пакете. Рассмотрим одну из таких моделей — аддитивную:

$$f(x_i) = q(t_i) + \xi(t_i), \quad (3)$$

где $f(x_i)$ — уровни временного ряда (отсчеты);
$q(t_i)$ — детерминированная составляющая;
$\xi(t_i)$ — случайная составляющая временного ряда.

Детерминированная составляющая $q(t_i)$ может быть представлена в виде сложных моделей, а остаточная часть ряда, не попадающая в него, будет случайной составляющей временного ряда. В общем виде модель для определения детерминированной составляющей выглядит следующим образом:

4 $$q(x) = \omega_\tau \tau(t) + \omega_s \sum_i s_i(t) + \omega_p \sum_j p_j(t),$$

где $\tau(t)$ — функция тренда;
$s_i(t)$ — функция сезонной (месячной, квартальной, годовой и др.) составляющей;
$p_j(t)$ — функция периодической (или циклической) составляющей;
ω_τ, ω_s, ω_p — коэффициенты наличия или отсутствия составляющих (принимают значения 0 или 1).

Помимо аддитивной существует мультипликативная модель:

5 $$f(x) = q(t)\xi(t),$$

где $q(t) = \tau(t)s(t)p(t)$ — детерминированная составляющая.

Встречается также комбинация аддитивной и мультипликативной моделей:

6 $$f(x_i) = M(t) + A(t),$$

где $M(t)$ — мультипликативная составляющая;
$A(t)$ — аддитивная составляющая.

Тренд или функция тренда $\tau(t)$ указывает на закономерность, наблюдаемую в течение длительного времени. Тренд можно описать простой монотонной функцией от времени [7], помимо этого тренд может содержать в себе все низкочастотные компоненты ряда.

Сезонная составляющая $s_i(t)$ описывает регулярные колебания квазипериодического (т.е. плавающего) характера, которые могут быть месячными, квартальными, годовыми и т.д. Сезонная составляющая может быть связана с разными факторами, например со сменой сезонов года, землетрясениями и т.д. Во временном ряду может быть несколько сезонных составляющих, которые постепенно изменяются, т.е. изменяется амплитудная составляющая, фазовая часть или период.

Периодическая или циклическая составляющая $p_j(t)$ — это неслучайная функция, указывающая на длительные периоды смены циклов переменной длины и амплитуды. Периодическая или циклическая составляющая, в отличие от сезона, состоит из фиксированной тригонометрической постоянной [8].

Для предварительного исследования временного ряда, а именно для выявления наличия или отсутствия тренда и периодической составляющей, удобно использовать автокорреляционный анализ:

1. Если максимальным будет первый коэффициент автокорреляции, предполагается, что временной ряд содержит только тренд. Допускается, что в таком случае в ряду существуют периодическая и циклическая составляющие, но, чтобы в этом убедиться, необходимо из ряда убрать тренд.

2. Если максимальным оказался любой другой коэффициент, то предполагается, что ряд содержит колебания определенной периодичности.
3. Если все коэффициенты незначимы, то в ряду нет ни одной компоненты детерминированной составляющей. Такой ряд в основном состоит из белого шума, либо в нем есть нелинейный тренд, который не позволяет наблюдать остальные компоненты ряда.

3 Результаты и обсуждение

Трендовую составляющую можно выявить двумя методами: регрессионного анализа [7] и сглаживания [13]. Последнюю задачу чаще называют задачей сглаживания временного ряда.

Выявление тренда подгонкой заключается в оценке тренда для базовой функции по заданной временной выборке. Чтобы упростить задачу, можно предположить, что остальные компоненты ряда минимальны либо отсутствуют.

Регрессионным методом трендовую составляющую можно выделить следующим образом:

[7] $$f(x) = \tau(t)\varepsilon(t),$$

где $f(x)$ — временной ряд;
$\tau(t)$ — тренд;
$\varepsilon(t)$ — случайная величина вместе с остальными составляющими.

Тренд вычисляется аппроксимированием или подгонкой на основе отсчетов временного ряда методами парной регрессии. Функция подгонки подбирается в зависимости от вида [9] тренда.

[8] **Линейный:** $\tau(t) = \beta_0 + \beta_1(t)$.

[9] **Квадратичный:** $\tau(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_1 t^2$.

[10] **Полиномиальный:** $\tau(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \ldots + \beta_n t^n$.

[11] **Экспоненциальный:** $\tau(t) = \beta_0 e^{\beta_1 t}$.

[12] **Логистический:** $\tau(t) = \beta_0 / (1 + \beta_1 e^{-\beta_2 t})$.

К нелинейной форме относятся все остальные.

Вид тренда обычно определяется приблизительно по графику, но, если так определить вид тренда невозможно, строится полиномиальный тренд.

Метод сглаживания, применяемый для вычисления тренда, работает только на определенном интервале временного ряда, т.е. не включает весь временной ряд. Задается окно сглаживания, и в пределах этого окна вычисляется тренд как взвешенное среднее исходных значений ряда:

13 $$\tau_i = \sum_{l=-L}^{L} c_l y_{i+1,}\ i = L + 1, L + 2, \ldots, N - L,$$

где c_l — весовые множители с условием $\sum_{l=-L}^{L} c_l = 1$.

В зависимости от выбора весовых множителей на практике применяется скользящее среднее либо экспоненциальное среднее.

Выше было упомянуто, что временные ряды могут содержать несколько сезонных и периодических компонент. Разница между этими компонентами заключается в следующем: сезонные компоненты — квазипериодические, а периодические — строго периодические. Эти компоненты ряда также называют тригонометрическими. Если предложить, что временной ряд нестационарен, то применяются методы адаптивного анализа временных рядов (сингулярный спектральный анализ [10], вейвлет-разложение, эмпирическая модовая декомпозиция и др.). Необходимо заметить, что методы адаптивного анализа универсальны и подойдут для анализа стационарных рядов.

Для анализа временного ряда рассмотрим метод вейвлетного разложения, которое очень близко к преобразованию Фурье. Для реализации Фурье-преобразования используется гармоническая функция фиксированной частоты, а для вейвлет-преобразования — различные классы базисных функций различного масштаба и локализации по времени. Рассмотрим дискретное вейвлет-преобразование (DWT):

$$W_{m,n} = a_0^{-m/2} \int x(t)\psi(a_0^{-m} - nb_0)\,dt,$$

$$x(t) = K_\psi \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} W_{m,n}\psi_{m,n}(t),$$

где m и n — целые числа; K_ψ — постоянная нормировки.

Важно выбрать правильные a_0, b_0 и функции ψ. Дискретное вейвлет-преобразование достаточно продолжить до некоторой итерационной схемы, построенной на основе некоторых ортонормированных базисных функций $\psi_{m,n}$.

Для выделения во временном ряду составных компонент применяется схема фильтрации: исходный временной ряд пропускается через низкочастотный и высокочастотный фильтр с определенным импульсным откликом. В результате такой фильтрации получаются две группы коэффициентов: коэффициенты аппроксимации и детализации.

Ниже построены графики (см. все четные рисунки), на которых представлены: временные ряды в исходном виде, полученные после обработки, восстановленный ряд из дискретного вейвлет-преобразования и полиномиальный тренд. Все вычисления произведены численными способами в MATLAB.

На графике (**рис. 2**) темно-синим выделен исходный временной ряд, голубым — восстановленный ряд, полученный по итогам дискретного вейвлет-преобразования, бежевым — тренд (полиномиальный). Примерно со второй половины 2013 года до начала 2014 года станция GARM не производила измерения. Отсутствие измерений во временных рядах усложняет их анализ, задача выделения тренда и остальных компонент ряда становится более трудной. Эта проблема имеет решение: можно моделировать отсутствующие измерения, т.е. продолжить ряд, но для этого нужно подобрать функцию распределения этого ряда. Реализовать это с помощью статистических пакетов сложно.

После выполненных процедур, а именно после удаления из исходного ряда ее детерминированной части (тренд и периодическая компонента), согласно формуле 2 получен остаточный ряд, характеризующий случайное распределение величин (**рис. 3**).

Рис. 2 Анализ временного ряда станции GARM за период с 2010 по 2014 г.

Fig. 2 Time series analysis of the GARM station for the period from 2010 to 2014

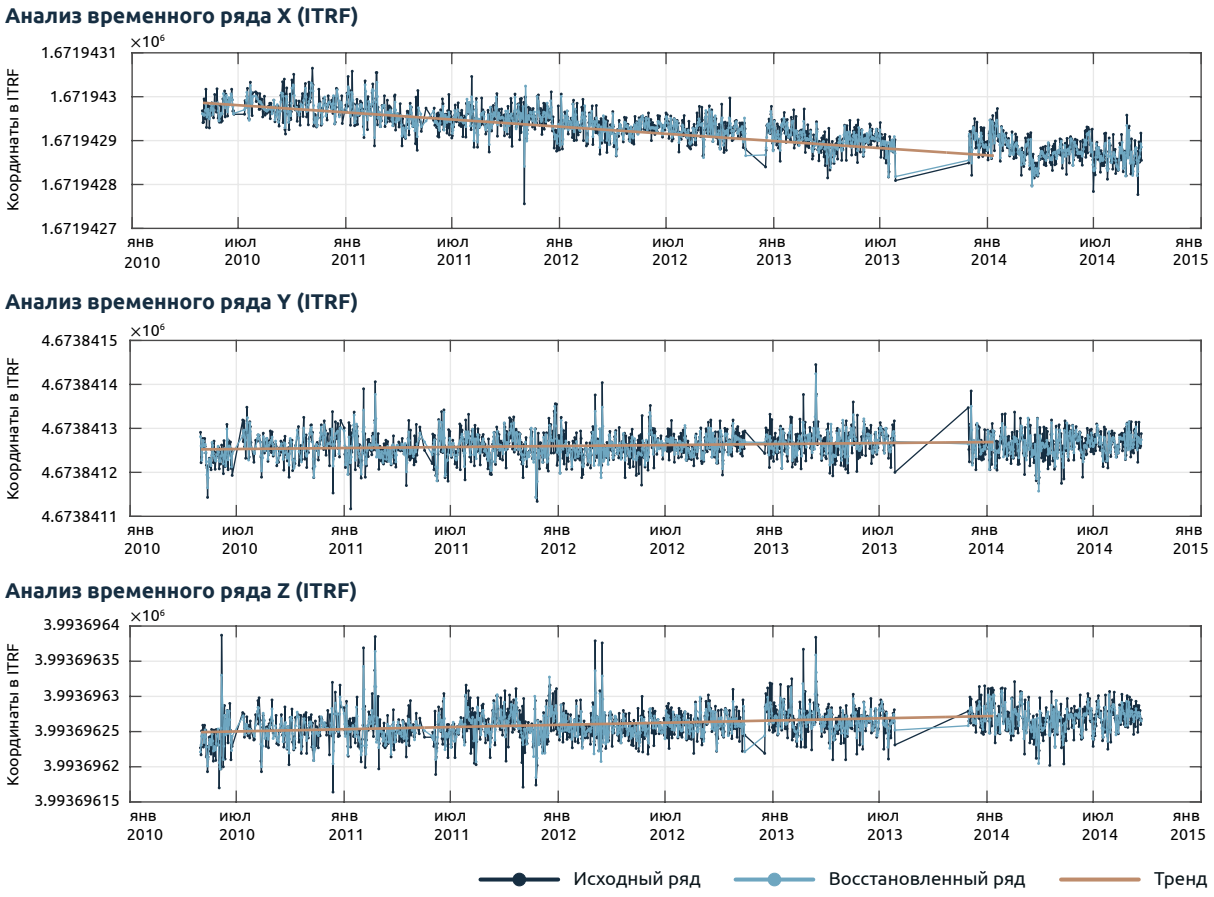
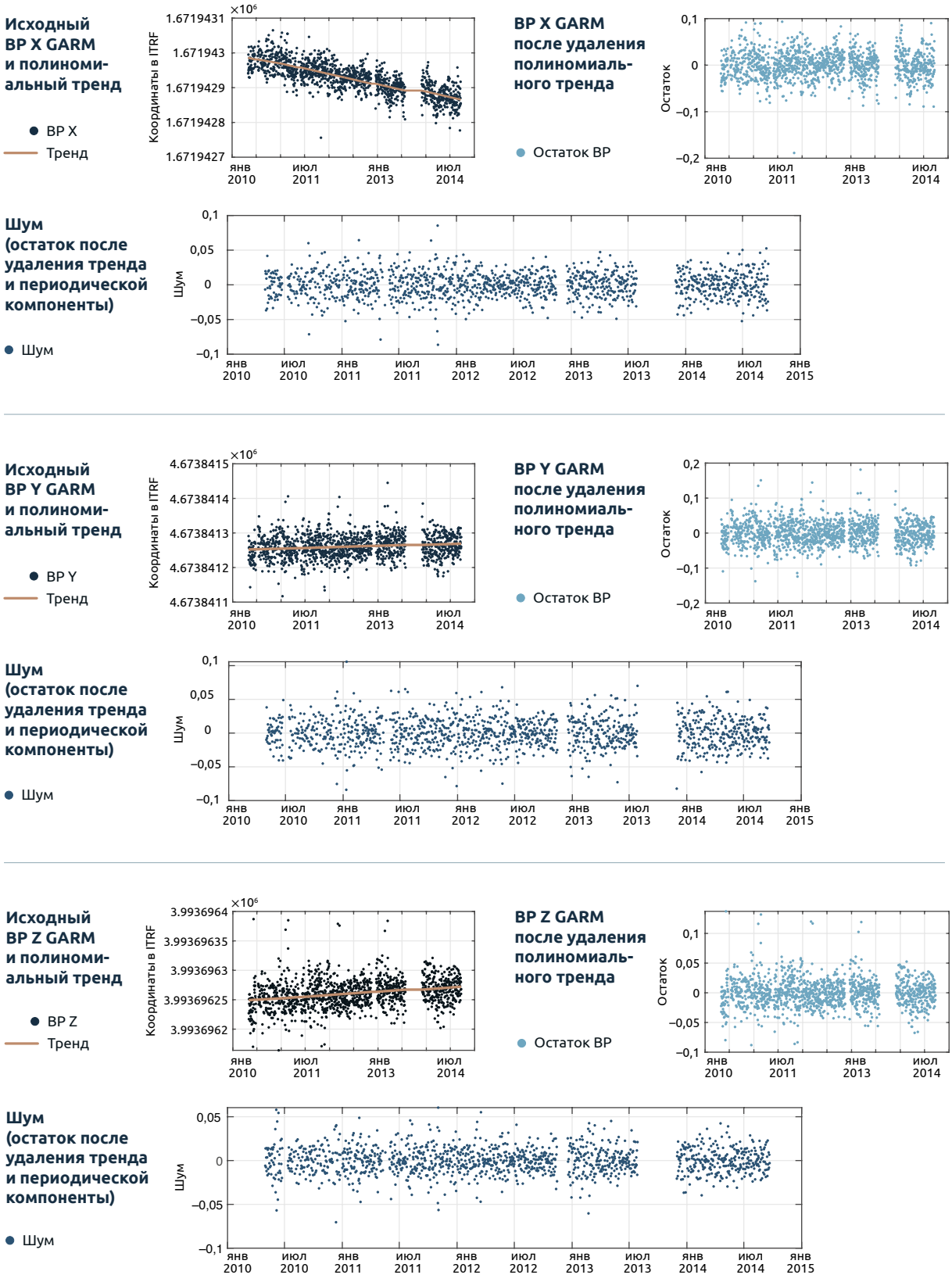


Рис. 3 Декомпозиция компонент временных рядов станции GARM

Fig. 3 Decomposition of the time series components of the GARM station



Эти компоненты вычислены для каждой станции, результаты приведены на соответствующих графиках. Здесь свой вклад вносят промежутки времени, когда не производились измерения (например, не функционировала станция). Существует и другая проблема, которая вносит негативный вклад в результаты анализа, — это экстремальные значения в ряду, из-за которых средняя по ряду может сильно измениться.

Забегая вперед, следует отметить, что декомпозиция временного ряда на компоненты показала вклад каждой из составляющих в исходный ряд. Большую часть ряда формирует тренд, остальные компоненты составляют малую часть ряда. Необходимо исследовать эти ряды другими известными методами анализа временных рядов для лучшего понимания содержания ряда.

Во временном ряду станции KIT3 (**рис. 4**) отсутствует незначительная часть измерений. Помимо этих пропусков в ряду существуют аномалии в виде пиков (максимальных отклонений от среднего). Декомпозиция компонент временных рядов станции приведена на **рис. 5**.

Рис. 4 Анализ временного ряда станции KIT3 за период с 2010 по 2014 г.

Fig. 4 Time series analysis of the KIT3 station for the period from 2010 to 2014

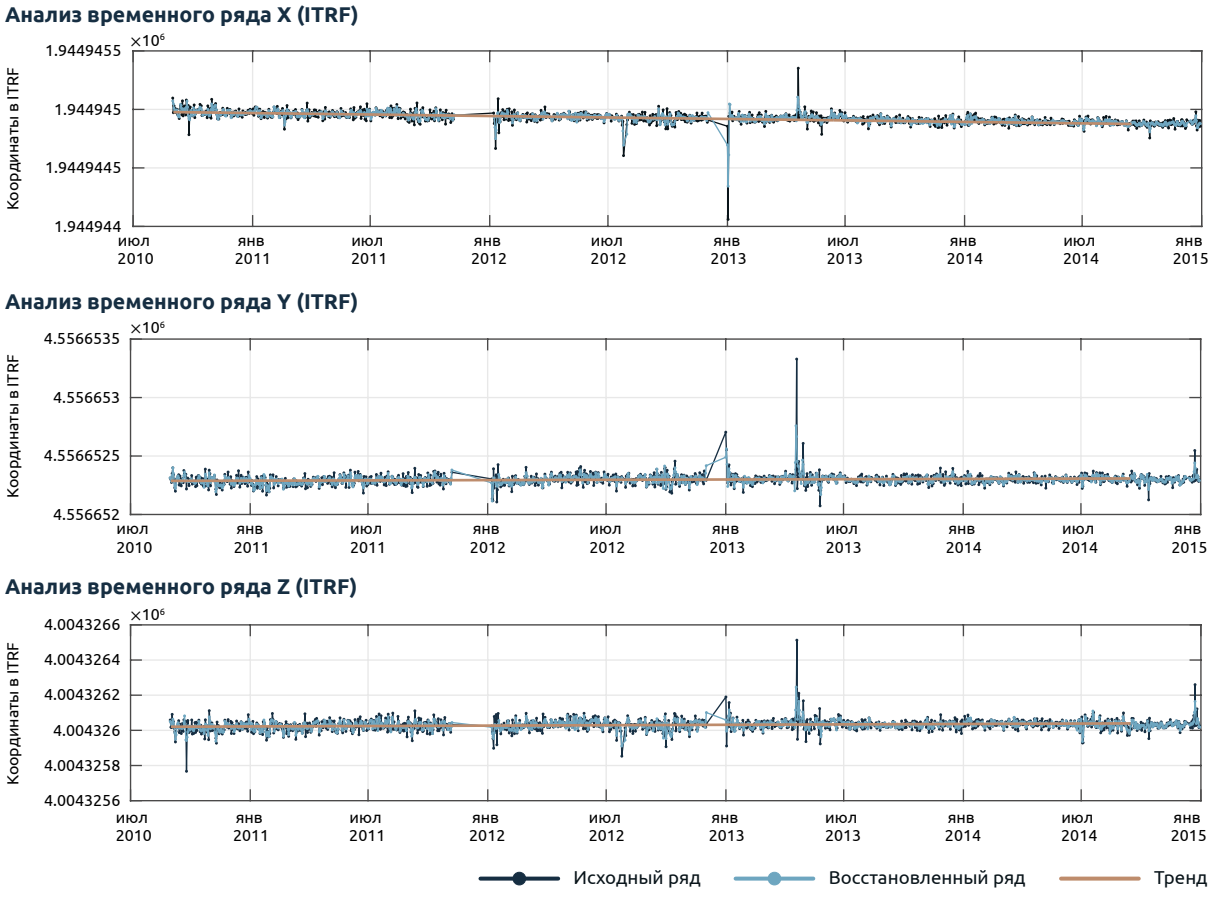
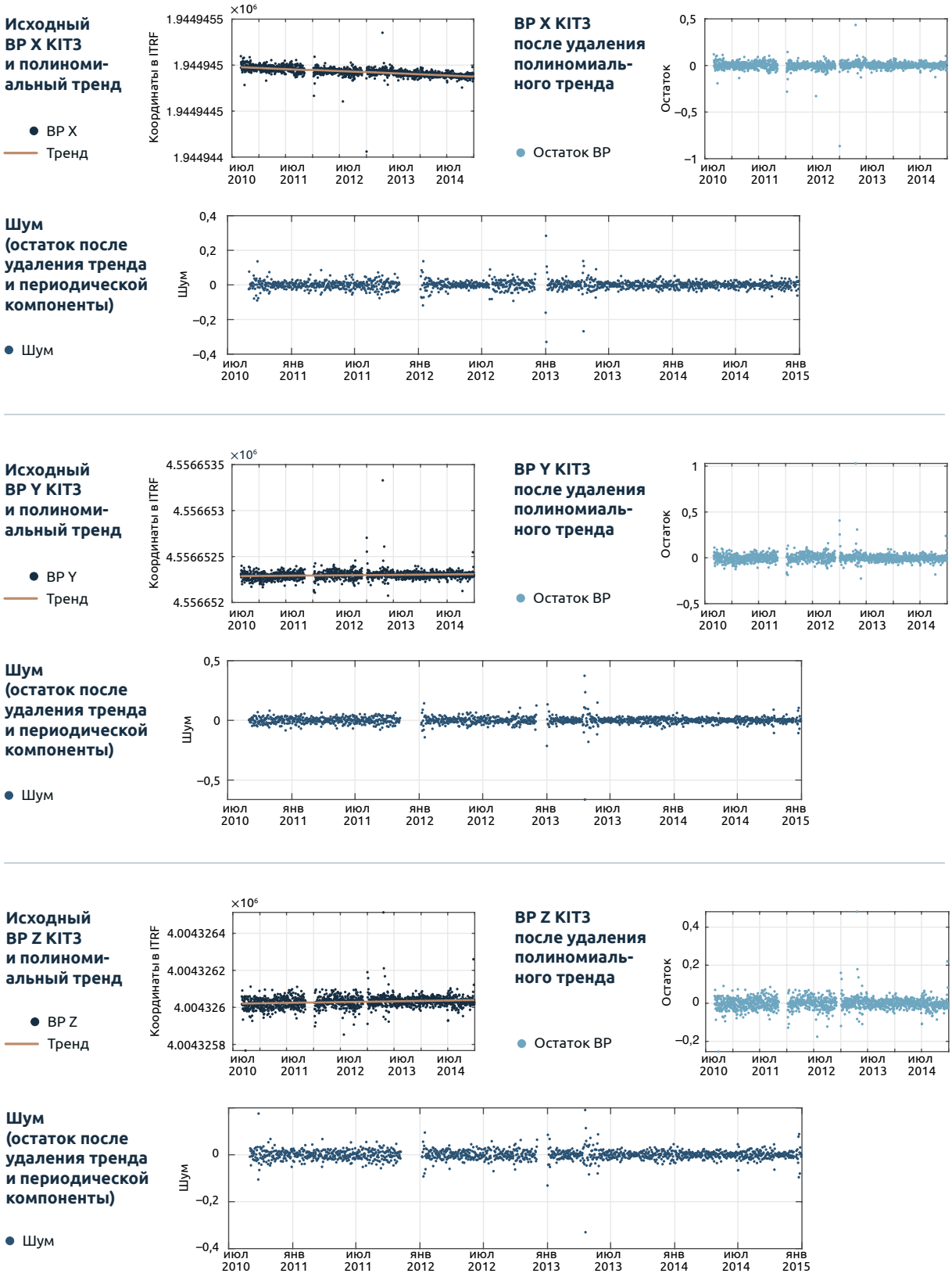


Рис. 5 Декомпозиция компонент временных рядов станции KIT3

Fig. 5 Decomposition of the time series components of the KIT3 station



Временной ряд для станции MANM (**рис. 6**) почти не содержит пропусков измерений, для координаты X тренд постепенно уменьшается, для координаты Y — остается практически постоянным, для координаты Z — увеличивается. Декомпозиция компонент временных рядов станции приведена на **рис. 7**.

Рис. 6 Анализ временного ряда станции MANM за период с 2010 по 2014 г.

Fig. 6 Time series analysis of the MANM station for the period from 2010 to 2014

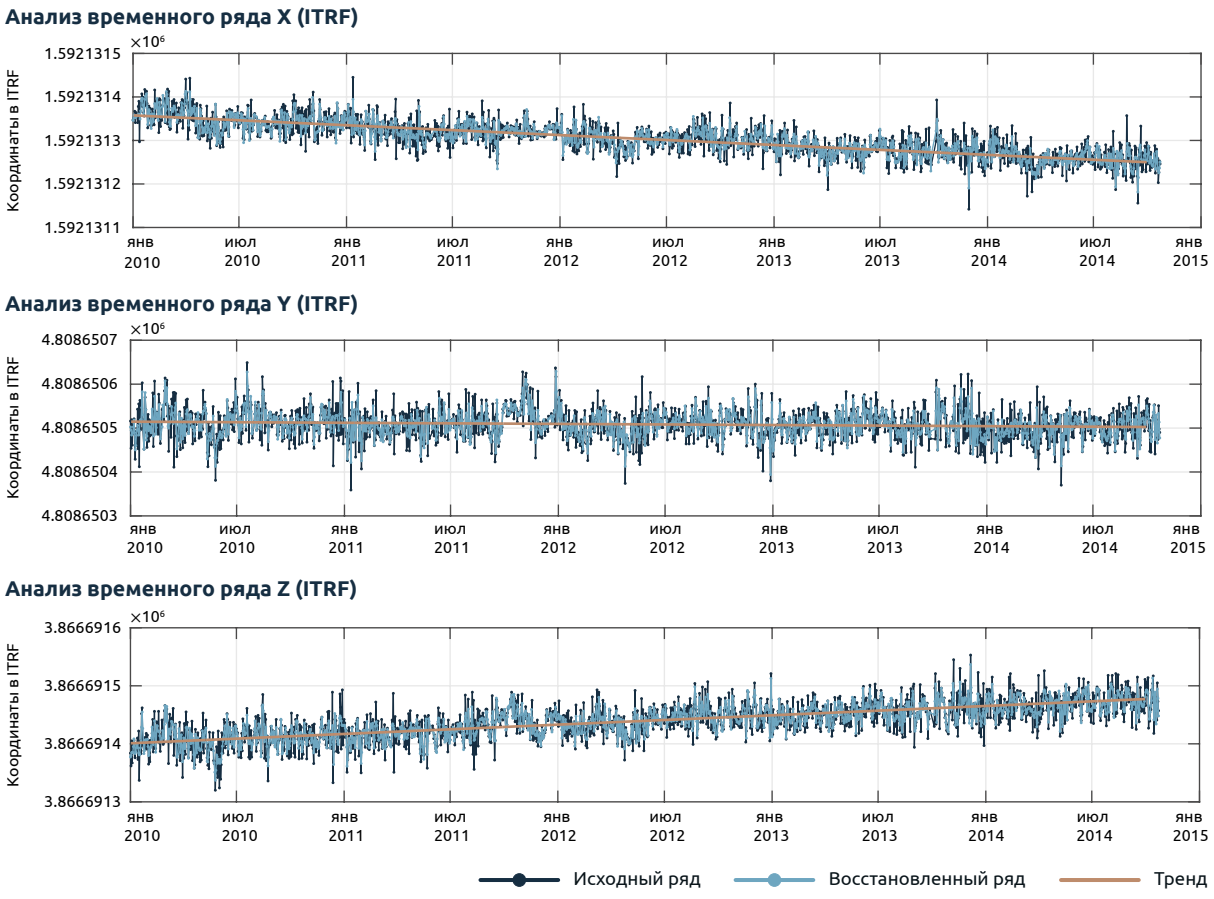
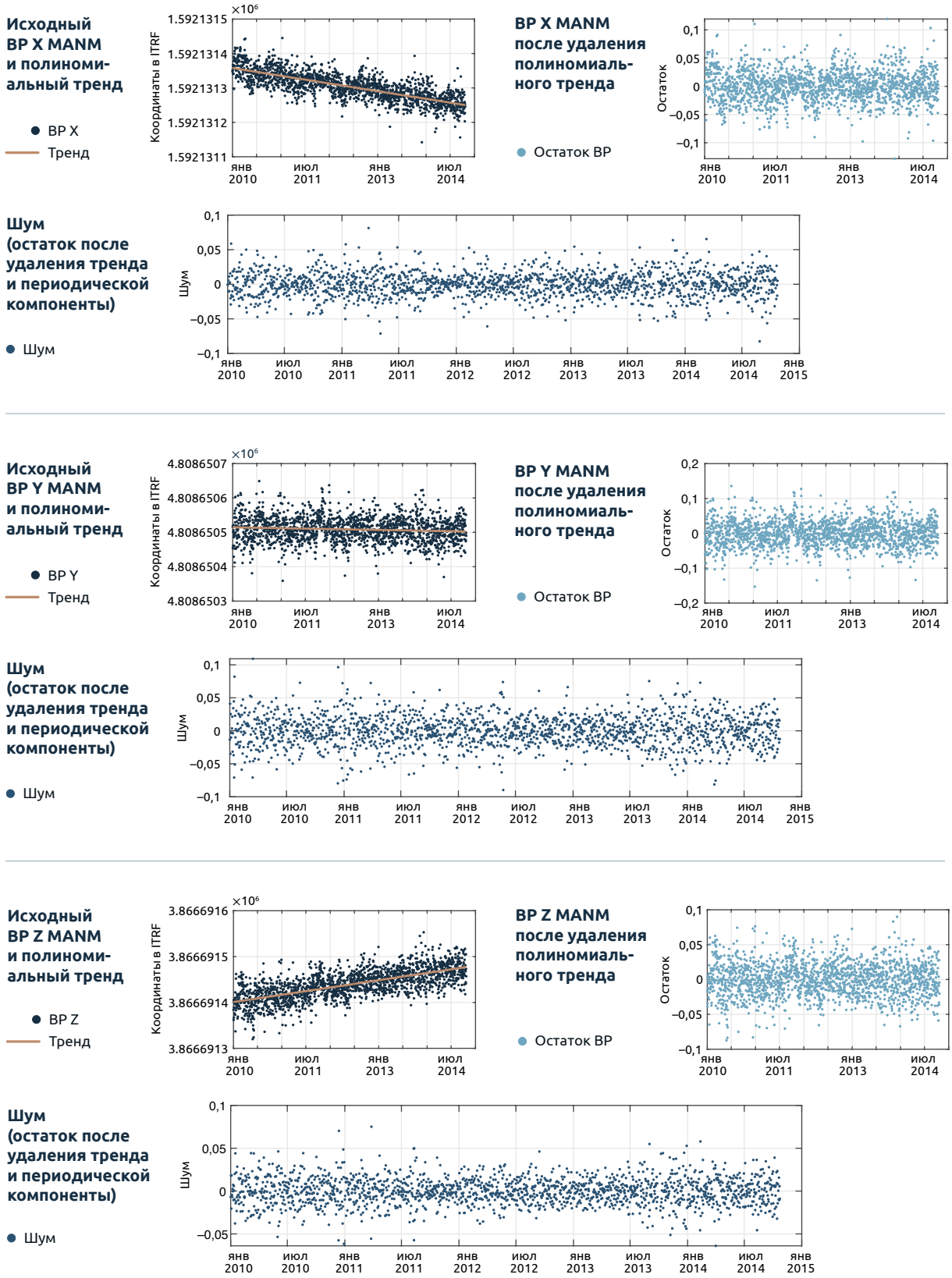


Рис. 7 Декомпозиция компонент временных рядов станции MANM

Fig. 7 Decomposition of the time series components of the MANM station



Для станции OSHK (**рис. 8**) наблюдается скачкообразное изменение всех трех координат на более чем 10 см, что также повлияло и на тренд. Чтобы дать объяснение скачкообразному изменению ряда, необходимо провести дополнительные исследования. Декомпозиция компонент временных рядов станции приведена на **рис. 9**.

Рис. 8 Анализ временного ряда станции OSHK за период с 2010 по 2014 г.

Fig. 8 Time series analysis of the OSHK station for the period from 2010 to 2014

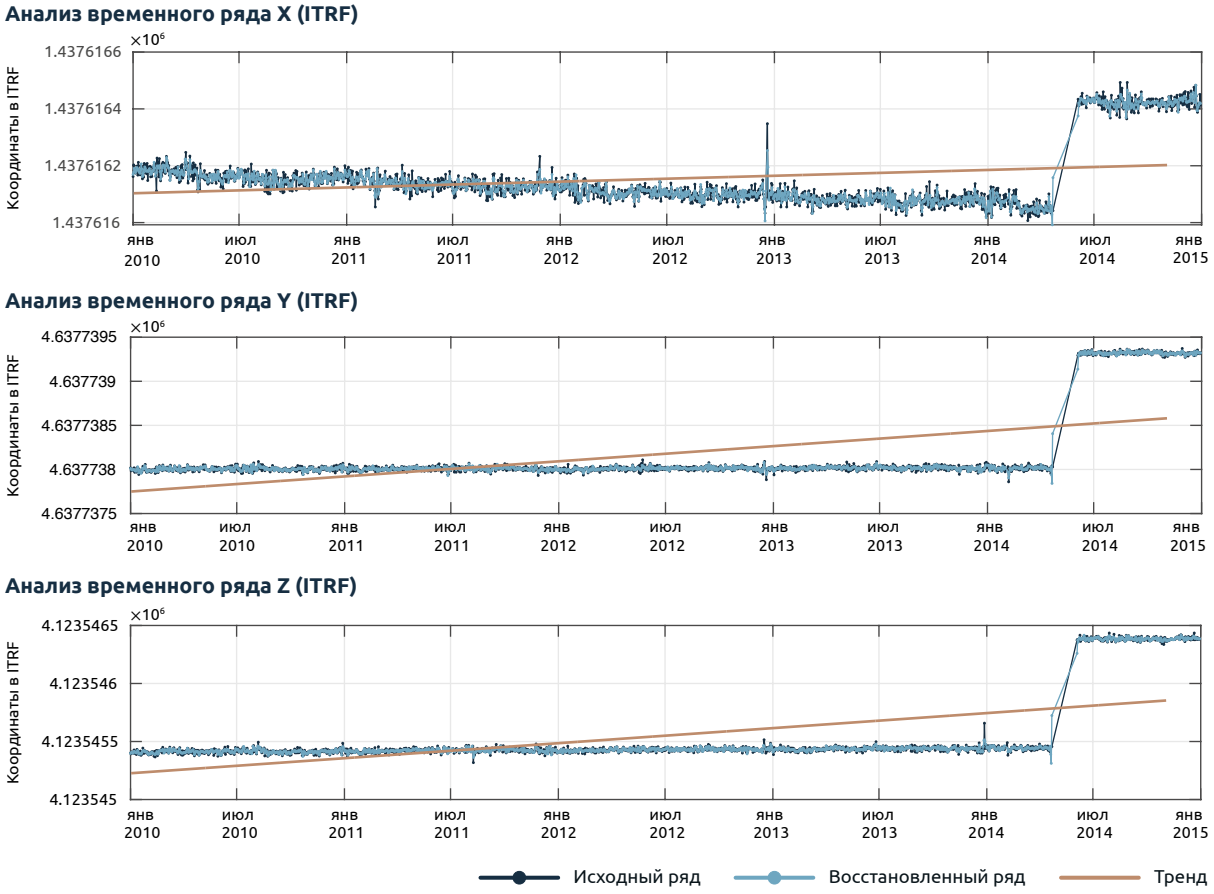
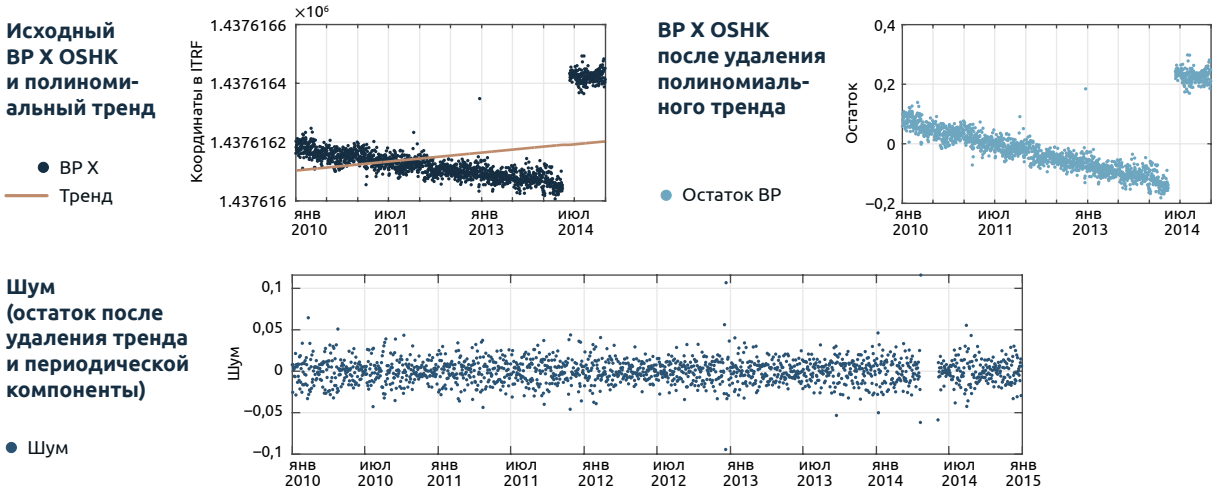
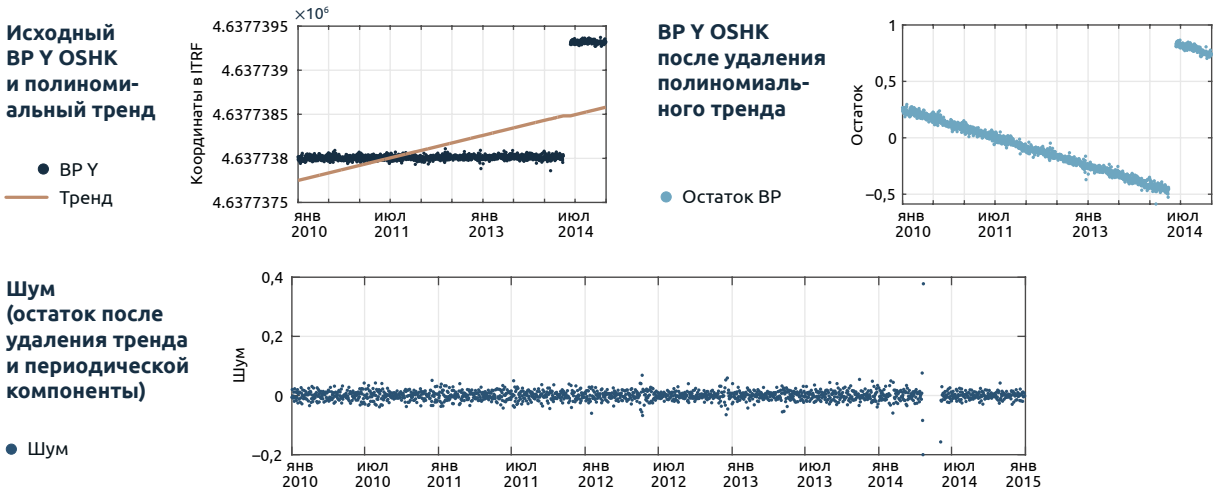
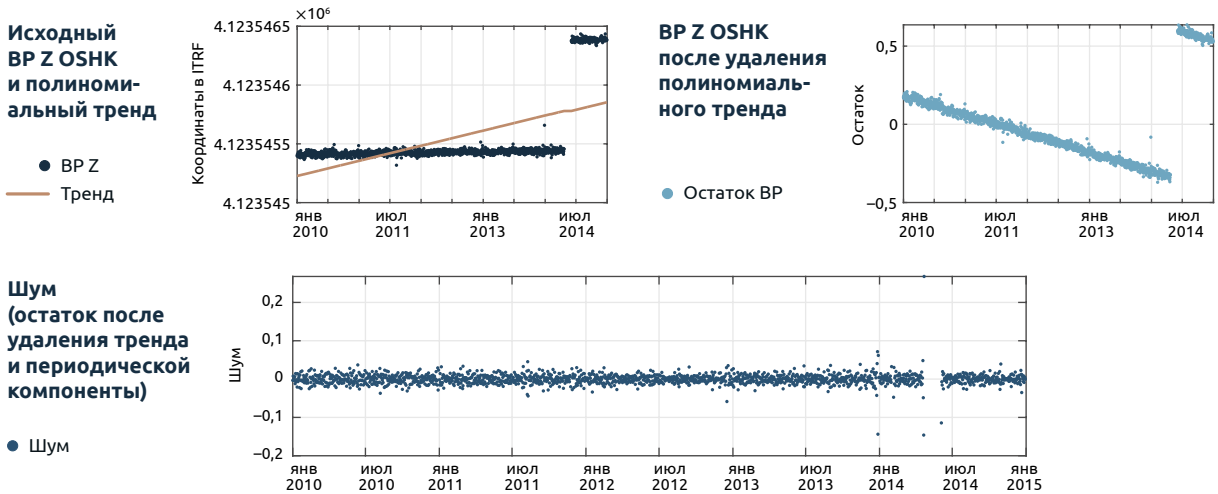


Рис. 9 Декомпозиция компонент временных рядов станции OSHK

Fig. 9 Decomposition of the time series components of the OSHK station







Станция SHTZ (**рис. 10**) не производила измерения (несколько месяцев первой половины 2013 года). Для координаты X наблюдается уменьшающийся тренд, для двух остальных координат — медленно увеличивающиеся тренды. Декомпозиция компонент временных рядов станции приведена на **рис. 11**.

Рис. 10 Анализ временного ряда станции SHTZ за период с 2010 по 2014 г.

Fig. 10 Time series analysis of the SHTZ station for the period from 2010 to 2014

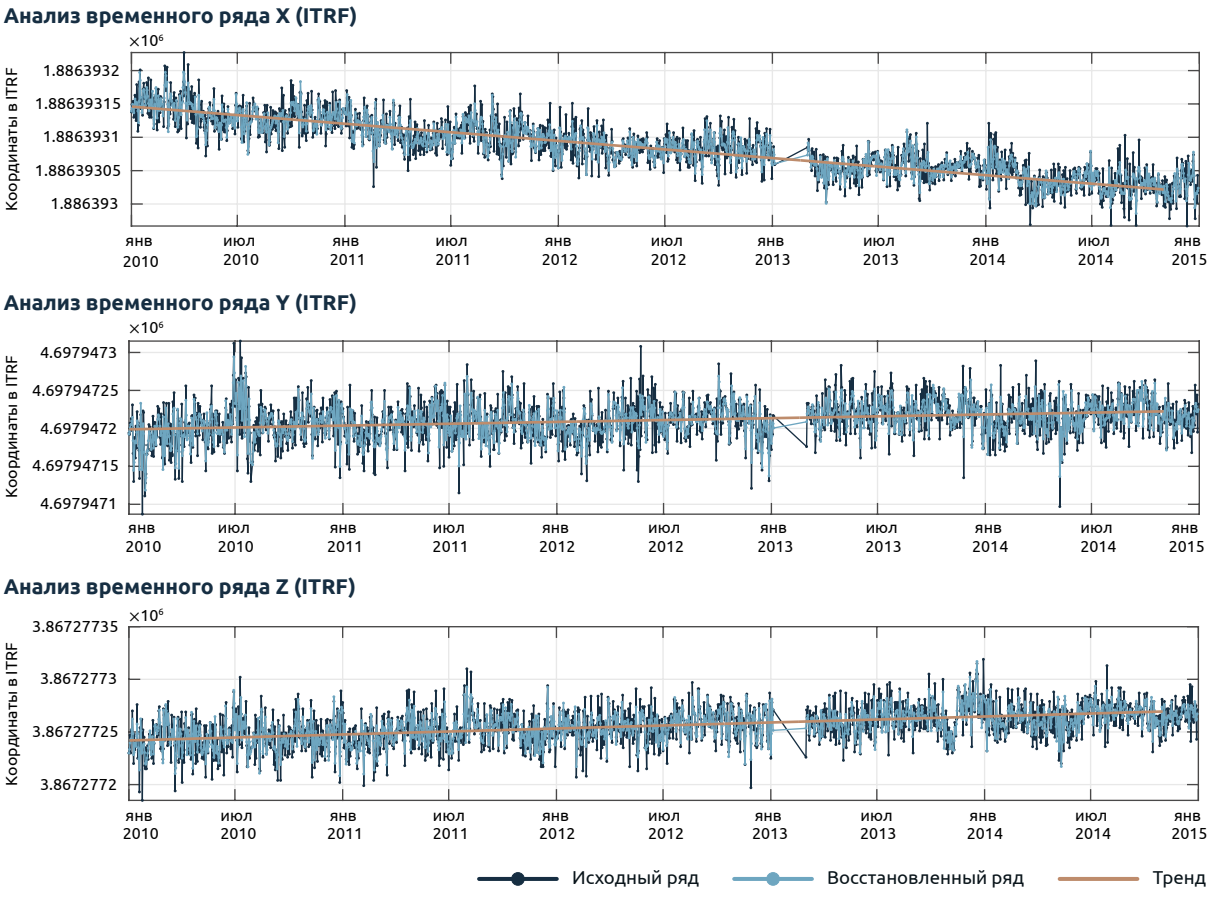
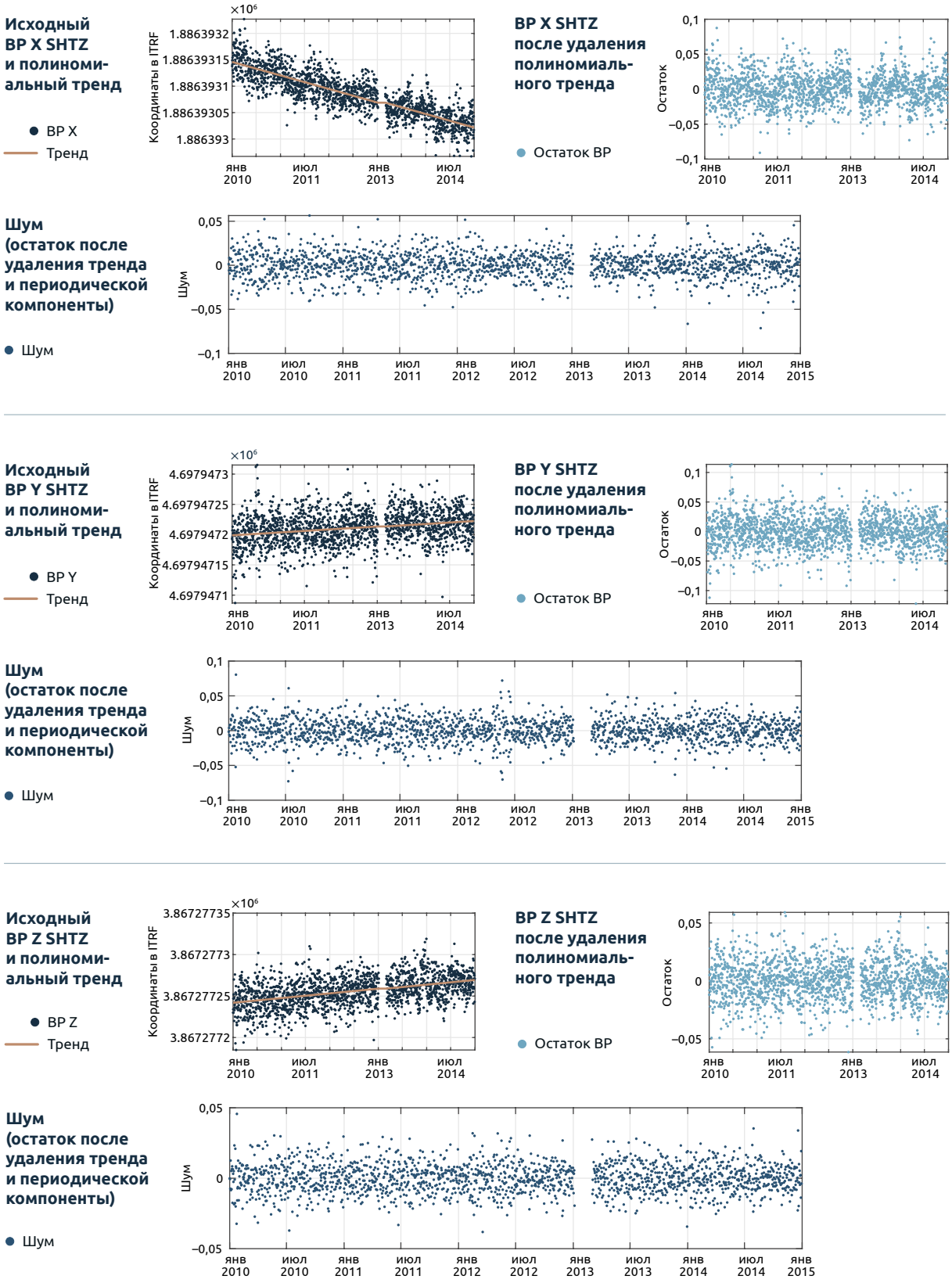


Рис. 11 Декомпозиция компонент временных рядов станции SHTZ

Fig. 11 Decomposition of the time series components of the SHTZ station



Станция TASH, расположенная в Ташкенте, показала примерно такие же результаты (**рис. 12**), что и станции SHTZ, MANM, GARM. Для координаты X тренд быстро уменьшается, для Y и Z — медленно увеличивается. Декомпозиция компонент временных рядов станции приведена на **рис. 13**.

Рис. 12 Анализ временного ряда станции TASH за период с 2010 по 2014 г.

Fig. 12 Time series analysis of the TASH station for the period from 2010 to 2014

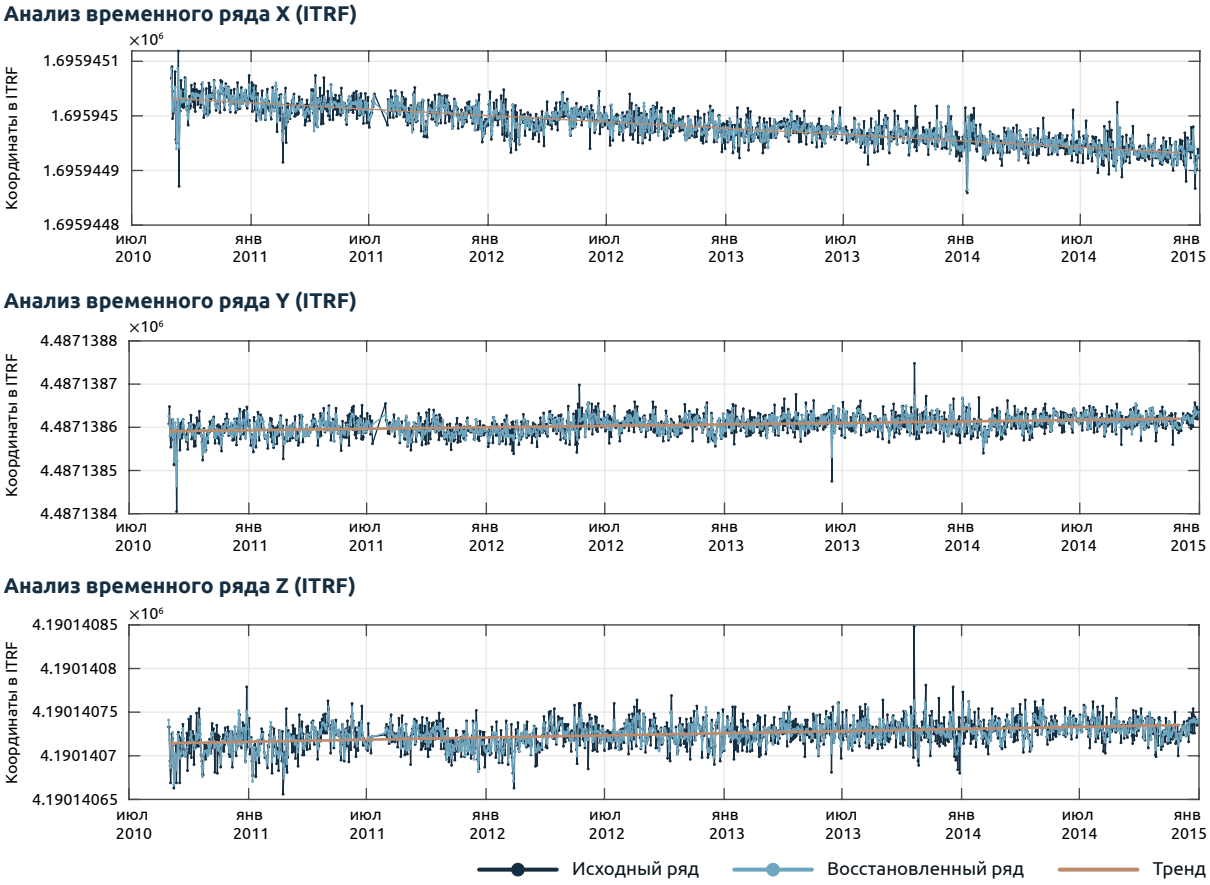
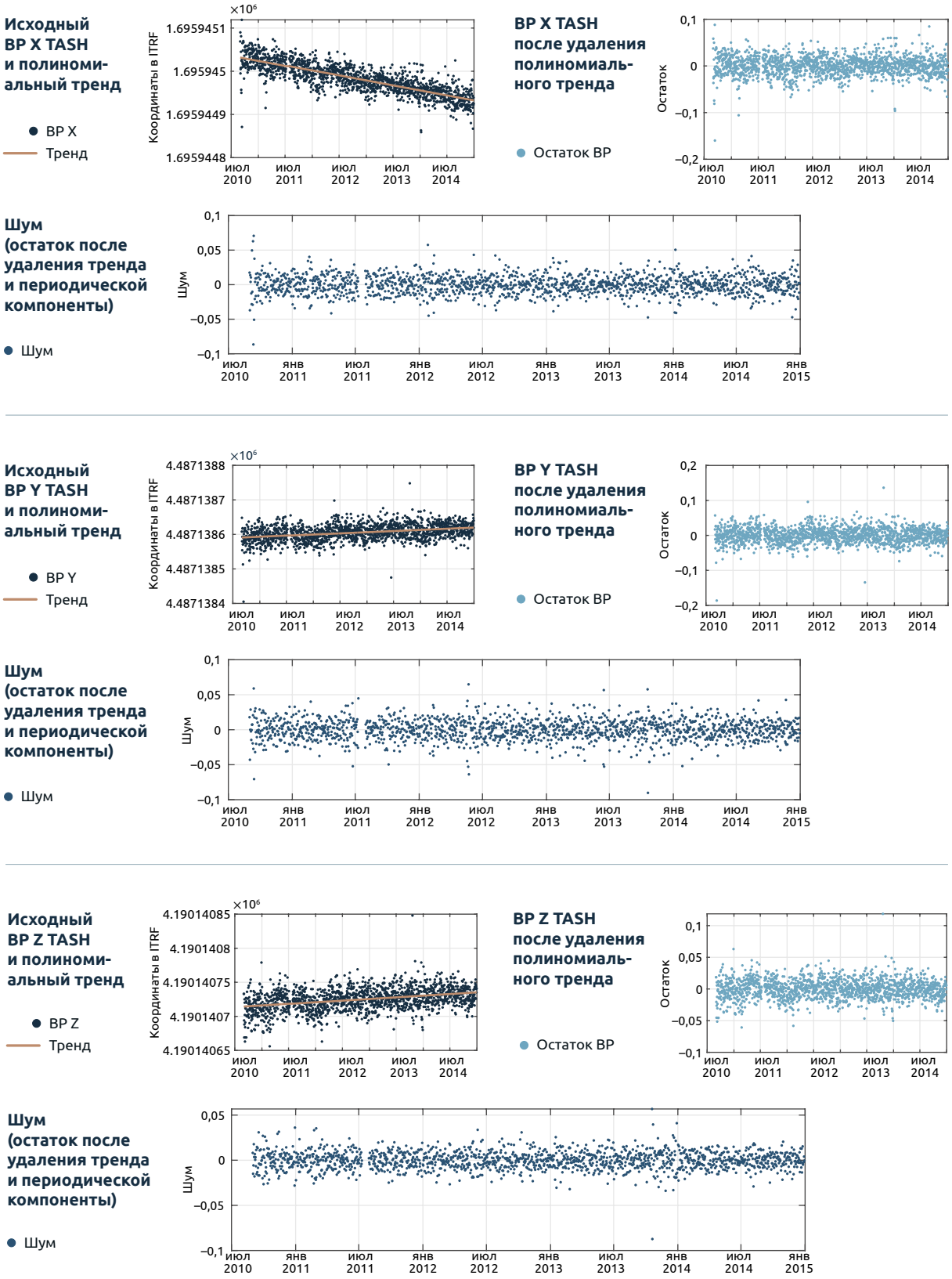


Рис. 13 Декомпозиция компонент временных рядов станции TASH

Fig. 13 Decomposition of the time series components of the TASH station



4 Выводы

Для анализа временных рядов была применена аддитивная модель, включающая в себя разделения временного ряда на компоненты. В статье не приведены графики распределения случайных величин в ряду. Здесь случайным распределением или шумом будет разность исходного ряда, восстановленного и тренда (темно-синий график – голубой график – тренд = случайное распределение или шум). Целью был анализ (разделение на компоненты) временного ряда, и она была достигнута.

Общая картина у пяти станций примерно одинаковая, тренд у них либо увеличивается, либо уменьшается, а в некоторых случаях сохраняется постоянным. Лишь у одной станции — OSHK (расположенной в городе Оше) — наблюдаются аномалии в виде скачкообразного изменения всех трех координат на более чем 10 см.

Для исследования сейсмического фона по временным рядам нужно иметь необходимые материалы по сейсмической активности, геологическому строению регионов, в которых расположены выбранные станции.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность доценту кафедры высшей геодезии МИИГАиК В.В. Попадьеву за ценные консультации.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Фазилова Д.Ш., Кузин С.П., Махмудов М.Д. Исследование основных компонент временных рядов изменения координат станций GNSS и DORIS в Китабе // Труды ИПА РАН. 2019. Вып. 49. С. 69–77. DOI:10.32876/ApplAstron.49.69-77.
2. Perović G. Least Squares: monograph. Belgrade: Faculty of Civil Engineering, 2005. 400 p.
3. Газизов Д.И. Обзор методов статистического анализа временных рядов и проблемы, возникающие при анализе нестационарных временных рядов // Научный журнал. 2016. Т. 3. № 4. С. 9–14.
4. Мандрикова О.В. Многокомпонентная модель временного ряда // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2008. № 7. С. 39–44.
5. Муллер Н.В., Младова Т.А. Комплексный анализ временных рядов с помощью фрактального и вейвлет-анализа // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. Т. 7. № 47. С. 20–25.
6. Рахманов А.С. Пост-обработка спутниковых наблюдений для выявления сейсмической активности локальных территорий в программе Glab // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 3. № 55. С. 79–84.

7. Trenberth K.E., Fasullo J., Smith L. Trend and variability in column integrated atmospheric water vapor // Climate Dynamics. 2005. Vol. 24. P. 741–758. DOI:10.1007/s00382-005-0017-4.
8. Попадьев В.В. Гармонический анализ горизонтальных движений точек земной поверхности в системе ITRF // Геодезия и картография. 2023. № 12. С. 10–16. DOI:10.22389/0016-7126-2023-1002-12-10-16.
9. Bin G.F., Gao J.J., Li X.J., et al. Early fault diagnosis of rotating machinery based on wavelet packets — Empirical mode decomposition feature extraction and neural network // Mechanical Systems and Signal Processing. 2012. Vol. 27. No. 1. P. 696–711. DOI:10.1016/j.ymssp.2011.08.002.
10. Golyandina N.E., Shlemov A.Yu. Variations of Singular Spectrum Analysis for separability improvement: non-orthogonal decompositions of time series // Statistics and its Interface. 2015. Vol. 8. No. 3. P. 277–294. DOI:10.4310/SII.2015.v8.n3.a3.

АВТОРЫ

Рахмонов Самандар Саматович
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра высшей геодезии, факультет геодезии
0000-0002-1687-0540

Рахманов Алиджон Саматович
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
астрономическая обсерватория, кафедра астрономии и космической геодезии, факультет геодезии
0000-0001-7015-4142

Поступила 24.04.2024. Принята к публикации 21.06.2024. Опубликована 28.06.2024.

UDC 528.2
DOI:10.30533/scidata-2024-15-11

CC BY

Investigation of time series of several stations obtained from processing RINEX files

Samandar S. Rakhmonov[1], Alidzhon S. Rakhmanov[1]

AFFILIATIONS

[1] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
rahmonov_samandar@inbox.ru

CITATION

Rakhmonov SS, Rakhmanov AS. Investigation of time series of several stations obtained from processing RINEX files. *Spatial Data: science, research and technology*. 2024;15(2): 59–83. DOI:10.30533/scidata-2024-15-11.

KEYWORDS

time series, time series analysis, satellite measurement processing, seasonal effects, periodic effects, adaptive analysis, GNSS Laboratory (gLAB), MATLAB, trend function, additive model

ABSTRACT

Accumulated observations, such as natural phenomena or effects, over a long period of time become good material for studying the nature of these phenomena. In our case, the accumulated satellite measurements of several stations obtained from the EarthScope Consortium (UNAVCO) are considered. These measurements were processed in gLAB using the PPP method (precise point positioning), then their analysis was performed using numerical methods in MATLAB. To analyze time series, it is necessary to select models in such a way that they are adequate – this is an important requirement for their selection, otherwise the results may not be correct. It is important to know in advance or determine the significant characteristics of the time series, which will be the expectation and variance. Based on these two characteristics,

a conclusion is made about the type of series and then the model is selected. For stationary series (if expectation and variance are constant) and non-stationary (expectation and variance change over time), there are groups of models applied to a certain type of time series. There are universal models (wavelet decomposition, singular spectral analysis, etc.), they can be used to analyze both stationary and non-stationary series.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to Associate Professor of the Department of Higher Geodesy, Moscow State University of Geodesy and Cartography, V.V. Popadyev for valuable advice.

REFERENCES

1. Fazilova DSh, Kuzin SP, Makhmudov MD. Issledovanie osnovnyh komponent vremennyh rjadov izmenenija koordinat stancij GNSS i DORIS v Kitabe [Time Series of Changes in the Coordinates of the GNSS and DORIS Stations in Kitab: investigation of the main components]. ***Transactions of IAA RAS.*** 2019;49: 69–77. (In Russian). DOI:10.32876/ApplAstron.49.69-77.
2. Perović G. ***Least Squares: monograph.*** Belgrade: Faculty of Civil Engineering; 2005. 400 p.
3. Gazizov DI. Obzor metodov statisticheskogo analiza vremennyh rjadov i problemy, voznikajushhie pri analize nestacionarnyh vremennyh rjadov [Review of methods of statistical analysis of time series and problems arising in the analysis of non-stationary time series]. ***Scientific Journal***. 2016;3(4): 9–14. (In Russian).
4. Mandrikova OV. Mnogokomponentnaya model' vremennogo ryada [A multicomponent time series model]. ***Bulletin of Kamchatka State Technical University***. 2008;7: 39–44. (In Russian).
5. Muller NV, Mladova TA. Kompleksnyj analiz vremennyh rjadov s pomoshh'ju fraktal'nogo i vejvlet-analiza [The complex analysis of time series using fractal and wavelet analysis]. ***Scientific Notes of Komsomolsk-On-Amour State Technical University***. 2020;7(47): 20–25. (In Russian).
6. Rakhmanov AS. Post-obrabotka sputnikovyh nabljudenij dlja vyjavlenija sejsmicheskoj aktivnosti lokal'nyh territorij v programme Glab [Post-processing of satellite observations to detect the seismic activity of local territories in the glab software]. ***Polytechnic bulletin. Series: engineering studies***. 2021;3(55): 79–84. (In Russian).
7. Trenberth KE, Fasullo J, Smith L. Trend and variability in column integrated atmospheric water vapor. ***Climate Dynamics***. 2005;24: 741–758. DOI:10.1007/s00382-005-0017-4.
8. Popadyev VV. Garmonicheskij analiz gorizontal'nyh dvizhenij tochek zemnoj poverhnosti v sisteme ITRF [Harmonic analysis of the earth's surface points' horizontal movements in the ITRF]. ***Geodesy and cartography.*** 2023;84(12): 10–16. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2023-1002-12-10-16.
9. Bin GF, Gao JJ, Li XJ, et al. Early fault diagnosis of rotating machinery based on wavelet packets — Empirical mode decomposition feature extraction and neural

network. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2012;27(1): 696–711. DOI:10.1016/j.ymssp.2011.08.002.

10. Golyandina NE, Shlemov AYu. Variations of Singular Spectrum Analysis for separability improvement: non-orthogonal decompositions of time series. *Statistics and its Interface*. 2015;8(3): 277–294. (In Russian). DOI:10.4310/SII.2015.v8.n3.a3.

AUTHORS

Samandar S. Rakhmonov
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of High Geodesy, Faculty of Geodesy
0000-0002-1687-0540

Alidzhon S. Rakhmanov
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Astronomical Observatory, Department of Astronomy and Space Geodesy, Faculty of Geodesy
0000-0001-7015-4142

Submitted: April 24, 2024. Accepted: June 21, 2024. Published: June 28, 2024.

УДК 528.7, 528.8
DOI:10.30533/scidata-2024-15-08

CC BY

Сравнение эффективности оптических данных со спутников дистанционного зондирования PlanetScope, Landsat 8 и Sentinel-2 для классификации типов землепользования на примере г. Мендеферы

Сереке Темесген Эйяссу[1,2] ✉, В.В. Братков[1]

АФФИЛИАЦИИ

[1] Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
[2] Колледж бизнеса и социальных наук, Ади Кейх, Эритрея
✉ temesghensereke@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ

Сереке Т.Э., Братков В.В. Сравнение эффективности оптических данных со спутников дистанционного зондирования PlanetScope, Landsat 8 и Sentinel-2 для классификации типов землепользования на примере г. Мендеферы // Пространственные данные: наука и технологии. 2024. Т. 15. № 2. С. 84–98. DOI:10.30533/scidata-2024-15-08.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

землепользование и наземный покров (LULC), алгоритм опорных векторов (SVM), коэффициент каппа Коэна, общая точность

АННОТАЦИЯ

Правильный выбор оптических данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) с использованием соответствующих методов повышает точность классификации землепользования и наземного покрова (Land Use and Land Cover — LULC). В исследовании использовался подход к классификации LULC в городе Мендефере в Эритрее на основе пикселей с алгоритмом опорных векторов (SVM) для оценки эффективности оптических данных спутников ДЗЗ PlanetScope, Landsat 8 и Sentinel-2. Дополнительные данные, такие как DEM,

NDVI и уклон, были включены в комбинацию с композитными диапазонами при создании обучающих образцов для повышения точности классификации. Для всех карт было применено сглаживание после классификации. Для оценки точности использовались аэрофотоснимки высокого пространственного разрешения, а также изображения Google Earth. Были созданы четыре класса LULC: «Сельскохозяйственные земли, используемые для животноводства», «Древесная растительность», «Застроенная территория» и «Сельскохозяйственные земли, используемые для земледелия». Общая точность составила 89, 92 и 93 % для Landsat 8, PlanetScope и Sentinel-2 соответственно (коэффициент каппа Коэна — 85, 88 и 90 % соответственно). Результат показал, что Sentinel-2 работает для исследуемой территории сравнительно лучше, чем два других спутника.

1 Введение

Наличие адекватной и точной информации LULC имеет важное значение для различных видов земельного планирования, мониторинга земельных ресурсов и управления ими [1–3]. Термины «наземный покров» и «землепользование» иногда используются как взаимозаменяемые, но они существенно различаются. Первый относится к биологическим и физическим характеристикам земной поверхности, второй — к тому, как люди используют ресурсы земли и среду обитания для различных видов деятельности [4]. Поэтому физическая часть — это наземный покров, а часть, подверженная влиянию человеческой деятельности, называется землепользованием.

В настоящее время для определения пространственно-временных характеристик LULC используются дистанционное зондирование и ГИС благодаря их эффективности, надежности и низкой стоимости. За последние несколько десятилетий были разработаны различные датчики для обнаружения удаленных территорий, такие как MSS, TM, ETM+ и OLI_TRS в Landsat, MSI в Sentinel-2, датчики в SPOT, MODIS, PlanetScope, Rapid Eye и др. Только датчики спутника Landsat предоставляют информацию о Земле с 1972 года. С момента появления датчиков аналитики и исследователи разрабатывали различные стратегии и инновации, чтобы извлечь желаемые данные из информации, полученной дистанционно. Значительный объем информации (в основном с улучшенным временным и пространственным разрешением) имеет особое значение для картирования LULC [5]. Оптическое дистанционное зондирование сыграло колоссальную роль в определении характеристик LULC и мониторинге взаимодействия природы и деятельности человека.

Для классификации LULC по спутниковым снимкам используются различные подходы (контролируемый и неконтролируемый [1]) и методы (попиксельный, субпиксельный, полевой и объектный [6]). За последние несколько десятилетий

был создан ряд карт для идентификации землепользования с использованием пиксельного или объектного подхода. В данной работе применялась пиксельная классификация под наблюдением.

Кроме того, существуют различные алгоритмы классификации для обнаружения и картирования LULC, а именно: Maximum Likelihood (ML) [7–9], Minimum Distance и Deep Transfer [7], Parallelepiped [7, 8], Random Forest (RF) [7, 9], Support Vector Machine (SVM) [7, 9, 10], Classification and Regression Trees (CART) [9], Artificial Neural Network [5], Fuzzy Classification [10]. В каждой из статей был выбран подходящий алгоритм с максимальным значением точности. Таким образом, выбор подходящего алгоритма — это лучший способ классифицировать исследуемую территорию на различные классы с максимальной точностью. В данной работе использован алгоритм SVM для распределения исследуемых территорий по четырем категориям.

Для составления подходящего алгоритма классификации LULC было проведено несколько исследований. SVM имеет более высокую точность классификации, чем другие широко используемые методы, такие как классификаторы максимального правдоподобия и нейронные сети [11]. Обзор литературы показал, что SVM обладает наивысшей общей точностью и коэффициентом каппа Коэна. Например, в исследовании, проведенном Хашимом (H. Hashim) и другими [12], он показал лучшие результаты, чем метод максимального правдоподобия. Кроме того, Башир (S. Basheer) и соавторы [13] доказали, что алгоритм SVM в ArcGIS Pro и Google Earth Engine имеет лучшую производительность по сравнению с RF и ML, а также проанализировали исследуемую территорию с помощью различных датчиков, и результаты, полученные с помощью Sentinel-2, показали более высокую общую точность и коэффициент каппа Коэна. В исследовании, которое провели Валеро Медина и Альсате Атеортуа (J.A. Valero Medina, B.E. Alzate Atehortúa) [14], SVM также получил самые высокие значения по сравнению с двумя другими алгоритмами. В работе Кадира (S. Kadir) и соавторов [15] SVM показал высокую точность по сравнению с максимальным правдоподобием.

Обзор литературы и исследование интересующей области с помощью различных алгоритмов показали целесообразность применения SVM для классификации. **Однако классификация изображений с использованием данных ДЗЗ — это сложный процесс, который включает в себя следующие этапы:**

1) определение подходящей системы классификации;
2) предварительную обработку изображений;
3) выбор обучающих образцов;
4) выбор подходов к классификации;
5) постклассификационную обработку;
6) оценку точности [1].

Требовалось сравнить эффективность различных оптических данных дистанционного зондирования для классификации LULC с помощью SVM. Исследование

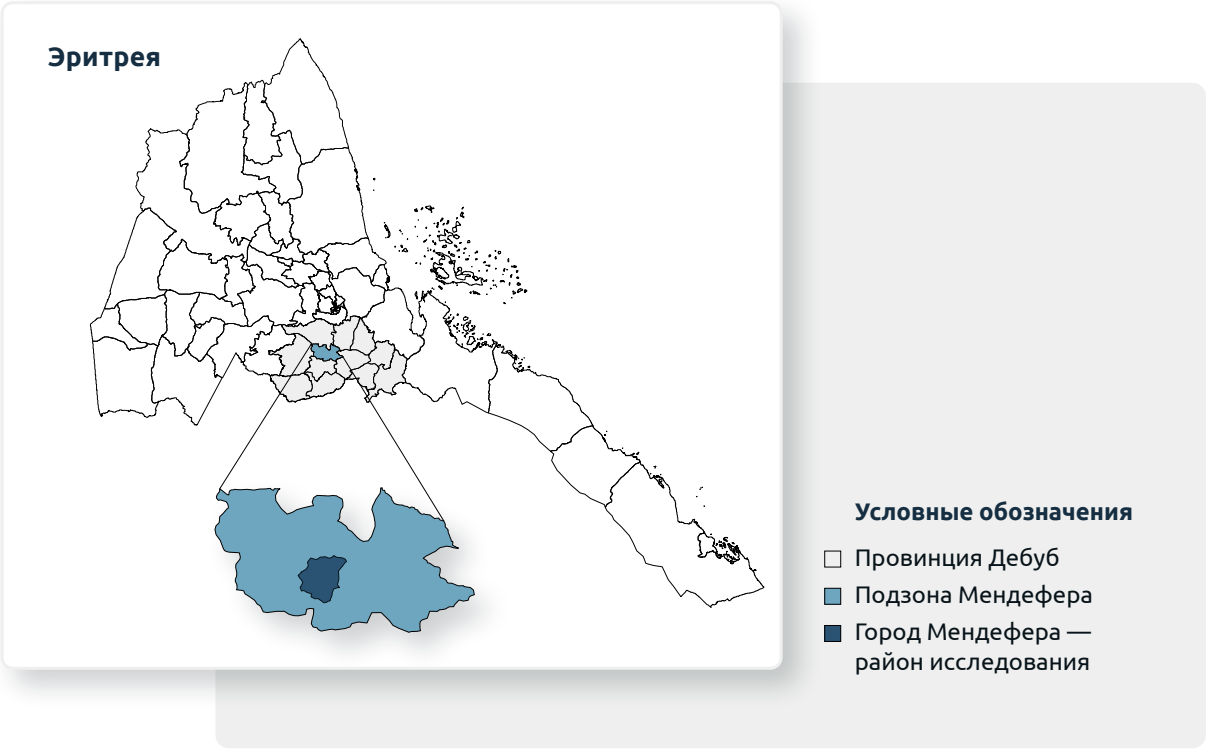
проводилось в городе Мендефере (**рис. 1**), где различные проекты и фонды правительственных и неправительственных организаций сыграли огромную роль в преобразовании LULC.

Основной целью настоящего исследования является сравнение производительности Landsat 8, PlanetScope и Sentinel-2 для классификации LULC на 4 категории с помощью алгоритма SVM для города Мендеферы в Эритрее. **Для этого необходимо решить следующие задачи:**

- классификация LULC города Мендеферы с помощью алгоритма SVM для снимков Landsat 8, PlanetScope и Sentinel-2;
- сглаживание после классификации;
- оценка общей точности и коэффициента каппа Коэна классификации;
- сравнение характеристик трех оптических спутниковых снимков;
- вывод из выполнения оценки точности.

Рис. 1 Расположение исследуемой территории

Fig. 1 Location of the Study Area



2 Материалы и методы

2.1 Район исследования

Мендефера относится к древним эритрейским городам, является столицей провинции Дебуб и подзоны Мендеферы, расположенных в южной части страны вдоль дороги Асмара — Ади-Куала. Географические координаты района исследования: 14°53'8'' с.ш., 38°48'59" в.д. Общая площадь города составляет около 2 538 га, население – около 30 000 человек. Это самый густонаселенный город в подзоне Мендефере. Городское население участвует в различных видах экономической деятельности. Большинство занято в торговле и сфере услуг, часть жителей занимается смешанным сельским хозяйством и животноводством (выращивают такие культуры, как тефф, кукуруза, сорго, просо, нут, коровий горох и чечевица, разводят домашний скот — коз, овец, коров, ослов и верблюдов).

2.2 Данные и методология

Съемка Combination-2 Level-2 Landsat 8 OLI_TRI с WRS path 169, row 50, с пространственным разрешением 30 м и 11 каналами была получена с сайта Геологической службы США[1]. PlanetScope с разрешением 3 м был загружен с сайта Planet Labs[2], Sentinel-2 с разрешением 10 м и 13 каналами — с сайта европейской программы «Коперник»[3]. Все оптические данные дистанционного зондирования были получены на 2022 год. Векторный слой для исследуемой территории был извлечен из файла формы страны. Использовалась также ЦМР ASTER. Все пространственные данные были спроецированы в глобальную зону WGS 84 UTM 37. Для предварительной обработки применялась программа ENVI 5.3, а для классификации изображений — ArcMap 10.8.2. Общая методология и процедуры обработки изображений, классификации LULC на основе пикселей, использованные в данном исследовании, представлены в блок-схеме на **рис. 2**.

1 EarthExplorer USGS. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://earthexplorer.usgs.gov (дата обращения: 10.04.2024).

2 Planet Explorer. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.planet.com/explorer (дата обращения: 10.04.2024).

3 Copernicus Data Space Ecosystem. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dataspace.copernicus.eu (дата обращения: 10.04.2024).

Рис. 2 Блок-схема с перечнем процедур для обработки снимков

Fig. 2 Flow chart showing the procedures for analyzing the satellite images



2.3 Классификация LULC

В исследовании использовалась схема классификации LULC, предложенная AfriCover [16]. Общие классы LULC на исследуемой территории и их упрощенные объяснения приведены в **табл. 1**.

Таблица 1 Классификация схем для района исследования
Table 1 Classification schemes of the study area

Классы LULC		Упрощенное объяснение на основе MoLWE-DoL (департамент труда Министерства труда и благосостояния человека Эритреи)
0	Сельскохозяйственные земли, используемые для животноводства	Территория, оставленная под пар, выпас скота и другие цели
1	Древесная растительность	Сезонно-влажные леса, посадки деревьев и кустарников
2	Застроенная территория	Промышленная, коммерческая и общественная застройка; транспорт (дороги) и другие застроенные территории
3	Сельскохозяйственные земли, используемые для земледелия	Богарное земледелие и ирригация

2.4 Обработка изображений

Обработка изображений играет важную роль в их классификации. В данной работе для распределения спутниковых снимков по различным категориям использовалась классификация изображений по пикселям с помощью SVM-классификатора. Итак, спутниковые снимки для исследуемой территории площадью около 2536 га были получены с Landsat 8, PlanetScope и Sentinel-2 на 2022 год. Обработка изображений — это классификация пикселей по отдельным классам или категориям данных на основе их значений в файле данных. Если пиксель удовлетворяет определенному набору критериев, то он относится к классу, соответствующему критериям. В процессе классификации изображений использовались дополнительные данные вместе с композитными диапазонами для выбора и создания обучающих образцов. Кроме того, классифицированные изображения были обработаны для постклассификационного сглаживания.

2.5 Оценка точности

Классификация землепользования с применением геопространственных технологий без оценки точности является неполной. В данном исследовании общая точность и коэффициент каппа Коэна были задействованы для оценки производительности и точности классификации изображений с применением механизма наземной истины. Для оценки точности классификации использовалась матрица смешения. Она сравнивает классифицированные объекты с данными проверки наземной истины. После этого в ArcGIS 10.8.2 были автоматически рассчитаны точность пользователя, точность производителя, общая точность и коэффициент каппа Коэна. Для Landsat 8 методом стратифицированной случайной выборки в ArcMap было создано 576 точек точности тренировочной выборки, которые сравнивались с реальным снимком Земли с помощью Google Earth Pro. Кроме того, для PlanetScope и Sentinel-2 в ArcMap были созданы 301 и 517 точек точности соответственно.

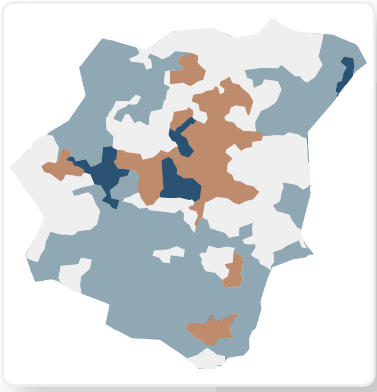
3 Результаты и обсуждение

Три изображения, созданные в результате попиксельной классификации с использованием алгоритма SVM для исследуемой территории, показаны на **рис. 3**. Матрица смешения была рассчитана для всех трех спутниковых снимков, и сравнительный анализ проводился на основе общей точности и коэффициента каппа Коэна.

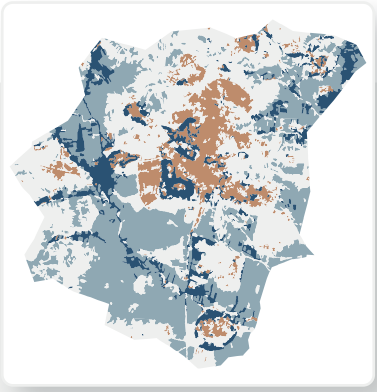
Рис. 3 Классы LULC исследуемой территории

Fig. 3 Land use land cover classes of the study area

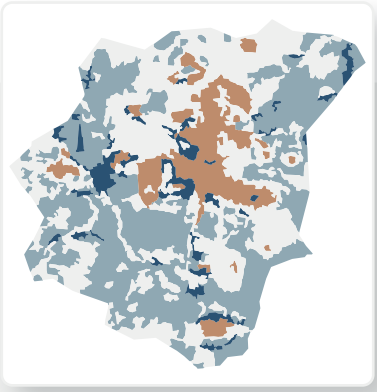
Классификация LULC с помощью алгоритма SVM на основе Landsat 8



Классификация LULC с помощью алгоритма SVM на основе PlanetScope



Классификация LULC с помощью алгоритма SVM на основе Sentinel-2



Условные обозначения

- 0 — сельскохозяйственные земли, используемые для животноводства
- 1 — древесная растительность
- 2 — застроенная территория
- 3 — сельскохозяйственные земли, используемые для земледелия

Категории LULC были определены как «Сельскохозяйственные земли, используемые для животноводства», «Древесная растительность», «Застроенная территория» и «Сельскохозяйственные земли, используемые для земледелия».

Статистические показатели точности производителей и пользователей представлены в **табл. 2–4** (0 — сельскохозяйственные земли, используемые для животноводства, 1 —древесная растительность, 2 — застроенная территория, 3 — сельскохозяйственные земли, используемые для земледелия).

Таблица 2 Матрица смешения для классификации изображений Landsat 8

Table 2 Confusion Matrix for classifying images of Landsat 8

i \ *j*	0	1	2	3	$\Sigma_{j=1}^{4} n_{ij}$	UA_i	Коэффициент каппа Коэна
0	196	1	6	9	212	0,92	
1	1	27	1	0	29	0,93	
2	5	6	115	0	126	0,91	
3	13	6	13	177	209	0,85	
$\Sigma_{i=1}^{4} n_{ij}$	215	40	135	186	$\sum n_{ij} = 576$		
PA_j	0,91	0,68	0,85	0,95		0,89	
Коэффициент каппа Коэна							0,85

Таблица 3 Матрица смешения для классификации изображений PlanetScope

Table 3 Confusion Matrix for classifying images of PlanetScope

i \ *j*	0	1	2	3	$\sum_{j=1}^{4} n_{ij}$	UA_i	Коэффициент каппа Коэна
0	120	0	4	3	127	0,94	
1	3	28	0	6	37	0,76	
2	2	0	33	0	35	0,94	
3	7	0	0	95	102	0,93	
$\sum_{i=1}^{4} n_{ij}$	132	28	37	104	$\sum n_{ij} = 301$		
PA_j	0,91	1,00	0,89	0,91		0,92	
Коэффициент каппа Коэна							0,88

Таблица 4 Матрица смешения для классификации изображений Sentinel-2

Table 4 Confusion Matrix for classifying images of Sentinel-2

i \ *j*	0	1	2	3	$\sum_{j=1}^{4} n_{ij}$	UA_i	Коэффициент каппа Коэна
0	197	3	2	7	209	0,94	
1	0	29	0	1	30	0,97	
2	3	1	57	0	61	0,93	
3	14	3	1	199	217	0,92	
$\sum_{i=1}^{4} n_{ij}$	214	37	62	217	$\sum n_{ij} = 517$		
PA_j	0,92	0,81	0,95	0,96		0,93	
Коэффициент каппа Коэна							0,90

Результаты матрицы путаницы рассчитываются автоматически с помощью ArcGIS desktop 10.8.2. Сначала случайным образом создаются выборочные точки для оценки точности. После этого они сверяются с Google Earth Pro и спутниковыми снимками высокого пространственного разрешения. После сверки точек с наземными истинными точками вычисляются результаты. Общая точность составила 89, 92 и 93 % для Landsat 8, PlanetScope и Sentinel-2 соответственно, коэффициент каппа Коэна — 85, 88 и 90 % соответственно. Кроме того, для карты, созданной на основе Landsat 8, наименьший результат точности пользователя показали сельскохозяйственные земли, используемые для земледелия, а для карты, созданной на основе PlanetScope, – древесная растительность. Самую высокую точность производителя для карты, полученной с помощью Landsat 8, имеют сельскохозяйственные земли, используемые для земледелия, а для PlanetScope — естественная растительность. Изучение результатов показало, что карты LULC, созданные с помощью Sentinel-2, продемонстрировали лучшие показатели, чем карты, созданные с помощью Landsat 8 и PlanetScope.

4 Выводы

В данном исследовании ГИС и дистанционное зондирование были применены для оценки эффективности пиксельного метода составления карт LULC на основе снимков Landsat 8, PlanetScope и Sentinel-2, полученных в 2022 году. В процессе обучения использовалась комбинация DEM, Slope, NDVI с композитными полосами. Кроме того, был применен алгоритм классификации под наблюдением, который представляет собой классификаторы SVM. После этого были построены карты сглаживания и карты землепользования исследуемой территории, а также создана матрица смешения. В результате исследования был сделан вывод, что карта LULC, созданная с помощью Sentinel-2, работает немного лучше, чем полученная посредством PlanetScope, и значительно лучше, чем карта на основе снимков Landsat 8.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Satir O., Berberoglu S. Land Use / Cover Classification Techniques Using Optical Remotely Sensed Data in Landscape Planning // Landscape planning / M. Özyavuz (ed.). IntechOpen, 2012. DOI:10.5772/31351.
2. Esfandeh S., Danehkar A., Salmanmahiny A., et al. Climate Change Risk of Urban Growth and Land Use / Land Cover Conversion: An In-Depth Review of the Recent Research in Iran // Sustainability. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 338. DOI:10.3390/su14010338.
3. Nasiri V., Deljouei A., Moradi F., et al. Land Use and Land Cover Mapping Using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A Comparison of Two Composition Methods // Remote Sens. 2022. Vol. 14. No. 9. P. 1977. DOI:10.3390/rs14091977.
4. Liping C., Yujun S., Saeed S. Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques — A case study of a hilly area, Jiangle, China // PLOS ONE. 2018. Vol. 13. No. 7. P. e0200493. DOI:10.1371/journal.pone.0200493.
5. Zeshan M.T., Mustafa M.R.U., Baig M.F. Monitoring Land Use Changes and their Future Prospects using GIS and ANN_CA for Perak River Basin, Malaysia // Water. 2021. Vol. 13. No. 16. P. 2286. DOI:10.3390/w13162286.
6. Araya Y.H., Hergarten C. A comparison of pixel and object-based land cover classification: A case study of the Asmara region, Eritrea // WIT Transactions on the Built Environment. 2008. Vol. 100. P. 233–243. DOI:10.2495/GEO080231.
7. Amini S., Saber M., Rabiei-Dastjerdi H., et al. Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series // Remote Sens. 2022. Vol. 14. No. 11. P. 2654. DOI:10.3390/rs14112654.
8. Nivedita Priyadarshini K., Kumar M., Rahaman S.A., et al. A Comparative Study of Advanced Land Use/Land Cover Classification Algorithms using Sentinel-2

Data // The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2018. Vol. XLII-5. P. 665–670. DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-5-665-2018.

9. Oo T.K., Arunrat N., Ussawarujikulchai A. Comparing Four Machine Learning Algorithms for Land Cover Classification in Gold Mining: A Case Study of Kyaukpahto Gold Mine, Northern Myanmar // Sustainability. 2022. Vol. 14. No. 17. P. 10754. DOI:0.3390/su141710754.
10. Muslim A.M., Razman N., Khalil I., et al. Evaluation of soft classification algorithm for sub-pixel mapping of the shoreline // 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Sydney, 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.isprs.org/proceedings/2011/isrse-34/211104015Final00287.pdf (дата обращения: 21.04.2024).
11. Melgani F., Bruzzone L. Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2004. Vol. 42. No. 8. P. 1778–1790. DOI:10.1109/TGRS.2004.831865.
12. Hashim H., Latif Z., Adnan N. Land Use Land Cover Analysis with Pixel-Based Classification Approach // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2019. Vol. 16. No. 3. P. 1327–1333. DOI:10.11591/ijeecs.v16.i3.pp1327-1333.
13. Basheer S., Wang X., Farooque A.A., et al. Comparison of Land Use Land Cover Classifiers Using Different Satellite Imagery and Machine Learning Techniques // Remote Sens. 2022. Vol. 14. No. 19. P. 4978. DOI:10.3390/rs14194978.
14. Valero Medina J.A., Alzate Atehortúa B.E. Comparison of maximum likelihood, support vector machines, and random forest techniques in satellite images classification // Tecnura. 2019. Vol. 23. No. 59. P. 13–26. DOI:10.14483/22487638.14826.
15. Nurlina N., Kadir S., Kurnain A., et al. Comparison of Maximum Likelihood and Support Vector Machine Classifiers for Land Use / Land Cover Mapping Using Multitemporal Imagery // Academic Research International. 2021. Vol. 12. No. 1. P. 1–13.
16. Сереке Т.Э., Братков В.В., Аристархова А.В. Выделение категорий земель с использованием алгоритма Maximum Likelihood по снимкам Landsat 8 (на примере подзоны Мендефера, Эритрея) // Мониторинг. Наука и технологии. 2023. Т. 2. № 56. С. 68–74. DOI:10.25714/MNT.2023.56.009.

АВТОРЫ

Сереке Темесген Эйяссу
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра географии, факультет картографии
аспирант
0009-0001-1748-6479

Братков Виталий Викторович
vbratkov@mail.ru
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра географии, факультет картографии
д-р геогр. наук, доцент
0000-0001-5072-1859

Поступила 17.05.2024. Принята к публикации 21.06.2024. Опубликована 28.06.2024.

UDC 528.7, 528.8
DOI:10.30533/scidata-2024-15-08

CC BY

Evaluating the performance of optical remote sensing data PlanetScope, Landsat 8 and Sentinel-2 for land use land cover classification case study Mendefera town

Temesghen Eyassu Sereke[1,2] ✉, Vitaly V. Bratkov[1]

AFFILIATIONS

[1] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
[2] College of Business and Social Sciences, Adi Keih, Eritrea
✉ temesghensereke@gmail.com

CITATION

Sereke TE, Bratkov VV. Evaluating the performance of optical remote sensing data PlanetScope, Landsat 8 and Sentinel-2 for land use land cover classification case study Mendefera town. ***Spatial Data: science, research and technology***. 2024;15(2): 84–98. DOI:10.30533/scidata-2024-15-08.

KEYWORDS

land use / land cover (LULC), support vector machine (SVM), overall accuracy, Cohen's kappa, Mendefera

ABSTRACT

Appropriate selection of optical remote sensing (RS) data with appropriate methods will help in improving the accuracy of land use land cover (LULC) classification. The study employed pixel-based supervised classification approach with Support Vector Machine (SVM) algorithm to assess the performance of three optical RS data namely PlanetScope, Landsat 8 and Sentinel-2 for classifying LULC in Mendefera town-Eritrea. Ancillary data such as DEM, NDVI and Slope

were incorporated in combination with composite bands during the creation of training samples to improve classification accuracy. Post classification smoothing was employed for all the maps. Moreover, high spatial resolution aerial photos along with Google earth image were employed for accuracy assessment. Four LULC classes namely built up, natural vegetation, agricultural area and open area were created for the classification process. The overall accuracy was 89, 92 and 93 % for Landsat 8, PlanetScope and Sentinel-2 respectively; also, Kappa coefficient of 85, 88 and 90 % was found for Landsat 8, PlanetScope and Sentinel-2 respectively. The result showed us that Sentinel-2 perform comparatively higher than the other two for the study area.

REFERENCES

1. Satir O, Berberoglu S. Land Use / Cover Classification Techniques Using Optical Remotely Sensed Data in Landscape Planning. ***Landscape Planning***. Özyavuz M (ed.). IntechOpen, 2012. DOI:10.5772/31351.
2. Esfandeh S, Danehkar A, Salmanmahiny A, et al. Climate Change Risk of Urban Growth and Land Use/Land Cover Conversion: An In-Depth Review of the Recent Research in Iran. ***Sustainability.*** 2022;14(1): 338. DOI:10.3390/su14010338.
3. Nasiri V, Deljouei A, Moradi F, et al. Land Use and Land Cover Mapping Using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A Comparison of Two Composition Methods. ***Remote Sens.*** 2022;14(9): 1977. DOI:10.3390/rs14091977.
4. Liping C, Yujun S, Saeed S. Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques — A case study of a hilly area, Jiangle, China. ***PLOS ONE.*** 2018;13(7): e0200493. DOI:10.1371/journal.pone.0200493.
5. Zeshan MT, Mustafa MRU, Baig MF. Monitoring Land Use Changes and their Future Prospects using GIS and ANN_CA for Perak River Basin, Malaysia. ***Water.*** 2021;3(16): 2286. DOI:10.3390/w13162286.
6. Araya YH, Hergarten C. A comparison of pixel and object-based land cover classification: A case study of the Asmara region, Eritrea. ***WIT Transactions on the Built Environment***. 2008;100: 233–243. DOI:10.2495/GEO080231.
7. Amini S, Saber M, Rabiei-Dastjerdi H, et al. Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series. ***Remote Sens.*** 2002;14(11): 2654. DOI:10.3390/rs14112654.
8. Nivedita Priyadarshini K, Kumar M, Rahaman SA, et al. A Comparative Study of Advanced Land Use / Land Cover Classification Algorithms using Sentinel-2 Data. ***The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.*** 2018;XLII-5: 665–670. DOI:10.5194/isprs-archives-XLII-5-665-2018.
9. Oo TK, Arunrat N, Ussawarujikulchai A. Comparing Four Machine Learning Algorithms for Land Cover Classification in Gold Mining: A Case Study of Kyaukpahto Gold Mine, Northern Myanmar. ***Sustainability.*** 2022;14(17): 10754. DOI:0.3390/su141710754.

10. Melgani F, Bruzzone L. Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.*** 2004;42(8): 1778–1790. DOI:10.1109/TGRS.2004.831865.
11. Muslim AM, Razman N, Khalil I, et al. Evaluation of soft classification algorithm for sub-pixel mapping of the shoreline. ***34th International Symposium on Remote Sensing of Environment.*** Sydney, 2011. Available from: https://www.isprs.org/proceedings/2011/isrse-34/211104015Final00287.pdf (Accessed 21 April 2024).
12. Hashim H, Latif Z, Adnan N. Land Use Land Cover Analysis with Pixel-Based Classification Approach. ***Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.*** 2019;16(3): 1327–1333. DOI:10.11591/ijeecs.v16.i3.pp1327-1333.
13. Basheer S, Wang X, Farooque AA, et al. Comparison of Land Use Land Cover Classifiers Using Different Satellite Imagery and Machine Learning Techniques. ***Remote Sens.*** 2022;14(19): 4978. DOI:10.3390/rs14194978.
14. Valero Medina JA, Alzate Atehortúa BE. Comparison of maximum likelihood, support vector machines, and random forest techniques in satellite images classification. ***Tecnura.*** 2019;23(59): 13–26. DOI:10.14483/22487638.14826.
15. Nurlina N, Kadir S, Kurnain A, et al. Comparison of Maximum Likelihood and Support Vector Machine Classifiers for Land Use/Land Cover Mapping Using Multitemporal Imagery**.** ***Academic Research International.*** 2021;12(1): 1–13.
16. Sereke T, Bratkov V, Aristarkhova V. Vydelenie kategorij zemel' s ispol'zovaniem algoritma Maximum Likelihood po snimkam Landsat 8 (na primere podzony Mendefera, Eritreya) [Allocation of Land Categories Using the Maximum Likelihood Algorithm Based on Landsat 8 Images (Using The Example Of The Mendefera Subzone, Eritrea)]. ***Monitoring. Science and Technologies.*** 2023;2(56): 68–74. (In Russian). DOI:10.25714/MNT.2023.56.009.

AUTHORS

Sereke Temesghen Eyassu
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geography, Faculty of Cartography
0009-0001-1748-6479

Vitaly V. Bratkov
vbratkov@mail.ru
Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geography, Faculty of Cartography
Dr. of Sci. (Geography), Associate Professor
0000-0001-5072-1859

Submitted: May 17, 2024. Accepted: June 21, 2024. Published: June 28, 2024.