

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

e-ISSN 2782-6678

Published by
MIIGAIK since 2008

Пространственные данные: наука и технологии

Spatial Data: Science, Research and Technology

16 | 03 | 2025

Научное издание
Московского государственного университета
геодезии и картографии (МИИГАиК)

Пространственные данные: наука и технологии

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

16 | 03 | 2025

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

Служба редакционно-издательской деятельности и наукометрии

Выпускающий редактор:

Фомина Н.В.

Научный редактор:

Шишкина М.В.

Технический редактор:

Журавлева Е.Д.

Компьютерная верстка:

Журавлева Е.Д.

Дизайн-макет:

Леднёва С.В.

Учредитель и издатель

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

Адрес

105064, Москва,
Гороховский пер., 4

е-mail:

info@spacejournal.ru

Подписано в печать

31.10.2025

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 Editorial
and Publishing Activities
and Scientometrics

Project Management by:

Nina V. Fomina

Edited by:

Mariya V. Shishkina

Illustrations by:

Ekaterina D. Zhuravlyova

Layout design by:

Svetlana V. Ledneva

Computer layout by:

Ekaterina D. Zhuravlyova

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:

31.10.2025

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

- Новиков С.С., Новикова П.Е.** **8**
Поиск нарушений разрешенного использования объектов недвижимости, отнесенных к индивидуальному жилищному строительству, с помощью снимков ДЗЗ

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Шакиров Р.Р., Луговской А.М.** **22**
Трансформация границ лесостепной зоны: причины и последствия

ГЕОДЕЗИЯ

- Дычко А.А., Быков Л.В.** **32**
Особенности формирования цифровой модели рельефа по результатам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна
- Михайлов А.А.** **42**
Применение компьютерного моделирования для задач учета температурных деформаций железобетонных сооружений в процессе геодезического сопровождения строительства

Contents

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

- Novikov S.S., Novikova P.E.** 8
Search for Violations of Permitted Use of Real Estate Properties Classified as Individual Housing Construction Using Remote Sensing Imagery

GEOECOLOGY

- Shakirov R.R., Lugovskoy A.M.** 22
Transformation of the Boundaries of the Forest-Steppe Zone: Causes and Consequences

GEODESY

- Dychko A.A., Bykov L.V.** 32
Features of Digital Formation of the Model Relief Based on the Results of Aerial Photography from Unmanned Aerial Vehicles
- Mikhailov A.A.** 42
Application of Computer Modeling for Accounting of Temperature Deformations of Reinforced Concrete Structures During Geodetic Monitoring of Construction



Поиск нарушений разрешенного использования объектов недвижимости, отнесенных к индивидуальному жилищному строительству, с помощью снимков ДЗЗ

С.С. Новиков¹✉, П.Е. Новикова¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Научный центр оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы», Москва, Россия

✉ s.novikov92@inbox.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Новиков С.С., Новикова П.Е. Поиск нарушений разрешенного использования объектов недвижимости, отнесенных к индивидуальному жилищному строительству, с помощью снимков ДЗЗ // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, №3. С. 8–21. DOI:10.30533/scidata-2025-16-17.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

земельный участок, кадастр, космический снимок, «Канопус-В», «Ресурс-П», дистанционное зондирование Земли, объект индивидуального жилищного строительства

АННОТАЦИЯ

Проблема нарушения режима разрешенного использования земельных участков возникает регулярно, причем не только на землях, удаленных от поселений, но и внутри самих населенных пунктов. Довольно часто возводимые объекты капитального строительства не соответствуют нормам разрешенного использования земельных участков,

на которых данные объекты размещены. Это сложно обнаруживаемое нарушение, поскольку для его выявления необходимо непосредственно на месте осмотреть участок и соотнести возведенное строение с разрешительной документацией, а низкая скорость подобных проверок не соответствует плотности застройки. Опыт использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для выявления прочих нарушений в данном случае не совсем пригоден, поскольку съемка для определения этажности требует угла от 40° и выше, а съемка для решения геодезических задач происходит в надири или с небольшим углом, что затрудняет возможность определение этажности здания. Однако объекты отбрасывают тень, которую можно вычислить, зная координаты объекта и его предполагаемую максимально разрешенную высоту. Так, трехэтажное здание для индивидуального жилищного строительства с учетом перекрытий будет иметь вполне конкретную высоту. Зная местоположение земельного участка, можно вычислить длину тени в конкретный момент дня, после чего сравнить с фактической тенью на снимке. Для этого можно использовать данные ДЗЗ, полученные с космических аппаратов типа «Канопус-В». Указанные космические аппараты также имеют большой запас архивных снимков и неоднократное покрытие территории Российской Федерации.

1 Введение

Нарушения в градостроительной деятельности могут привести к несанкционированному строительству, неисполнению норм безопасности и несоответствию объектов документам территориального планирования [1]. Выявление нарушений при застройке населенных пунктов регулируется Градостроительным кодексом РФ¹. Так, в статье 8.1 кодекса закреплены полномочия органов государственной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления по контролю за соблюдением законодательства о градостроительной деятельности [2].

Для выявления нарушений используются:

- 1) проверки органов государственного строительного надзора, государственного земельного надзора и др.;
- 2) анализ градостроительной документации с выявлением нарушений в градостроительных планах земельных участков (ЗУ);
- 3) экспертиза, т. е. определение соблюдения градостроительных и строительных норм при застройке ЗУ.

Однако, несмотря на значительный прогресс законодательства и работы надзорных органов, до сих пор некоторое количество ЗУ эксплуатируется с нарушениями, зачастую довольно серьезными. Одно из нарушений — это незаконное

¹ Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/866/> (дата обращения: 20.06.2025).

оформление документов для высотного строительства, когда на участках для индивидуального жилищного строительства (ИЖС) строятся дома, превышающие разрешенную этажность [3]. Именно поэтому в данной работе рассматривается простой и относительно недорогой способ поиска нарушений с помощью снимков дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полученных с российских космических аппаратов (КА) типа «Канопус-В».

2 Материалы и методы

2.1 Обзор законодательной базы и судебной практики

Рассматривая вопросы нарушений разрешенного использования объектов недвижимости, суды выясняют, учтены ли при возведении постройки требования санитарного, пожарного, экологического законодательства и другого в зависимости от назначения и месторасположения объекта. С 4 августа 2018 года вступил в силу Федеральный закон № 340-ФЗ², которым, в частности, введены нормы, освобождающие застройщиков объектов ИЖС или садовых домов от обязанности получать разрешение на строительство [4].

Градостроительным кодексом дано новое определение объекта ИЖС. К таким объектам относятся отдельно стоящие здания, соответствующие в совокупности следующим интересующим нас параметрам:

- с количеством надземных этажей не более трех;
- высотой не более 20 м.

Случаи, когда многоквартирные дома строятся на землях ИЖС, нередки. Самые резонансные даже попадают в новости, однако число людей, оказавшихся в подобной затруднительной ситуации, продолжает увеличиваться. В качестве примера можно рассмотреть ситуацию с домом 33 на улице Восточной в Севастополе — одним из сотни объектов, утвержденных под снос на основе судебных разбирательств. Ситуация примечательна тем, что в городе собираются изъять и продать земельный участок на улице Восточной, д. 33 [5]. За счет вырученных средств планируется снести расположенный на участке «многоквартирный недострой», что нанесет еще больший убыток дольщикам. В разные годы

² О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 3 августа 2018 г. № 340-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43497> (дата обращения: 20.06.2025).

в городе было зафиксировано несоответствие построенных или реконструированных зданий проектной документации:

- в 2022 году — 25 объектов;
- в 2021 году — 38 объектов³.

Всего в 2022 году под контролем Севгосстройнадзора находилось 172 объекта капитального строительства (общая площадь — 1 млн 239 тыс. кв. м), в 2021 году — 188 объектов (общая площадь — 1 млн 371 тыс. кв. м)³.

В городском хозяйстве Севастополя числятся решения судов по искам правительства Севастополя и Департамента городского хозяйства, согласно которым признаны самовольно построенными⁴ дома по следующим адресам:

- ул. Аргонавтов, 54, 56;
- ул. Гусева, 12;
- ул. Частника, 45;
- ул. Олега Кошевого, 14;
- ул. Волнистая, 24;
- Качинский тупик, 22;
- СТ «Персик», 1;
- ул. Щитовая, 48;
- СТ «Сатурн», 441;
- ул. Колобова, 11;
- пл. Пирогова, 3, 5;
- ул. Сафронова, 8;
- ул. Глеба Успенского, 22;
- с. Кача, ул. Первомайская, 62;
- ул. Челнокова, 14/14;
- ул. Краснодонцев, 71;
- СТ «Куликово поле», 40, 107;
- ул. 1-я Сарандинаки, 4;
- ул. Владимира Симонка, 76;
- ул. Восточная, 31, 33;
- ул. Леваневского, 3;
- Стрелецкий проезд, 43;
- СТ «Рыбак-3», 47;
- ул. Военных Строителей, 36/12.

³ Доклад «Об осуществлении регионального государственного строительного надзора на территории города Севастополя Управлением государственного строительного надзора и экспертизы города Севастополя в 2022 году». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sevzakon.ru/view/kontrolnaya_deyatelnost/otchet_y_pravitelstva_goroda/sevgosstrojnadzor/otchet_y/ (дата обращения: 20.06.2025).

⁴ Зрелякова Л.В., Петряшова А.А. Судебная практика рассмотрения споров, связанных с самовольным строительством // Арбитражные споры. 2025. № 1 (109). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arbspor.ru/articles/2575/> (дата обращения: 20.06.2025).

2.2 Общая концепция и применение метода поиска нарушений использования участков ИЖС

Для того чтобы избежать подобных ситуаций, необходимо ускорить и упростить процесс контроля за строительством многоквартирного дома [6]. При наличии данных о местонахождении объекта недвижимости, даты и времени съемки снимка ДЗЗ, а также информации о том, что здание или сооружение имеет высоту не более 20 м, можно рассчитать длину тени для объекта недвижимости, которая бы соответствовала разрешенной, затем сравнить с фактической на снимке и, исходя из этого, установить, есть ли нарушение.

Благодаря этому в целях совершенствования кадастровой деятельности можно:

- ускорить получение информации о нарушениях строительства объектов недвижимости с помощью данных ДЗЗ;
- повысить возможности обработки поступающей информации по объектам недвижимости за счет автоматизации процессов;
- создать среду, которая позволит населению заранее проверить благонадежность сделок по объектам недвижимости и точнее оценить риски при приобретении недвижимости.

Для расчета длины тени можно применить следующую формулу:

$$1 \quad L = \frac{h}{\tan(\alpha)},$$

где h — высота предмета (объекта недвижимости);

α — угол, определяющий высоту Солнца над горизонтом.

Однако в данной работе расчеты проводились не вручную, а с помощью системного программного обеспечения из состава комплекса обработки.

Для исследования были взяты несколько зданий в районе Ивановское г. Москвы. При этом не делалась реальная проверка ЗУ на наличие нарушений, однако были проведены работы с привязкой к конкретной местности. Были взяты три здания высотой три этажа (рис. 1)⁵, двенадцать (рис. 2)⁵ и девять (рис. 3)⁵ этажей. Сводные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1 Обобщенные сведения о рассматриваемых объектах

Table 1 General information about the objects under consideration

Типовая серия постройки	Год постройки	Количество этажей	Примерная высота здания, м	Расчетная длина тени, м
V-76	1982	3	10	7,73
II-57-A/12	1973	12	33,5	25,9
I-515/9M	1973	9	25	19,32

⁵ Панорамы улиц и фотографии // Яндекс Карты. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://yandex.ru/maps> (дата обращения: 01.05.2025).

Рис. 1 Трехэтажная школа. Москва, район Ивановское

Fig. 1 Three-storey school in Ivanovskoye District, Moscow



Рис. 2 Двенадцатиэтажный жилой дом. Москва, район Ивановское

Fig. 2 Twelve-storey residential building in Ivanovskoye District, Moscow

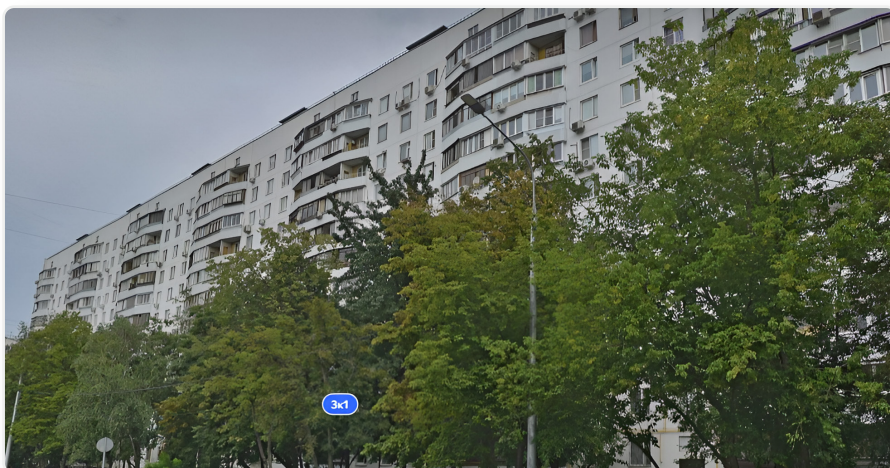
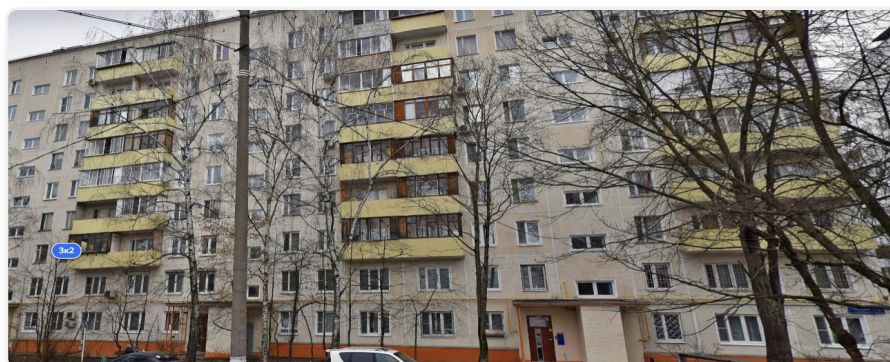


Рис. 3 Девятиэтажный жилой дом. Москва, район Ивановское

Fig. 3 Nine-storey residential building in Ivanovskoye District, Moscow



Взглянем на схему расположения исследуемых объектов (рис. 4)⁶ и на снимок, полученный с КА типа «Канопус-В» (рис. 5)⁷.

Рис. 4 Схема расположения зданий

Fig. 4 Building layout plan

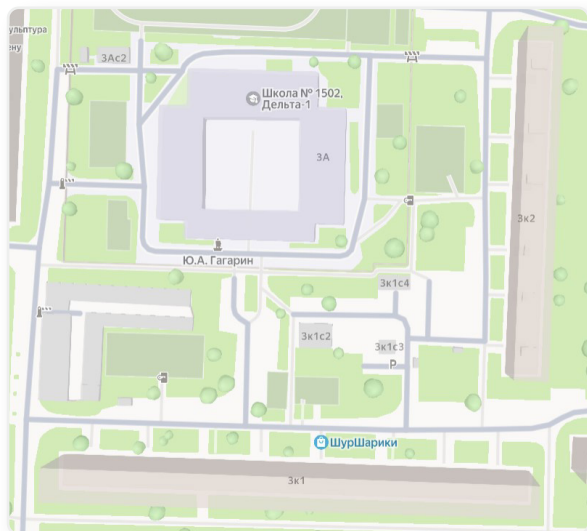


Рис. 5 Здания на космическом снимке

Fig. 5 Buildings in a space image



Здесь видны три необходимых объекта. Расчетная длина тени от школы высотой примерно 10 м составляет 4 пикселя, длина тени высотного двенадцатиэтажного здания составила 12 пикселей, что в три раза больше, а длина тени девятиэтажного здания — 9 пикселей, что более чем в два раза больше. Сравнение длин теней девяти-, двенадцати- и трехэтажного (эталонного) зданий показывает, что с помощью данного метода можно определить высотность зданий, а также вычислить ЗУ, где происходит нарушение режима использования (табл. 2).

Таблица 2 Пример расчета длин теней зданий (сооружений)

Table 2 An example of calculating the lengths of the shadows of the buildings (structures)

Типовая серия постройки	Примерная высота здания, м	Расчетная длина тени, м	Округленная длина тени, пиксели
V-76	10	7,73	4
II-57-A/12	33,5	25,90	12
I-515/9M	25	19,32	9

⁶ Панорамы улиц и фотографии // Яндекс Карты. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://yandex.ru/maps> (дата обращения: 01.05.2025).

⁷ Геопортал Роскосмоса. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://next.gptl.ru/> (дата обращения: 01.05.2025).

3 Результаты и обсуждение

Принимая во внимание плотность застройки и развитый рынок недвижимости Российской Федерации, можно заметить, что использование данных ДЗЗ для поиска нарушений при строительстве объектов недвижимости является перспективным. Исходя из сложившейся судебной практики и географических характеристик, таких как процент облачности на снимках, следует рекомендовать данный метод к применению в первую очередь в южных регионах России.

Несмотря на то, что для задействования этого метода достаточно данных, полученных с КА типа «Канопус-В», можно использовать более качественные снимки, применяя по возможности данные с КА сверхвысокого разрешения, таких как «Ресурс-П» или иностранные аналоги. Сравнить качество снимков можно на **рис. 6**⁸. Результаты наблюдения будут более достоверными за счет повышения разрешения снимков.

Рис. 6 Здания на снимках с разных космических аппаратов

Fig. 6 Buildings in images from various spacecraft

Снимок с КА типа «Канопус-В» /
Image from the Kanopus-V



Снимок с КА типа «Ресурс-П» /
Image from the Resurs-P



Необходимо также отметить перспективы автоматизации метода поиска нарушений использования участков ИЖС с помощью теней на снимках ДЗЗ. Для эффективного применения данного метода требуется не только выработать концепцию, но и автоматизировать данный процесс. Это вполне реализуемо при помощи нейросетей. Так, в одном из своих исследований [7] авторы уже использовали нейросети для поиска рубок на земельных участках, а ученые из Республики Беларусь А.А. Золотой, Д.И. Новиков осенью 2024 года на конференции АО «ВНИИЭМ» представили доклад по использованию нейросетей для определения лесов и пахотных земель на снимках ДЗЗ с КА типа «Канопус-В» [8].

⁸ Геопортал Роскосмоса. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://next.gptl.ru/> (дата обращения: 01.05.2025).

4 Выводы

По итогам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Рассматриваемый метод применим для определения этажности зданий и сооружений на снимках ДЗЗ.
2. Наиболее перспективными с точки зрения применения данного метода являются южные регионы Российской Федерации, в том числе из-за качества получаемых материалов ДЗЗ.
3. Данных ДЗЗ, полученных с КА типа «Канопус-В», достаточно при использовании данного метода, однако для улучшения качества финального результата целесообразно применять данные с КА сверхвысокого разрешения (со съемочным оборудованием, позволяющим получать данные ДЗЗ с проекцией пикселя на местности от 1 м и лучше).
4. Данный метод имеет значительные перспективы для автоматизации процесса.

Расширяющаяся судебная практика показывает, что поиск нарушений строительства на участках ИЖС нуждается в упрощении [9]. Контролирующие органы не успевают отследить нарушения, что приводит к материальным потерям обычных граждан, которые могут не знать о том, что приобретаемая ими недвижимость построена с нарушениями, но несут за это ответственность [10]. Необходимо не только соблюсти законность использования ЗУ, но и защитить права граждан при неумышленном нарушении закона. Данный метод позволит значительно улучшить ситуацию в данной области, он технически реализуем в рамках текущей космической группировки Российской Федерации. Стоит отметить при этом, что он сравнительно дешев и легко применим. В перспективе использование метода можно автоматизировать посредством нейросетей, также можно значительно улучшить качество получаемых результатов путем применения снимков сверхвысокого разрешения, например с КА типа «Ресурс-П».

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность своему научному руководителю Татьяне Владимировне Илюшиной, доктору географических наук, доценту кафедры землеустройства и кадастров факультета управления территориями Московского государственного университета геодезии и картографии, за важные замечания и ценные советы при проведении исследования и оформлении данной статьи.


БИБЛИОГРАФИЯ

1. Полухин А.И., Щербачева Л.В. Некоторые проблемы нецелевого использования земельных участков // Вестник Академии управления и производства. 2025. № 1. С. 627–635.
2. Данилов К.С., Низовцев И.В. Привлечение к административной ответственности за нарушение разрешенного использования земельного участка в городе Москве // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2021. № 9 (240). С. 96–103.
3. Травникова О.О. Особенности подготовки документов для постановки на государственный кадастровый учет земельных участков // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. 2020. Т. 2. С. 166–170.
[DOI:10.33764/2687-041X-2020-2-166-170](https://doi.org/10.33764/2687-041X-2020-2-166-170).
4. Варданян А.В. Преступления в сфере долевого строительства жилья и иных объектов недвижимости: проблемы законодательства и правоприменительной практики // Всероссийский криминологический журнал. 2022. Т. 16, № 1. С. 73–81. [DOI:10.17150/2500-4255.2022.16\(1\).73-81](https://doi.org/10.17150/2500-4255.2022.16(1).73-81).
5. Орлов П.П., Осокин Р.Б. Принудительное изъятие земельного участка при затягивании сроков строительства // Вестник Московского университета МВД России. 2023. № 5. С. 181–185. [DOI:10.24412/2073-0454-2023-5-181-185](https://doi.org/10.24412/2073-0454-2023-5-181-185).
6. Пестряков А.Н., Сбродова Н.В., Парфенова П.С. Проблемы использования земель в муниципальном образовании, выявленные при контрольных мероприятиях // Деловой вестник предпринимателя. 2024. № 4 (18). С. 100–105.
7. Новиков С.С., Илюшина Т.В., Новикова П.Е. Анализ нарушений вида разрешенного использования земельного участка по космическим снимкам и перспективы автоматизации данного процесса // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 3. С. 160–174. [DOI:10.30533/GiA-2025-038](https://doi.org/10.30533/GiA-2025-038).
8. Золотой А.А., Новиков Д.И. Функция потерь при обучении моделей детектирования лесных и пахотных земель на аэрофотоснимках // Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли: материалы XII Международной научно-технической конференции. М.: ВНИИЭМ, 2024. С. 114–116.
9. Сушкова Е.В. Анализ результатов осуществления Росреестром государственного мониторинга земель и государственного земельного надзора // Приложение к журналу «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка». Сборник статей по итогам научно-технической конференции. 2020. № 11. С. 174–177.
10. Магденко И.В., Игуменов Е.В. Анализ материалов судебной практики по некоторым вопросам земельно-имущественных отношений и отношений в сфере градостроительной деятельности // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2020. № 11 (230). С. 89–100.

АВТОРЫ

Новиков Сергей Сергеевич


Научный центр оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы»,
Москва, Россия

 0000-0002-4927-4542

Новикова Полина Евгеньевна

 p.novikova93@mail.ru

Научный центр оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы»,
Москва, Россия

 0000-0001-8474-440X

Поступила 29.06.2025. Принята к публикации 24.10.2025. Опубликовано 31.10.2025.

UDC 528.8

DOI:10.30533/scidata-2025-16-17



Search for Violations of Permitted Use of Real Estate Properties Classified as Individual Housing Construction Using Remote Sensing Imagery

Sergey S. Novikov¹✉, Polina E. Novikova¹

AFFILIATIONS

¹ Research Center for Earth Operative Monitoring of JSC “Russian Space Systems”,
Moscow, Russia

✉ s.novikov92@inbox.ru

CITATION

Novikov SS, Novikova PE. Search for Violations of Permitted Use of Real Estate Properties Classified as Individual Housing Construction Using Remote Sensing Imagery. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(3): 8–21. DOI:10.30533/scidata-2025-16-17.

KEYWORDS

land plot, cadastre, space image, Kanopus-V, Resurs-P, remote sensing of the Earth, individual housing construction project

ABSTRACT

The issue of compliance with permitted land use regulations arises regularly. In addition to illegal resource extraction on lands remote from settlements, this problem also arises within populated areas. Capital construction projects often fail to comply with the permitted use standards of the land on which they are located. This violation is difficult to detect, as it requires an on-site inspection of the site and verification of the erected structure against the permitting documentation, and the slow pace of such inspections is inconsistent with the development density. Experience using Earth remote sensing data to identify other violations is not entirely applicable in this case, as surveying for floor counting requires an angle of 40° or higher, while

surveying for geodetic purposes is performed at the nadir or at a low angle, making it difficult to determine the number of floors. However, objects cast a shadow, which can be calculated using the coordinates of the object and its estimated maximum permitted height. For example, a three-story building for individual residential construction, including the floor slabs, will have a very specific height. Knowing the location of a land plot, one can calculate the length of the shadow at a specific moment of the day and then compare it with the actual shadow in the image. Remote sensing data obtained from Kanopus-V satellites can be used for this purpose. These satellites also have a large stockpile of archival imagery and have repeatedly covered the territory of the Russian Federation.

ACKNOWLEDGEMENTS

I am grateful to my scientific director Tatiana Iliushina (Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Land Management and Cadastre, Faculty of Territory Management, Moscow State University of Geodesy and Cartography) for important comments and valuable advice in conducting research and drafting of this article.

REFERENCES


1. Polukhin AI, Shcherbacheva LV. Nekotorye problemy netselevogo ispolzovaniya zemelnykh uchastkov [Some Issues of Misuse of Land Plots]. *Bulletin of the Academy of Management and Production*. 2025;1: 627–635. (In Russian).
2. Danilov KS, Nizovtsev IV. Privlechenie k administrativnoy otvetstvennosti za narushenie razreshennogo ispolzovaniya zemelnogo uchastka v gorode Moskve [Bringing to Administrative Responsibility for Violation of the Permitted Use of a Land Plot in the City of Moscow]. *Property Relations in the Russian Federation*. 2021;9(240): 96–103. (In Russian).
3. Travnikova OO. Osobennosti podgotovki dokumentov dlya postanovki na gosudarstvennyy kadastrivnyy uchet zemelnykh uchastkov [Peculiarities of Preparation of Documents for State Cadastral Accounting of Real Estate Objects]. *Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Estate Valuation, Ecology, Technological Solutions*. 2020;2: 166–170. (In Russian). DOI:10.33764/2687-041X-2020-2-166-170.
4. Vardanyan AV. Prestupleniya v sfere dolevogo stroitelstva zhilya i inykh obektov nedvizhimosti: problemy zakonodatelstva i pravoprimeritelnoy praktiki [Crimes in the Field of Shared-Equity Construction of Housing and Other Real Estate Objects: Problems of Legislation and Law Enforcement Practice]. *Russian Journal of Criminology*. 2022;16(1): 73–81. (In Russian). DOI:10.17150/2500-4255.2022.16(1).73-81.
5. Orlov PP, Osokin RB. Prinuditelnoe izyatie zemelnogo uchastka pri zatyagivanii srokov stroitelstva [Forced Seizure of a Land Plot in Case of Delayed Construction Terms]. *Bulletin of Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2023;5: 181–185. (In Russian). DOI:10.24412/2073-0454-2023-5-181-185.

6. Pestryakov AN, Sbrodova NV, Parfenova PS. Problemy ispolzovaniya zemel v munitsipalnom obrazovanii, vyyavlennye pri kontrolnykh meropriyatiyakh [Problems of Land Use in a Municipality Identified During Control Activities]. *Entrepreneur's Business Bulletin*. 2024;4(18): 100–105. (In Russian).
7. Novikov SS, Ilyushina TV, Novikova PE. Analiz narushenij vida razreshennogo ispol'zovaniya zemel'nogo uchastka po kosmicheskim snimkam i perspektivy avtomatizacii dannogo processa [Analysis of Violations of the Type of Permitted Land Plot Use Based on Space Images and Prospects for Automation of This Process]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(3): 160–174. (In Russian). DOI:10.30533/GiA-2025-038.
8. Zolotoj AA, Novikov DI. Funkcija poter' pri obuchenii modelej detektirovaniya lesnyh i pahotnyh zemel' na ajerofotosnimkah [Loss Function for Training Detection Models of Forest and Arable Lands on Aerial Photographs]. *Actual Problems of Creating Space Systems for Remote Sensing of the Earth. Proceedings of the Twelfth International Scientific and Technical Conference*. Moscow: VNIIEEM Corporation; 2024: 114–117. (In Russian).
9. Sushkova EV. Analiz rezultatov osushchestvleniya Rosreestrom gosudarstvennogo monitoringa zemel i gosudarstvennogo zemelnogo nadzora [Analysis of the Results of Rosreestr's Implementation of State Land Monitoring and State Land Supervision]. *Appendix to the Journal "Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying". Collection of Articles Based on the Results of the Scientific and Technical Conference*. 2020;11: 174–177. (In Russian).
10. Magdenko IV, Igumenov EV. Analiz materialov sudebnoy praktiki po nekotorym voprosam zemelno-imushchestvennykh otnosheniy i otnosheniy v sfere gradostroitel'noy deyatel'nosti [Analysis of Several Legal Cases Concerning Land Ownership Issues and Urban Planning Issues]. *Property Relations in the Russian Federation*. 2020;11(230): 89–100. (In Russian).


AUTHORS

Sergey S. Novikov

Research Center for Earth Operative Monitoring of JSC "Russian Space Systems",
Moscow, Russia

 0000-0002-4927-4542

Polina E. Novikova

 p.novikova93@mail.ru

Research Center for Earth Operative Monitoring of JSC "Russian Space Systems",
Moscow, Russia

 0000-0001-8474-440X

Submitted: June 29, 2025. Accepted: October 24, 2025. Published: October 31, 2025.



Трансформация границ лесостепной зоны: причины и последствия

Р.Р. Шакиров¹✉, А.М. Луговской¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
✉ rustem-shakirov00@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ

Шакиров Р.Р., Луговской А.М. Трансформация границ лесостепной зоны: причины и последствия // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 3. С. 22–31. DOI:10.30533/scidata-2025-16-19.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

границы лесостепи, изменение климата, антропогенные факторы, природные факторы

АННОТАЦИЯ

Все процессы, происходящие на нашей планете, носят детерминированный характер. Это означает, что каждый из них вызван определенными причинами и, в свою очередь, сам порождает новые события и изменения. Планета находится в непрерывном круговороте преобразований, который является двигателем ее постоянного развития. Уникальная способность человека заключается в возможности наблюдать, изучать и анализировать эти сложные механизмы, выявляя и систематизируя причинно-следственные связи, лежащие в их основе. Даже те элементы природы, которые на первый взгляд кажутся абсолютно стабильными и неизменными, на самом деле подвержены непрерывной трансформации. Ярким примером подобной динамики служат природные зоны. Так, при обращении к различным историческим картографическим и литературным источникам становится очевидно, что границы лесостепи не были статичными, смещаясь в разные эпохи под влиянием множества факторов. В настоящей статье представлены результаты

теоретического исследования, основными целями которого стали выявление причин и прогнозирование потенциальных последствий смещения границ лесостепной зоны. Комплексный подход к изучаемой проблеме позволил выявить факторы, обуславливающие движение границ лесостепи, определить характер и масштаб вызываемых этим процессом изменений, а также спрогнозировать возможные экологические, экономические и социальные эффекты, к которым может привести данная трансформация в будущем.

1 Введение

Лесостепная зона не является статичным географическим объектом — она пребывает в состоянии постоянной динамики. Эта трансформация выступает в роли мощного катализатора для множества взаимосвязанных природных процессов. Изменения начинаются с самых основ — формирования и эволюции почвенного покрова — и каскадом распространяются на всю экосистему. Они приводят к миграции, сокращению или расширению ареалов флоры и фауны, вызывая перестройку целых биологических сообществ. Эти процессы неизбежно влекут за собой сопутствующие изменения в водном балансе, микроклимате и других абиотических компонентах среды.

Все эти глубокие природные преобразования оказывают прямое и косвенное влияние на хозяйственную деятельность человека. В первую очередь это отражается на развитии сельского хозяйства России: меняются границы пахотных земель, смещаются зоны оптимального выращивания различных культур, трансформируются традиционные агротехнологии. Однако последствия выходят далеко за рамки аграрного сектора, затрагивая экономику, инфраструктуру и социальную сферу в целом.

В связи с этим приобретает особую актуальность задача выявления и глубокого анализа потенциальных последствий изменений лесостепной зоны. Понимание этих процессов необходимо для разработки долгосрочных стратегий устойчивого развития, адаптации к новым экологическим реалиям и минимизации возможных рисков для общества и экономики страны.

2 Материалы и методы

В рамках настоящего исследования методологический фундамент был выстроен на основе комплексного сравнительного анализа. Данный подход был избран в качестве основного инструмента для оценки и прогнозирования трансформационных процессов. Работа строилась не просто на сопоставлении данных, а на глубоком изучении причинно-следственных связей, возникающих вследствие динамики границ лесостепной зоны.

В ходе исследования были последовательно сопоставлены исторические и современные картографические материалы, климатические показатели и данные о почвенном покрове. Это позволило смоделировать различные сценарии развития событий. Ключевой задачей анализа было не просто констатировать факт смещения границ лесостепной зоны, а разобрать весь спектр возможных последствий — от экологических, таких как изменение биоразнообразия и водного баланса, до социально-экономических, включая трансформацию аграрного сектора и необходимость адаптации хозяйственной деятельности человека к новым условиям.

3 Результаты и обсуждение

Лесостепная зона, как отмечает А.А. Тишков, развивается в пределах умеренно-континентального климата с холодной зимой (средняя январская температура колеблется от -2 до -20 °С, в континентальных районах Сибири — до -35 °С) и теплым, относительно влажным летом (в среднем в июле температура составляет от $+18$ до $+25$ °С)¹. При этом значительная часть солнечной радиации поступает летом, а суммарное ее количество в течение года варьируется в пределах 140 – 180 кДж/см². Индекс сухости, в свою очередь, равен приблизительно $1,0$. Вместе с тем количество осадков составляет 400 – 1000 мм, наибольшее их количество выпадает летом¹. Для лесостепной зоны характерны такие почвы, как серые лесные, оподзоленные черноземы, лугово-черноземы, на юге Западной Сибири встречаются солонцеватые и осолоделые почвы. Растительность, в свою очередь, представлена небольшими массивами леса с остепененными участками. Типичная древесная растительность — дуб, липа, ясень, граб, береза и осина. Травянистый покров представлен преимущественно разнотравьем.

Таким образом, данная природная зона, несмотря на переходные особенности, все же обладает самостоятельностью. Она включает в себя характерные признаки, присущие как лесным, так и степным зонам, в то же время изменение условий, в которых данные признаки проявляются, требует изучения.

При рассмотрении карт, которые были сделаны в прошлом, можно обратить внимание, что отраженная на них граница лесостепной зоны так или иначе меняется. В работах исследователей, которые занимаются мониторингом границы лесостепной зоны, можно обнаружить возможное объяснение этого процесса. Так, некоторые ученые считают, что лесостепная зона в границах особо охраняемых природных территорий действительно находится в процессе трансформации, при этом наблюдается процесс движения леса на степь. По всей видимости, данное явление связано с изменениями климата [1–3].

¹ Тишков А.А. Лесостепные зоны. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/lesostepnye-zony-3ba7eb> (дата обращения: 02.06.2025).

Изменения границы лесостепи оказывают влияние на неживую и живую природу, а также на деятельность человека. **Это может выразиться:**

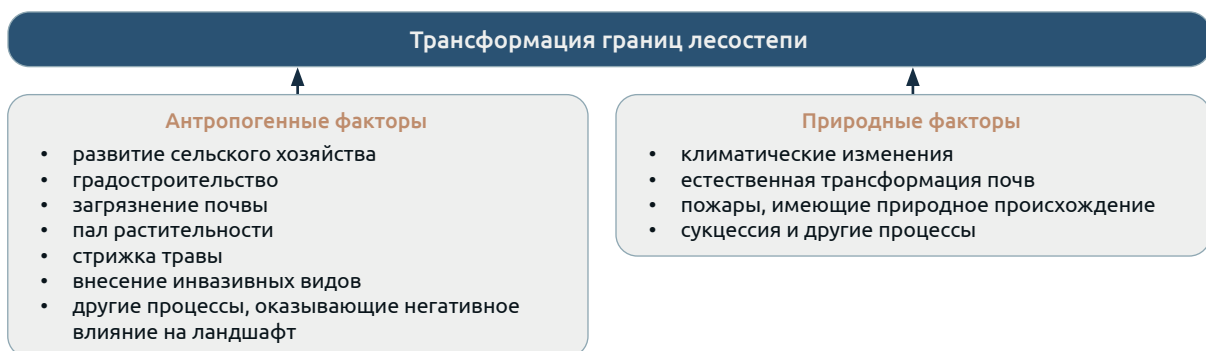
- в смещении ареалов типичных для лесной и степной зон флоры и фауны на север;
- возможном сокращении ареалов представителей северной биоты;
- изменении устойчивости снежного покрова;
- возможном исчезновении малых рек и обмелении средних и крупных водотоков [4];
- изменении почв и их возможной эрозии² [4];
- расширении сельскохозяйственной деятельности, увеличении доли земель, где можно выращивать зерновые, в том числе и пшеницу [4];
- возможном перераспределении трудовых ресурсов [4].

Интересно, что все последствия так или иначе связаны друг с другом [5–7]. Конечно, скорость преобразований невысока, но уже сейчас мы видим, что животные и растения лесостепей, такие как горлица кольчатая (*Streptopelia decaocto*)³ и дуб черешчатый (*Quercus robur*), начинают встречаться севернее своего ареала [8]. Мы также наблюдаем угрозу обмеления рек, в том числе Дона и Волги, которое вызвано изменением климата и смещением границы лесостепи⁴ [9]. Изменение почвенных условий позволяет расширить ареал выращивания пшеницы и других культур в северном направлении, за пределы современных границ их возделывания. Это, в свою очередь, может повлиять на экономику и развитие некоторых субъектов РФ.

На **рис. 1** отражены факторы, приводящие к изменениям границы лесостепи [10].

Рис. 1 Факторы, влияющие на трансформацию границ лесостепи

Fig. 1 Factors influencing the transformation of the forest-steppe boundaries



² Геннадиев А.Н. Почвы и время: модели развития. М.: МГУ, 1990. 227 с.

³ Варшавский С.Н. Современное расселение и расширение ареала кольчатой горлицы на юго-востоке европейской части СССР // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 1981. Т. 86, № 1. С. 27–30.

⁴ Известия. 2021. 22 октября. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iz.ru/1238385/sergei-gurianov/krupnyi-ottok-kak-ostanovit-obmelenie-volgi> (дата обращения: 02.06.2025).

Очевидно, что граница лесостепной зоны может испытывать трансформацию в результате воздействия многих факторов. Здесь нельзя не упомянуть про два важнейших процесса в истории лесостепи Восточно-Европейской равнины, которые протекали в прошлом. Во-первых, в начале развития сельского хозяйства на этих территориях люди формировали пашни с помощью подсечно-огневого метода [11], в результате северная граница лесостепи искусственно была отодвинута несколько дальше на север. Во-вторых, в первые послевоенные годы началось формирование лесостепных участков в пределах тогдашней степи⁵. Это было необходимо для ведения сельского хозяйства, поскольку древесная растительность способствует закреплению снежного покрова на полях, защищает почву от эрозии, а культуры — от суховеев.

4 Выводы

Подытоживая сказанное, необходимо подчеркнуть, что лесостепь находится в состоянии постоянной трансформации, испытывая влияние как естественных процессов (климатические изменения, природные пожары, сукцессия и т. д.), так и человеческой деятельности (развитие сельского хозяйства, градостроительство, загрязнение почвы, пал травы и т. д.). Перемещение границ лесостепной зоны существенно воздействует как на окружающую среду (миграция видов, обмеление рек), так и на социально-экономическое положение российских регионов (расширение ареала возделывания сельскохозяйственных культур).

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Братков В.В., Луговской А.М. Роль временных факторов в формировании биомов переходных зон // Химия, экология и рациональное природопользование: материалы Международной научно-практической конференции (г. Магас, 21–23 октября 2021 г.). Махачкала: АЛЕФ, 2021. С. 160–163.
2. Панькина Д.В., Новикова Л.А., Миронова А.А. и др. Геоботаническая характеристика «Кунчеровской лесостепи» (по результатам третьего картографирования) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2015. № 4 (12). С. 47–58.


⁵ О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР: постановление Совета Министров СССР и Центрального Комитета ВКП(б) от 20 октября 1948 г. № 3960 // Известия Советов депутатов трудящихся СССР. 1948. № 253. С. 1–6.

3. Ухачева В.Н., Новикова Л.А., Строкина Е.И. Основные экологические маркеры многолетней динамики «Казацкой степи» (Курская область) // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 165–169.
4. Шарко Е.Р. Влияния изменений климата на сельское хозяйство в регионах Российской Федерации // Теоретическая и прикладная экономика. 2022. № 1. С. 11–24. DOI:10.25136/2409-8647.2022.1.35866.
5. Новикова Л.А. Сохранение луговых степей Приволжской возвышенности в условиях заповедника // Вопросы степеведения. 2019. № 15. С. 236–239. DOI:10.24411/9999-006A-2019-11534.
6. Волокитин М.П. Изменения в процессах почвообразования при глобальном изменении климата // Евразийский Союз Ученых. 2019. № 10-2 (67). С. 15–19. DOI:10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.67.348.
7. Филиппова Е.В. Влияние естественных и антропогенных факторов на гидрологический режим реки Ингода // Вестник Забайкальского государственного университета. 2014. № 6. С. 21–27.
8. Кучеров С.Е., Кучерова С.В., Мартыненко В.Б. и др. Климатический сигнал в годичных слоях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на юго-восточной границе его ареала в бассейне р. Урал // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18, № 1. С. 34–45. DOI:10.18470/1992-1098-2023-1-34-45.
9. Дмитриева В.А. Аномалии весеннего половодья в Донском бассейне и их водохозяйственные и гидроэкологические последствия // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 2, № 42. С. 181–190. DOI:10.18413/2075-4671-2018-42-2-181-190.
10. Карпачевский Л.О. Особенности формирования Среднерусской полосы // История и современность. 2012. № 1. С. 147–154.
11. Ершова Е.Г., Пономаренко Е.В., Александровский А.Л. и др. Радиоуглеродный возраст горизонтов ранней подсеки на территории Русской равнины // Радиоуглерод в археологии и палеоэкологии: прошлое, настоящее, будущее: материалы Международной конференции. СПб.: ИИМК РАН, 2020. С. 29. DOI:10.31600/978-5-91867-213-6-29.

АВТОРЫ

Шакиров Рустэм Равилевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра географии, картографический факультет

 0009-0000-5418-0543


Луговской Александр Михайлович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра географии, картографический факультет

д-р геогр. наук, профессор

 0000-0002-3985-4535

Поступила 29.06.2025. Принята к публикации 24.10.2025. Опубликовано 31.10.2025.

UDC 581.9

DOI:10.30533/scidata-2025-16-19



Transformation of the Boundaries of the Forest-Steppe Zone: Causes and Consequences

Rustem R. Shakirov¹✉, Alexander M. Lugovskoy¹

AFFILIATIONS

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

✉ rustem-shakirov00@gmail.com

CITATION

Shakirov RR, Lugovskoy AM. Transformation of the Boundaries of the Forest-Steppe Zone: Causes and Consequences. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(3): 22–31. DOI:10.30533/scidata-2025-16-19.

KEYWORDS

forest-steppe boundaries, climate change, anthropogenic factors, natural factors

ABSTRACT

All phenomena and processes occurring on our planet are deterministic in nature. This means that each of them is conditioned by specific causes and, in turn, becomes a consequence that gives rise to new events and changes. The planet is in a continuous cycle of transformations, which serves as the engine of its constant development. A unique human ability lies in the capacity to observe, analyze, and study these complex mechanisms, identifying and systematizing the cause-and-effect relationships that underpin them. Speaking about nature, it is important to emphasize that even those of its elements that seem stable and unchanging at first glance are, in fact, subject to continuous transformation. A vivid example of such dynamics is natural zones. When referring to various historical cartographic and literary sources, it becomes evident that the boundaries of such zones as the forest-steppe were not static. In different epochs, they had varying scales of extent and configurations, shifting under the influence of numerous

factors. This article presents the results of a theoretical study, the main aim of which was to forecast the potential consequences of the forest-steppe zone's boundary shift. In the course of our work, we aimed to comprehensively approach the problem under study: to identify the fundamental causes driving the movement of the forest-steppe boundaries, to determine the nature and scale of the changes caused by this process, as well as to predict the possible ecological, economic, and social effects that this transformation may lead to in the future.

REFERENCES

1. Bratkov VV, Lugovskoy AM. Rol' vremennykh faktorov v formirovaniy biomov perekhodnykh zon [The Role of Temporal Factors in the Formation of Transition Zone Biomes]. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Chemistry, Ecology and Rational Nature Management" (Magas, October 21–23, 2021)*. Makhachkala: ALEF; 2021: 160–163. (In Russian).
2. Pankina DV, Novikova LA, Mironova AA, et al. Geobotanicheskaya kharakteristika "Kuncherovskoi lesostepi" (po rezul'tatam tret'ego kartografirovaniya) [Geobotanical Characteristic of "Kuncherovskaya Forest-Steppe" (In the Third Mapping)]. *University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences*. 2015;4(12): 47–58. (In Russian).
3. Ukhacheva VN, Novikova LA, Strokina EI. Osnovnye ekologicheskie markery mnogoletnei dinamiki "Kazatskoi stepi" (Kurskaya oblast') [The Basic Ecological Markers of Long-Term Dynamics of the "Kazak Steppe" (Region of Kursk)]. *Proceedings of Penza State Pedagogical University Named after V.G. Belinsky*. 2011;25: 165–169. (In Russian).
4. Sharko ER. Vliyaniya izmenenii klimata na sel'skoe khozyaistvo v regionakh Rossiiskoi Federatsii [The Impact of Climate Change on Agriculture in the Regions of the Russian Federation]. *Theoretical and Applied Economics*. 2022;1: 11–24. (In Russian). DOI:10.25136/2409-8647.2022.1.35866.
5. Novikova LA. Sokhraneniye lugovykh stepei Privolzhskoi vozvysheynosti v usloviyakh zapovednika [Conservation of Meadow Steppes in the Privolzhskaya Uplands in the Conditions of the Reserve]. *Steppe Science*. 2019;15: 236–239. (In Russian). DOI:10.24411/9999-006A-2019-11534.
6. Volokitin MP. Izmeneniya v protsessakh pochvoobrazovaniya pri global'nom izmenenii klimata [Changes in Soil Formation Processes under Global Climate Change]. *Eurasian Union of Scientists*. 2019;10-2 (67): 15–19. (In Russian). DOI:10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.67.348.
7. Filippova EV. Vliyaniye estestvennykh i antropogennykh faktorov na gidrologicheskii rezhim reki Ingoda [Influence of Natural and Anthropogenic Factors on the Hydrological Regime of the Ingoda River]. *Transbaikal State University Journal*. 2014;6: 21–27. (In Russian).
8. Kucherov SE, Kucherova SV, Martynenko VB, et al. Klimaticheskii signal v godichnykh sloyakh duba chereshchatogo (*Quercus robur* L.) na yugo-vostochnoi granitse ego areala v basseine r. Ural [The Climatic Signal in Tree Rings of the Common Oak

- (*Quercus Robur* L.) on the South Eastern Border of Its Range in the Ural River Basin, Russia]. *South of Russia: Ecology, Development*. 2023;18(1): 34–45. (In Russian). DOI:10.18470/1992-1098-2023-1-34-45.
9. Dmitrieva VA. Anomalii vesennego polovod'ya v Donskom basseine i ikh vodokhozyaistvennyye i gidroekologicheskie posledstviya [Anomalies of Spring Flood in Don River Basin and Their Water Management and Hydroecological Consequences]. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*. 2018;2(42): 181–190. (In Russian). DOI:10.18413/2075-4671-2018-42-2-181-190.
10. Karpachevsky LO. Osobennosti formirovaniya Srednerusskoi polosy [Features of the Central Russian Belt' Formation]. *History and Modernity*. 2012;1: 147–154. (In Russian).
11. Ershova EG, Ponomarenko EV, Aleksandrovskii AL, et al. Radiouglerodnyi vozrast gorizontov rannei podseki na territorii Russkoi ravniny [Radiocarbon Age of Early Slash-And-Burn Horizons on the Territory of the Russian Plain]. *Radiocarbon in Archaeology and Paleoecology: Past, Present, Future: Proceedings of the International Conference*. St. Petersburg: IIMK RAS; 2020: 29. DOI:10.31600/978-5-91867-213-6-29.

AUTHORS

Rustem R. Shakirov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geography, Faculty of Cartography

 0009-0000-5418-0543

Alexander M. Lugovskoy

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Geography, Faculty of Cartography
Dr. of Sci. (Geography), Professor

 0000-0002-3985-4535

Submitted: June 29, 2025. Accepted: October 24, 2025. Published: October 31, 2025.



Особенности формирования цифровой модели рельефа по результатам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна

А.А. Дычко¹✉, Л.В. Быков¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Омск, Россия
✉ dychkooa@yandex.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Дычко А.А., Быков Л.В. Особенности формирования цифровой модели рельефа по результатам аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна // Пространственные данные: наука и технологии. 2025. Т. 16, № 3. С. 32–41. DOI:10.30533/scidata-2025-16-13.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

беспилотное воздушное судно, интерполяция, фотограмметрическая обработка аэроснимков, цифровая модель, экстраполяция

АННОТАЦИЯ

В данной статье исследована возможность использования методов интерполяции и экстраполяции при построении цифровой модели рельефа в условиях лесостепной зоны. Оценивается целесообразность применения указанных методов в этой географической области, учитывая ее особенности и характер рельефа. Описаны проблемы, возникающие при построении цифровых моделей рельефа, полученных по результатам фотограмметрической обработки аэроснимков с беспилотного воздушного судна. Проведен сравнительный анализ точности различных подходов. Изучены факторы, влияющие на точность при использовании обоих методов, такие как процент залесенности участка и расположение лесных массивов в отдельно заданных областях. В рамках исследования выявлены основные факторы, влияющие на качество моделирования, включая плотность исходных

данных, характер рельефа и параметры используемых алгоритмов. Полученные результаты позволяют определить наиболее эффективные методы для повышения точности цифровых моделей рельефа в лесостепной зоне. Исследование способствует развитию методов цифрового моделирования рельефа и может быть использовано при проектировании линейных объектов, планировании природоохранных мероприятий, сельскохозяйственных работах, а также при топографо-геодезических работах и картографировании в условиях данной природной зоны.

1 Введение

Беспилотные воздушные суда (БВС), оснащенные спутниковыми приемниками геодезического класса, нашли широкое применение в проведении инженерных изысканий для проектирования различных объектов [1]. Их популярность обусловлена высокой точностью получаемой информации, скоростью сбора данных и относительно низкими затратами на производство конечного результата [2].

Несмотря на значительные преимущества данной технологии, она сопряжена с рядом ограничений как в правовой [3], так и в технической сфере. Особенно это касается БВС, оснащенных лишь аэрофотокамерой и лишенных систем LiDAR [4] (англ. Light Detection and Ranging — «обнаружение и определение дальности при помощи света»). При обработке данных аэрофотосъемки, выполненной с использованием БВС, в условиях плотной сомкнутости крон добиться достоверного определения высотных отметок рельефа в лесных массивах практически невозможно. Для создания точной и корректной цифровой модели рельефа [5], как правило, требуется проведение дополнительных полевых измерений с применением традиционных наземных геодезических методов съемки. Это ведет к увеличению времени обработки и удорожанию готовой продукции.

2 Материалы и методы

Исследуемая территория располагается в центральной части Омской области и представляет собой равнинный ландшафт, преобладающая часть которого занята сельскохозяйственными угодьями. Территория покрыта развитой сетью автомобильных дорог и включает участки с высокоствольными лесными массивами как естественного, так и искусственного происхождения. Для проведения аэрофотосъемки был задействован беспилотный воздушный комплекс «Геоскан 201».

Результатом аэрофотосъемки стал набор фотоснимков [6], которые в дальнейшем были обработаны в фотограмметрическом программном обеспечении (ПО)

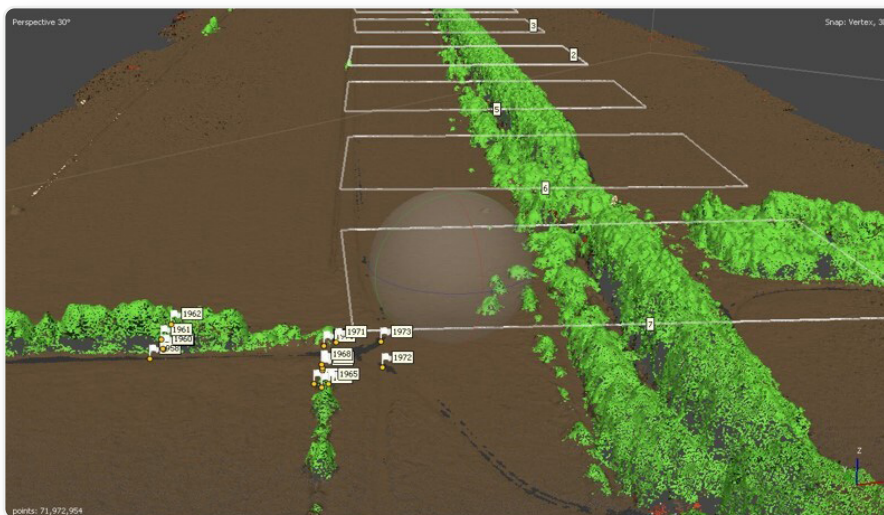
Agisoft Metashape. После обработки [7] было получено плотное облако точек¹ [8, 9], классифицированное стандартными средствами ПО.

Параллельно с аэрофотосъемкой на заданном участке работ проводился комплекс наземных контрольных измерений с применением электронного тахеометра. В результате был получен набор точек с известными плано-высотными координатами.

Поскольку объект исследования расположен в равнинной местности, можно предположить, что уклон рельефа на небольших участках будет относительно стабильным, без значительных перепадов высот. В таких условиях для восстановления данных о рельефе под пологом леса целесообразно применить методы интерполяции и экстраполяции [10]. Наиболее точным, на наш взгляд, может стать подход, основанный на построении профилей и поверхностей поперек оси проектируемого объекта (рис. 1).

Рис. 1 Поверхности, построенные поперек оси проектируемой трассы

Fig. 1 Surfaces constructed across the axis of the designed route



Точки облака, попадающие в каждый подобный участок, образуют поверхность, которую можно описать формулой

1
$$Z = A_0 + A_1 X + A_2 Y,$$

где A_0 — свободный член;

X, Y, Z — известные координаты точек, образующих поверхность;

A_1 и A_2 — коэффициенты, которые показывают, как изменения в X и Y влияют на значение Z .

¹ Чибуничев А.Г. Фотограмметрия: учебник. М.: МИИГАиК, 2022. 327 с.

Решением данного уравнения являются коэффициенты A_0 , A_1 и A_2 , с помощью которых можно определить предполагаемую высоту любой точки на поверхности, используя ее плановые координаты X и Y . При расчетах использовались точки, отнесенные к слою «Земля». Все точки, попадающие в границы лесных массивов, были заранее исключены из анализа.

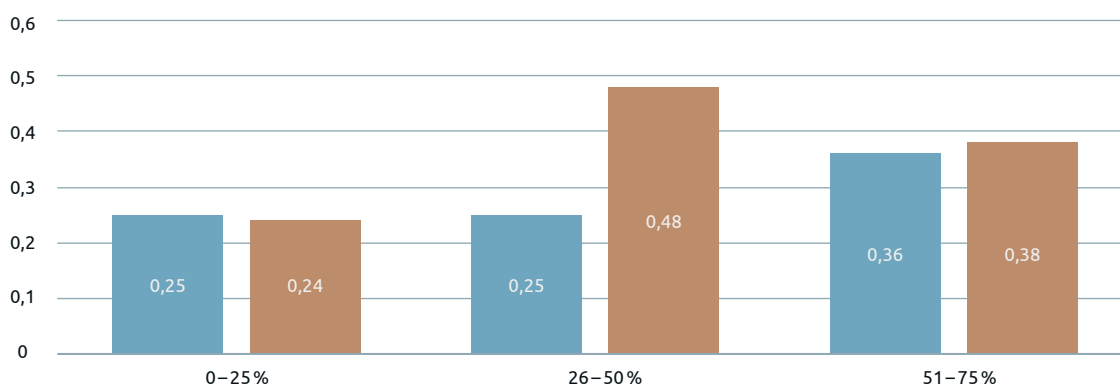
После этого было определено отклонение высоты контрольных и вычисленных по формуле (1) точек.

3 Результаты

Участки были ранжированы по проценту залесенности и по методу вычисления точек (интерполированные и экстраполированные). Средние значения разности высот представлены на **рис. 2**.

Рис. 2 Средние отклонения высоты точек в зависимости от процента залесенности территории

Fig. 2 Average deviations of the height of points depending on the percentage of forest cover of the territory



Условные обозначения

- Интерполяция
- Экстраполяция

Всего было обработано 10 км трассы, включающие участки с различной степенью покрытия лесными массивами. На эти участки пришлось выборка из 240 точек: 120 контрольных и 120 вычисленных, соответствующих контрольным в плановом положении.

4 Обсуждение

Вычисление точек проводилось двумя методами. Если участок леса располагался таким образом, что слева и справа от него были точки фотограмметрического облака, по которым выполнялось решение уравнения (1), то он относился к группе интерполированных. Участок леса, расположенный ближе к границе и пересекающий ее, принадлежал группе экстраполированных.

При относительно небольшой степени залесенности (до 25 %) полученные значения идентичны и не зависят от метода вычисления точек, поскольку количество точек класса «Земля» достаточно велико и позволяет вычислить значение высоты точек под пологом леса с точностью, достаточной для формирования топографической основы масштаба 1:500–1:1000.

Наиболее интересные значения получились во второй группе, которую составляют участки с процентом залесенности от 26 до 50 %. Группа интерполированных точек показала практически двухкратное увеличение точности вычисления в сравнении с экстраполированными точками. При этом не замечено падение точности в группе интерполированных точек относительно группы с процентом залесенности до 25 %.

При увеличении площади покрытия леса свыше 50 % наблюдается резкое снижение точности высоты вычисленных точек. Вероятно, это связано с недостаточным количеством исходных точек класса «Земля».

5 Выводы

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Выбор методики вычисления особенно сильно влияет на точность конечного результата при средней степени залесенности поперечников.
2. Для слабозалесенных участков (до 25 %) допустимо применение обоих методов вычисления высоты точек для восстановления рельефа под кронами деревьев.
3. На поперечниках, до 50 % площади которых покрыто высокоствольной растительностью, предпочтительно использовать только метод интерполяции.
4. Точность полученных значений удовлетворяет созданию топографической основы с высотой сечения 1,0 м. При соблюдении ряда условий возможно создание топографической основы с высотой сечения 0,5 м.
5. Методика позволяет в камеральных условиях выбирать участки для полевого контроля, что, в свою очередь, способствует оптимизации выполнения работ.

БИБЛИОГРАФИЯ


1. Бабашкин Н.М., Нехин С.С. Топографическая аэросъемка. Современное состояние и перспективы развития // Геодезия и картография. 2015. № 7. С. 36–41. DOI:10.22389/0016-7126-2015-901-7-36-41.
2. Турк Г.Г., Карачёв Н.К. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в геодезии // Вектор ГеоНаук. 2023. Т. 6, № 2. С. 56–60. DOI:10.24412/2619-0761-2023-2-56-60.
3. Зазулин В.А., Чернов А.В., Ершов А.В. Особенности использования беспилотных летательных аппаратов при выполнении кадастровых работ на территории Новосибирской области // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Международный научный конгресс: сборник материалов: в 8 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2022. Т. 7, № 1. С. 45–52.
4. Низаметдинов Н.Ф., Моисеев П.А., Воробьев И.Б. Лазерное сканирование и аэрофотосъемка с БПЛА в исследовании структуры лесотундровых древостоев Хибин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2021. № 4 (382). С. 9–22. DOI:10.37482/0536-1036-2021-4-9-22.
5. Зарипов А.С. Особенности создания трехмерной цифровой модели центрального планировочного района города Перми по данным аэрофотосъемки // Вестник СГУГиТ. 2020. Т. 25, № 3. С. 160–168. DOI:10.33764/2411-1759-2020-25-3-160-168.
6. Хлебникова Т.А., Опритова О.А., Аубакирова С.М. Экспериментальные исследования точности построения фотограмметрической модели по материалам БПЛА // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Международный научный конгресс: сборник материалов: в 2 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2018. Т. 1. С. 32–37.
7. Ушнова С.В., Желтко Ч.Н., Жулин Я.И. О фототриангуляции для составления ортофотоплана // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2015. № 2. С. 61–68.
8. Кочуров Б.И., Карандеев А.Ю., Мерекалова К.А. и др. Выделение древесной растительности с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для оценки зеленой инфраструктуры городских ландшафтов // Проблемы региональной экологии. 2021. № 5. С. 42–47. DOI:10.24412/1728-323X-2021-5-42-47.
9. Захлебин А.С. Метод обработки материалов аэрофотосъемки для построения геопривязанного ортофотоплана местности с телевизионной камеры беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4 PRO // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2021. № 4 (53). С. 26–35. DOI:10.17212/1727-2769-2021-4-26-35.
10. Быков Л.В., Дычко А.А. Особенности построения модели рельефа при линейных изысканиях по материалам аэрофотосъемочных работ с БВС в лесостепной зоне // Геодезия и картография. 2025. Т. 86, № 1. С. 2–9. DOI:10.22389/0016-7126-2025-1015-1-2-9.

АВТОРЫ

Дычко Андрей Александрович

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»,
Омск, Россия

кафедра геодезии и дистанционного зондирования, землеустроительный факультет

 0009-0007-4676-3686


Быков Леонид Васильевич

 blv-55@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»,
Омск, Россия

кафедра геодезии и дистанционного зондирования, землеустроительный факультет

канд. техн. наук, доцент

 0009-0000-5670-5761

Поступила 13.06.2025. Принята к публикации 24.10.2025. Опубликовано 31.10.2025.

UDC 528.7

DOI:10.30533/scidata-2025-16-13



Features of Digital Formation of the Model Relief Based on the Results of Aerial Photography from Unmanned Aerial Vehicles

Andrei A. Dychko¹✉, Leonid V. Bykov¹

AFFILIATIONS

¹ Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

✉ dychkoaa@yandex.ru

CITATION

Dychko AA, Bykov LV. Features of Digital Formation of the Model Relief Based on the Results of Aerial Photography from Unmanned Aerial Vehicles. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(3): 32–41. DOI:10.30533/scidata-2025-16-13.

KEYWORDS

unmanned aerial vehicle, interpolation, photogrammetric processing of aerial photographs, digital model, extrapolation

ABSTRACT

This article explores the feasibility of using interpolation and extrapolation methods to construct a digital elevation model in the forest-steppe zone. The feasibility of applying these methods in this geographic area is assessed, taking into account its features and the nature of the terrain. The challenges encountered in constructing digital elevation models obtained from photogrammetric processing of aerial photographs taken by an unmanned aerial vehicle (UAV) are described. A comparative analysis of the accuracy of various approaches is conducted. Factors influencing the accuracy of both methods are examined, including the percentage

of forest cover and the location of forested areas within specific areas. The study identified the main factors influencing modeling quality, including the density of the initial data, the nature of the terrain, and the parameters of the algorithms used. The results obtained make it possible to identify the most effective methods for improving the accuracy of digital elevation models in the forest-steppe zone. The study contributes to the development of digital terrain modeling methods and can be used in the design of linear objects, planning environmental measures, agricultural work, as well as in topographic and geodetic work and mapping in the conditions of this natural zone.


REFERENCES

1. Babashkin NM, Nekhin SS. Topograficheskaya aeros''emka. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [Topographical Aerial Photography. Situation and Development Prospects]. *Geodesy and Cartography*. 2015;7: 36–41. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2015-901-7-36-41.
2. Turk GG, Karachev NK. Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov (BPLA) v geodezii [Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Geodesy]. *Vector of Geosciences*. 2023;6(2): 56–60. (In Russian). DOI:10.24412/2619-0761-2023-2-56-60.
3. Zazulin VA, Chernov AV, Ershov AV. Osobennosti ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri vypolnenii kadastrykh rabot na territorii Novosibirskoi oblasti [Features of the Use of Unmanned Aerial Vehicles when Performing Cadastral Works on the Territory of the Novosibirsk Region]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of XVIII International Scientific Congress*. In 8 vols. Vol. 7. Iss. 1. Novosibirsk: SSUGT; 2022: 45–52. (In Russian).
4. Nizametdinov NF, Moiseev PA, Vorob'ev IB. Lazernoe skanirovanie i aerofotos''emka s BPLA v issledovanii struktury lesotundrovnykh drevostoev Khibin [Laser Scanning and Aerial Photography with UAV in Studying the Structure of Forest-Tundra Stands in the Khibiny Mountains]. *Russian Forestry Journal*. 2021;4(382): 9–22. (In Russian). DOI:10.37482/0536-1036-2021-4-9-22.
5. Zaripov AS. Osobennosti sozdaniya trekhmernoi tsifrovoi modeli tsentral'nogo planirovochnogo raiona goroda Permi po dannym aerofotos''emki [Creating a Three-Dimensional Digital Surface Model of the Central Planning District of Perm Based on Aerial Survey Data]. *Vestnik SSUGT*. 2020;25(3): 160–168. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2020-25-3-160-168.
6. Khlebnikova TA, Opritova OA, Aubakirova SM. Eksperimental'nye issledovaniya tochnosti postroeniya fotogrammetricheskoi modeli po materialam BPLA [Experimental Studies of Photogrammetric Model Accuracy by UAV]. *Interexpo GEO-Siberia. Proceedings of XIV International Scientific Congress*. In 2 vols. Vol. 1. Novosibirsk: SSUGT; 2018: 32–37. (In Russian).



7. Ushnova SV, Zheltko ChN, Zhulin Ya. O fototriangulyatsii dlya sostavleniya ortofotoplana [About Triangulation to Produce Orthophoto]. *Scientific Papers of Kuban State Technological University*. 2015;2: 61–68. (In Russian).
8. Kochurov BI, Karandeev AYu, Merikalova KA, et al. Vydelenie drevesnoi rastitel'nosti s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov (BPLA) dlya otsenki zelenoi infrastruktury gorodskikh landshaftov [Identification of Trees Canopy Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Assessing Green Infrastructure of Urban Landscapes]. *Regional Environmental Issues*. 2021;5: 42–47. (In Russian). DOI:10.24412/1728-323X-2021-5-42-47.
9. Zakhlebin AS. Metod obrabotki materialov aerofotos'emki dlya postroeniya geoprivязannogo ortofotoplana mestnosti s televizionnoi kamery bespilotnogo letatel'nogo apparata DJI Phantom 4 PRO [A Method of Processing Aerial Photography Materials for Building a Georeferenced Orthomosaic of the Terrain from a Television Camera of the Unmanned Aerial Vehicle DJI Phantom 4 PRO]. *Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*. 2021;4(53): 26–35. (In Russian). DOI:10.17212/1727-2769-2021-4-26-35.
10. Bykov LV, Dychko AA. Osobennosti postroeniya modeli rel'efa pri lineinykh izyskaniyakh po materialam aerofotos'emochnykh rabot s BVS v lesostepnoi zone [Features of Relief Model Constructing at Linear Surveys Based on UAV-Aerial Photography Materials in the Forest-Steppe Zone]. *Geodesy and Cartography*. 2025;86(1): 2–9. DOI:10.22389/0016-7126-2025-1015-1-2-9.

AUTHORS

Andrei A. Dychko

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia
Department of Geodesy and Remote Sensing, Faculty of Land Management
 0009-0007-4676-3686

Leonid V. Bykov

 blv-55@yandex.ru
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia
Department of Geodesy and Remote Sensing, Faculty of Land Management
PhD in Engineering, Associate Professor
 0009-0000-5670-5761

Submitted: June 13, 2025. Accepted: October 24, 2025. Published: October 31, 2025.



Применение компьютерного моделирования для задач учета температурных деформаций железобетонных сооружений в процессе геодезического сопровождения строительства

А.А. Михайлов¹✉

АФФИЛИАЦИИ

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия
✉ artmihailov2000@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ

Михайлов А.А. Применение компьютерного моделирования для задач учета температурных деформаций железобетонных сооружений в процессе геодезического сопровождения строительства // *Пространственные данные: наука и технологии*. 2025. Т. 16, № 3. С. 42–59. DOI:10.30533/scidata-2025-16-10.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

температурная деформация, компьютерное моделирование, моделирование деформаций, программный комплекс ЛИРА-САПФИР

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена проблеме учета температурных деформаций высотных железобетонных зданий при геодезическом сопровождении строительства. Рассмотрены существующие подходы, требующие значительных аппаратных и кадровых затрат. Предложен альтернативный метод, основанный на компьютерном моделировании с использованием программного комплекса ЛИРА-САПФИР вызванных тепловым расширением деформаций

всех железобетонных элементов здания. Описан процесс создания трехмерной конечно-элементной модели 23-этажного здания. Выполнено сравнение расчетных перемещений узлов модели с фактическими координатами марок-катафотов, измеренными электронным тахеометром. Установлено, что расхождение модели и натуральных данных для нижних этажей невелико, в отличие от верхних этажей. Основные причины расхождений — угол падения визирного луча на отражатель и вертикальная рефракция, а также автоматическое определение армирования без ручной настройки. Сделан вывод о принципиальной применимости компьютерного моделирования для учета температурных деформаций. При этом построенная модель требует доработки, а в процессе экспериментальной проверки необходимо учитывать указанные инструментальные погрешности и выполнять интерполяцию перемещений между узлами для марок, расположенных вне узлов сетки. Рекомендуется использовать уголкового пленочные или призмные отражатели для повышения точности измерений на верхних этажах.

1 Введение

На данный момент одним из основных направлений развития крупных городов является строительство высотных и сверхвысотных многофункциональных комплексов. Объекты такого типа требуют особого подхода к геодезическому обеспечению их возведения. Важнейшей задачей является обеспечение вертикальности сооружения и соосности его несущих элементов. Для решения данной задачи создаются поэтажные внутренние разбивочные сети (ВРС), пункты которых закрепляются на плитах перекрытий и на вертикальных несущих конструкциях. Однако высотные сооружения подвержены влиянию различных факторов окружающей среды и динамическим нагрузкам, таким как неравномерный нагрев каркаса солнцем и ветровые нагрузки. Данные факторы могут влиять на положение пунктов ВРС, и, если это не будет учтено, оси несущих элементов предыдущего и последующего этажей не совпадут.

Одним из решений поставленной выше задачи является комплексное использование геотехнических датчиков, спутниковой геодезической аппаратуры и электронных тахеометров¹ [1, 2]. Однако такое решение требует значительного количества устройств, специального программного обеспечения и большого штата высококвалифицированных геодезистов. Разрабатываются также методики, позволяющие определять деформации высотных зданий при помощи анализа спутниковых фотоснимков [3].

Особое внимание уделяется учету деформаций, вызванных изменениями температуры и ветровой нагрузкой [4, 5]. Альтернативным решением может

¹ Engineering the World's Tallest – Burj Dubai. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1326-engineering-the-worlds-tallest-burj-bubai.pdf> (дата обращения: 18.06.2025).

стать компьютерное моделирование деформаций железобетонных конструкций. Работы по моделированию деформаций зданий и железобетонных конструкций [6, 7] ведутся достаточно давно.

Основой для моделирования может служить метод конечных элементов, широко применяемый для задач проектирования и расчета несущих конструкций. Он лежит в основе ряда программных комплексов, таких как ПК ЛИРА-САПФИР, RSTAB 9, SCAD и др. Вопросу о возможности применения подобных программных комплексов для задач моделирования и учета температурных деформаций посвящена данная работа.

2 Материалы и методы

Для моделирования и дальнейшей проверки работоспособности модели было выбрано каркасное 23-этажное здание из монолитного железобетона с архитектурной высотой 90 м. В соответствии с СП 267.1325800.2016², данное здание является высотным, т. к. имеет высоту более 75 м. Таким образом, выбор здания соответствует задачам исследования.

Для моделирования выбран программный комплекс ЛИРА-САПФИР. Он имеет весь необходимый функционал для создания трехмерной модели здания, преобразования ее в модель с конечными элементами с целью задания и расчета нагрузок и вычисления перемещения узлов. Важно также отметить удобный и интуитивно понятный (для опытного пользователя системы автоматизированного проектирования) интерфейс и наличие свободно распространяемой некоммерческой версии программы. Важным фактором является наличие статей по верификации расчетов, выполняемых данным программным комплексом. Эти материалы доступны на официальном сайте продукта³. Применение программного комплекса ЛИРА для задач учета температурных деформаций описано в работе [8].

Программный комплекс ЛИРА-САПФИР состоит из двух программ: ЛИРА-САПР и САПФИР. Непосредственное создание модели по рабочей документации (**рис. 1**) выполнено в программе САПФИР. При этом работа ведется с такими элементами, как стена, колонна, балка и плита перекрытия, которые не являются конечными элементами и не подходят для расчетов нагрузок и перемещений.

² СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования: утв. приказом Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1032/пр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13665/> (дата обращения: 18.06.2025).

³ Верификация // Лира сервис: официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rflira.ru/kb/118/> (дата обращения: 18.06.2025).

Моделирование велось в следующем порядке:

- 1) создание строительных осей здания;
- 2) построение нового этажа и отрисовка вертикальных несущих конструкций (стен);
- 3) создание горизонтальных несущих конструкций (плит);
- 4) разработка типового этажа и отрисовка вертикальных несущих конструкций (стен и колонн);
- 5) копирование типового этажа и редактирование вертикальных несущих конструкций для нетиповых этажей.

Важно отметить, что в процессе отрисовки несущих конструкций задавались параметры бетона, соответствующие параметрам, указанным в рабочей документации.

После создания трехмерной модели здания был выполнен ее экспорт в ЛИРА-САПР с преобразованием всех элементов модели в конечные элементы, такие как стержни, узлы и т.п. Далее была получена модель, представленная на рис. 2.

На этом первая задача исследования была выполнена: получена трехмерная модель здания, подходящая для расчета нагрузок и перемещений.

Рис. 2 Модель в конечных элементах

Fig. 2 Finite element model

Рис. 1 Полученная модель здания

Fig. 1 The obtained building model

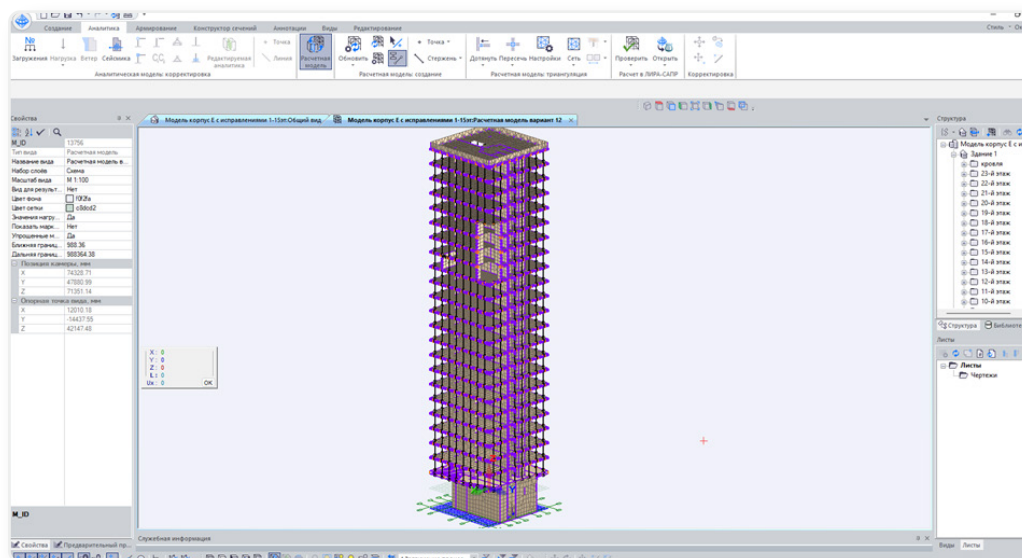
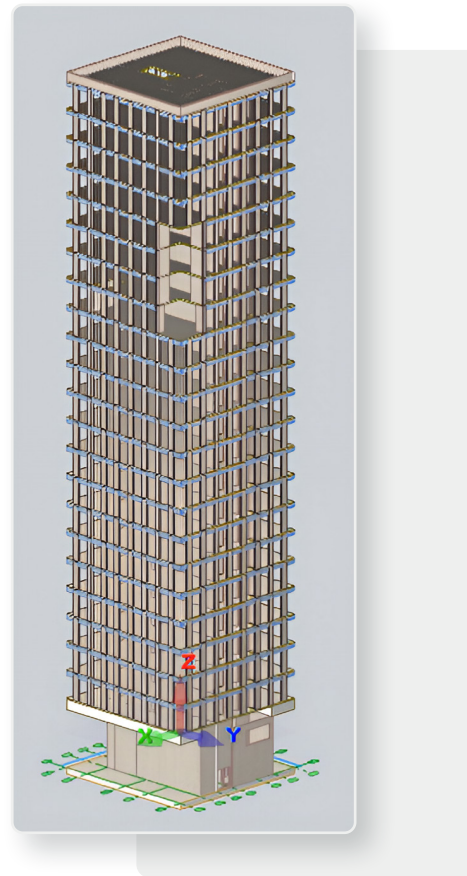
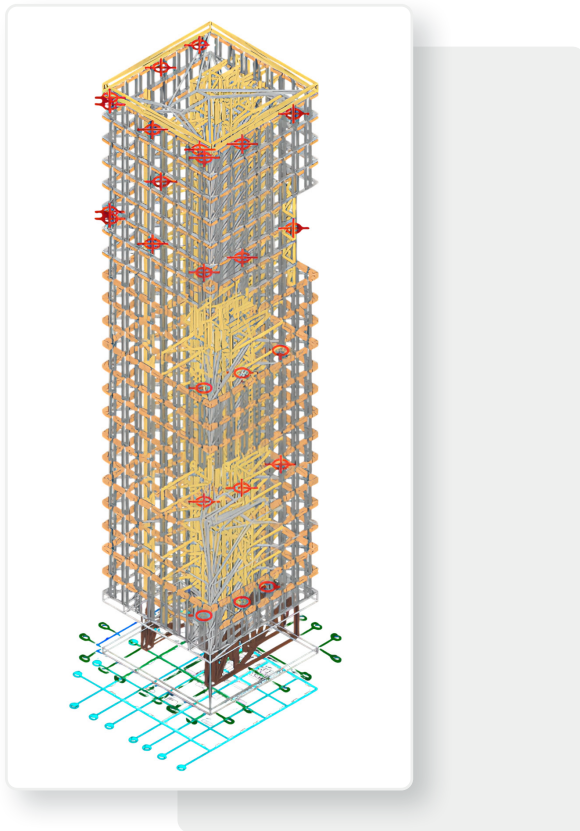


Рис. 3 Схема расположения марок на здании

Fig. 3 Layout diagram of marks on the building



Далее проводились полевые работы по определению фактических перемещений марок-катафотов, закрепленных на здании. Схема расположения марок приведена на **рис. 3**.

Измерения положения геодезических марок, размещенных на здании, выполнялись электронным тахеометром относительно исходных пунктов, закрепленных на несущих стенах первого этажа моделируемого здания. Для нахождения исходного положения пунктов измерения проводились в пасмурную погоду, когда температура всех элементов здания была одинакова и составляла $+6^{\circ}\text{C}$. Для определения деформаций измерения проводились в ясную погоду, когда часть здания была освещена солнцем. В этот момент также при помощи пирометра измерялась температура несущих элементов здания.

На следующем этапе выполнялось моделирование по данным измерения температуры, вычислялись координаты марок в деформированном состоянии путем сложения координат в недеформированном состоянии и величин перемещений из таблицы перемещений. Моделирование проводилось путем задания соответствующих нагрузок. В данном случае, помимо стандартных нагрузок от собственного веса здания, была задана нагрузка на стержни, называемая в программе «Неравномерный нагрев».

Затем при помощи соответствующей команды выполняется расчет, после которого можно сформировать стандартные таблицы отчета. Среди последних для данной работы необходима только таблица перемещений.

Марки были размещены на колоннах, которые после экспорта в ЛИРА-САПР были преобразованы в стержни. Места примыкания колон и плит перекрытий преобразованы в узлы. В результате расчета программа позволяет сформировать таблицу перемещений узлов по каждой оси координат. Однако поскольку марки расположены не в узлах, а между ними, то для того чтобы получить перемещение марки, необходимо выполнить интерполирование величины перемещения по каждой оси между двумя узлами. После прибавления к исходным координатам вычисленных перемещений были получены координаты марок в деформированном состоянии.

Для полевых работ использовались следующие приборы:

- 1) электронный тахеометр Leica TS06 R500, имеющий следующие характеристики:
 - точность угловых измерений: 5";
 - компенсатор двухосевой с диапазоном работы $\pm 4'$;
 - дальность измерения на одну призму: 1,3–3500 м;
 - точность линейных измерений на одну призму: $\pm 1,5$ мм + 2 мм/км;
 - дальность измерения на отражающую пленку: 1,3–400 м;
 - точность линейных измерений на отражающую пленку: $\pm 1,5$ мм + 2 мм/км;
 - дальность измерений без отражателя: 0,3–500 м;
 - точность линейных измерений без отражателя: ± 2 мм + 2 мм/км;
 - увеличение зрительной трубы: 30х;
- 2) пиrometer RGK PL-7 MAX.

3 Результаты и обсуждение

Результаты измерений представлены в **табл. 1** и **2**. Обратим внимание, что для точки 12 характерно значительное расхождение между измеренными и полученными при моделировании перемещениями и отклонение от общей тенденции. По мнению автора, это вызвано помехой на визирной линии в момент измерения, т. к. исследование проводилось в условиях действующего строительства. Тем не менее этот вопрос требует уточнения при дальнейшей настройке и проверке модели. В **табл. 3** представлены данные о перемещении узлов модели.

Таблица 1 Исходные координаты

Table 1 Initial coordinates

Точка	X, м	Y, м	H, м	T, °C
1	600,009	221,925	93,929	+6
2	605,843	223,090	93,812	+6
3	615,284	223,077	93,909	+6
4	617,654	203,408	93,857	+6
5	610,566	203,404	93,804	+6
6	601,129	203,412	93,730	+6
7	599,956	204,595	93,805	+6
8	599,948	212,476	93,758	+6
9	599,952	221,915	75,691	+6
10	605,850	223,076	75,678	+6
11	615,286	223,089	75,646	+6

Точка	X, м	Y, м	H, м	T, °C
12	617,640	203,451	77,199	+6
13	610,556	203,407	75,616	+6
14	601,124	203,418	75,537	+6
15	599,951	204,589	75,590	+6
16	599,962	212,475	75,553	+6
17	599,967	221,903	57,241	+6
18	605,851	223,074	57,293	+6
19	612,921	223,057	57,327	+6
20	599,958	221,918	39,146	+6
21	605,848	222,990	38,911	+6
22	612,929	223,075	39,175	+6

Таблица 2 Координаты в момент деформаций

Table 2 Coordinates at the time of deformation

Точка	X, м	Y, м	H, м	T ₁ , °C	T ₂ , °C
1	600,012	221,924	93,938	+13	+17
2	605,844	223,083	93,8094	+12	+18
3	615,285	223,075	93,9134	+13	+20
4	617,655	203,412	93,860	+13	+12
5	610,569	203,405	93,807	+13	+13
6	601,132	203,405	93,738	+13	+12
7	599,959	204,594	93,811	+13	+15
8	599,947	212,472	93,764	+13	+20
9	599,955	221,912	75,697	+13	+18
10	605,850	223,075	75,681	+12	+18
11	615,287	223,086	75,650	+13	+18
12	617,634	203,415	75,679	+13	+13
13	610,557	203,405	75,616	+13	+13
14	601,126	203,418	75,540	+13	+13
15	599,957	204,591	75,589	+12	+16
16	599,961	212,472	75,556	+12	+18
17	599,966	221,901	57,244	+12	+17
18	605,850	223,068	57,295	+10	+16
19	612,920	223,056	57,330	+12	+18
20	599,960	221,915	39,151	+11	+17
21	605,847	222,988	38,913	+10	+16
22	612,928	223,071	39,177	+11	+13

Таблица 3 Перемещения узлов верха колонны

Table 3 Displacements of nodes at the top of the column

Точка	Узел	Загрузка 1, мм			Загрузка 2, мм			Загрузка 3, мм			Загрузка 4, мм			Общая, мм		
		ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH
1	23 477	-1,44	-1,11	-2,35	-0,52	-1,84	-1,52	-0,50	-1,78	-1,47	2,18	14,92	21,60	-0,28	10,19	16,26
2	23 489	-1,42	-1,24	-1,87	-0,44	-1,83	-1,68	-0,43	-1,78	-1,63	0,29	14,15	29,59	-2,01	9,29	24,41
3	23 641	-1,38	-0,96	-2,58	-0,55	-1,84	-1,29	-0,53	-1,78	-1,25	3,43	15,34	17,29	0,98	10,76	12,16
4	23 471	-1,63	-0,80	-1,59	-0,57	-1,98	-1,17	-0,55	-1,93	-1,14	2,96	19,94	19,91	0,21	15,23	16,00
5	23 462	-1,57	-0,98	-2,19	-0,52	-1,98	-1,54	-0,50	-1,92	-1,50	1,78	19,31	23,87	-0,81	14,43	18,64
6	23 450	-1,82	-0,97	-1,76	-0,45	-1,98	-1,77	-0,43	-1,92	-1,72	-0,66	18,59	32,21	-3,36	13,71	26,96
7	23 423	-1,93	-1,02	-1,56	-0,43	-1,97	-1,76	-0,42	-1,91	-1,71	-1,15	18,39	31,66	-3,94	13,50	26,63
8	23 432	-1,64	-1,08	-2,68	-0,44	-1,92	-1,62	-0,42	-1,86	-1,58	-0,40	17,26	21,25	-2,90	12,40	15,37
9	18 404	-1,26	-1,19	-3,06	-0,33	-1,16	-1,51	-0,32	-1,12	-1,47	-0,56	5,85	16,80	-2,47	2,38	10,76
10	18 440	-1,46	-1,15	-3,78	-0,36	-1,15	-1,51	-0,35	-1,12	-1,47	-0,22	6,00	16,13	-2,38	2,58	9,37
11	18 085	-1,56	-0,69	-3,26	-0,35	-1,03	-1,17	-0,34	-1,00	-1,14	0,06	6,04	13,15	-2,19	3,32	7,59
12	18 428	-1,54	-0,82	-2,85	-0,40	-1,24	-1,08	-0,39	-1,20	-1,05	0,83	9,38	13,46	-1,51	6,13	8,49
13	18 419	-1,53	-1,00	-3,30	-0,38	-1,23	-1,40	-0,36	-1,20	-1,36	0,02	8,69	16,54	-2,25	5,26	10,48
14	18 407	-1,76	-1,06	-3,00	-0,34	-1,23	-1,61	-0,33	-1,20	-1,56	-1,53	7,89	19,83	-3,96	4,40	13,65
15	18 380	-1,85	-1,09	-2,92	-0,33	-1,23	-1,60	-0,32	-1,19	-1,56	-1,86	7,83	19,02	-4,37	4,32	12,93
16	18 389	-1,59	-1,13	-3,46	-0,33	-1,20	-1,48	-0,32	-1,17	-1,44	-1,22	7,31	13,14	-3,47	3,81	6,76
17	13 709	-0,47	-0,59	-3,00	-0,14	-0,55	-1,18	-0,14	-0,53	-1,14	0,44	1,65	8,21	-0,31	-0,03	2,89
18	13 844	-0,82	-0,58	-3,98	-0,17	-0,55	-1,19	-0,16	-0,53	-1,15	0,31	1,90	9,17	-0,85	0,24	2,84

Точка	Узел	Загрузка 1, мм			Загрузка 2, мм			Загрузка 3, мм			Загрузка 4, мм			Общая, мм		
		ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH
19	13 835	-0,80	-0,57	-3,29	-0,19	-0,55	-1,01	-0,19	-0,53	-0,98	0,67	2,35	9,42	-0,51	0,70	4,13
20	8 727	0,10	-0,16	-1,93	-0,04	-0,14	-0,66	-0,04	-0,14	-0,64	0,64	-0,02	4,31	0,66	-0,45	1,07
21	8 769	-0,24	-0,14	-2,27	-0,05	-0,14	-0,68	-0,05	-0,14	-0,66	0,34	0,23	4,34	-0,01	-0,19	0,74
22	8 760	-0,22	-0,11	-2,10	-0,07	-0,14	-0,59	-0,07	-0,14	-0,57	0,55	0,66	4,43	0,19	0,27	1,18

Таблица 4 Перемещения узлов низа колонны

Table 4 Displacements of nodes at the bottom of the column

Точка	Узел	Загрузка 1, мм			Загрузка 2, мм			Загрузка 3, мм			Загрузка 4, мм			Общая, мм		
		ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH
1	24 422	-1,50	-1,15	-1,33	-0,45	-1,99	-1,66	-0,43	-1,93	-1,62	-0,25	17,26	31,42	-2,62	12,20	26,81
2	24 450	-1,49	-1,19	-1,45	-0,46	-1,97	-1,68	-0,45	-1,92	-1,63	0,19	16,69	32,44	-2,21	11,61	27,68
3	24 593	-1,37	-0,98	-2,12	-0,57	-1,98	-1,30	-0,56	-1,92	-1,26	3,83	17,45	18,72	1,32	12,57	14,04
4	24 438	-1,51	-0,79	-1,19	-0,59	-2,14	-1,18	-0,58	-2,07	-1,15	3,80	22,44	21,51	1,13	17,45	17,99
5	24 432	-1,57	-0,90	-1,83	-0,54	-2,13	-1,55	-0,52	-2,07	-1,51	1,99	22,03	25,40	-0,63	16,93	20,51
6	24 424	-1,79	-0,94	-1,35	-0,46	-2,13	-1,78	-0,45	-2,07	-1,72	-0,54	21,46	35,07	-3,24	16,32	30,22
7	24 405	-1,84	-0,96	-1,10	-0,45	-2,12	-1,77	-0,44	-2,06	-1,72	-0,88	21,24	34,61	-3,60	16,10	30,02
8	24 411	-1,67	-0,87	-2,32	-0,45	-2,07	-1,63	-0,43	-2,01	-1,58	-0,53	20,59	23,32	-3,08	15,65	17,79
9	19 412	-1,30	-1,23	-2,93	-0,34	-1,29	-1,55	-0,33	-1,25	-1,51	-0,54	7,18	18,93	-2,51	3,42	12,94
10	19 448	-1,49	-1,19	-3,57	-0,38	-1,28	-1,55	-0,37	-1,24	-1,51	-0,04	7,30	17,87	-2,27	3,58	11,24
11	19 106	-1,65	-0,76	-3,35	-0,39	-1,16	-1,21	-0,38	-1,12	-1,17	0,28	7,17	13,44	-2,14	4,14	7,71

Точка	Узел	Загрузка 1, мм			Загрузка 2, мм			Загрузка 3, мм			Загрузка 4, мм			Общая, мм		
		ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH
12	19 436	-1,60	-0,85	-2,69	-0,44	-1,38	-1,11	-0,43	-1,34	-1,07	1,24	11,16	14,59	-1,23	7,58	9,72
13	19 427	-1,56	-1,04	-3,17	-0,40	-1,38	-1,44	-0,39	-1,34	-1,40	0,32	10,48	17,96	-2,03	6,72	11,95
14	19 415	-1,79	-1,09	-2,85	-0,35	-1,38	-1,66	-0,34	-1,34	-1,61	-1,45	9,69	22,14	-3,94	5,89	16,03
15	19 388	-1,88	-1,12	-2,76	-0,35	-1,37	-1,65	-0,34	-1,33	-1,60	-1,82	9,59	21,37	-4,39	5,77	15,35
16	19 397	-1,62	-1,16	-3,41	-0,35	-1,34	-1,52	-0,34	-1,30	-1,48	-1,16	8,92	14,62	-3,46	5,12	8,21
17	14 952	-0,58	-0,80	-3,09	-0,17	-0,67	-1,26	-0,17	-0,65	-1,22	0,60	2,07	8,91	-0,32	-0,04	3,34
18	14 857	-0,89	-0,73	-4,33	-0,16	-0,65	-1,27	-0,16	-0,63	-1,23	0,33	2,50	10,29	-0,87	0,49	3,45
19	14 848	-0,87	-0,56	-3,47	-0,19	-0,64	-1,08	-0,18	-0,62	-1,05	0,76	2,89	10,45	-0,49	1,06	4,85
20	9 740	0,04	-0,29	-2,23	-0,06	-0,21	-0,78	-0,06	-0,21	-0,75	0,80	0,09	5,08	0,72	-0,62	1,32
21	9 782	-0,25	-0,20	-2,64	-0,04	-0,20	-0,79	-0,04	-0,19	-0,77	0,38	0,46	5,26	0,06	-0,13	1,05
22	9 773	-0,23	-0,13	-2,40	-0,05	-0,19	-0,68	-0,05	-0,19	-0,66	0,64	0,86	5,39	0,31	0,36	1,64

Сравнение результатов моделирования с фактическими данными показано в табл. 5–7.

Таблица 5 Разность координат фактическая

Table 5 Actual coordinate differences

Точка	X, мм	Y, мм	H, мм
1	2,8	-1,25	8,65
2	1,35	-6,55	-2,55
3	0,6	-2,05	3,9
4	1,8	4,25	2,45
5	2,7	1,1	4,1
6	2,95	-6,85	7,95
7	3,2	-0,5	6,1
8	-0,95	-3,8	5,1
9	3	-2,1	6,4
10	0,35	-1,45	2,9
11	0,9	-3,9	3,8
12	-5,7	-35,35	-1520,3
13	1,35	-1,6	0,45
14	1,4	0,55	2,5
15	5,5	2,4	-1,65
16	-1,2	-3,35	3,7
17	-0,5	-2,15	2,8
18	-0,25	-6	2,4
19	-1,2	-1	3,45
20	2,7	-2,55	4,5
21	-1,2	-2,2	1,65
22	-0,95	-4,6	2,05

Таблица 6 Разность координат по модели

Table 6 Coordinate differences according to the model

Точка	X, мм	Y, мм	H, мм
1	11,19	-1,45	21,54
2	10,45	-2,11	26,05
3	11,67	1,15	13,10
4	16,34	0,67	17,00
5	15,68	-0,72	19,58
6	15,02	-3,30	28,59
7	14,80	-3,77	28,33

Точка	X, мм	Y, мм	H, мм
8	14,03	-2,99	16,58
9	2,90	-2,49	11,85
10	3,08	-2,33	10,30
11	3,73	-2,17	7,65
12	6,85	-1,37	9,11
13	5,99	-2,14	11,22
14	5,14	-3,95	14,84
15	5,05	-4,38	14,14
16	4,46	-3,46	7,48
17	-0,04	-0,31	3,12
18	0,37	-0,86	3,15
19	0,88	-0,50	4,49
20	-0,54	0,69	1,20
21	-0,16	0,02	0,90
22	0,32	0,25	1,41

Таблица 7 Расхождение модели и фактических данных

Table 7 Discrepancy between the model and actual data

Точка	X, мм	Y, мм	H, мм
1	8,39	-0,20	12,89
2	9,10	4,44	28,60
3	11,07	3,20	9,20
4	14,54	-3,58	14,55
5	12,98	-1,82	15,48
6	12,07	3,55	20,64
7	11,60	-3,27	22,23
8	14,98	0,81	11,48
9	-0,10	-0,39	5,45
10	2,73	-0,88	7,40
11	2,83	1,73	3,85
12	12,55	33,98	1529,41
13	4,64	-0,54	10,77
14	3,74	-4,50	12,34
15	-0,45	-6,78	15,79
16	5,66	-0,11	3,78

Точка	X, мм	Y, мм	H, мм
17	0,46	1,84	0,32
18	0,62	5,14	0,75
19	2,08	0,50	1,04
20	-3,24	3,24	-3,30
21	1,04	2,22	-0,75
22	1,27	4,85	-0,64

Однако более удобным для анализа форматом представления данных является диаграмма. На **рис. 4–6** представлены линейные диаграммы величин перемещения марок по каждой оси, где обозначены как фактические перемещения, так и перемещения, рассчитанные по модели.

Рис. 4 Диаграмма перемещений по оси X

Fig. 4 Displacement diagram along the X-axis

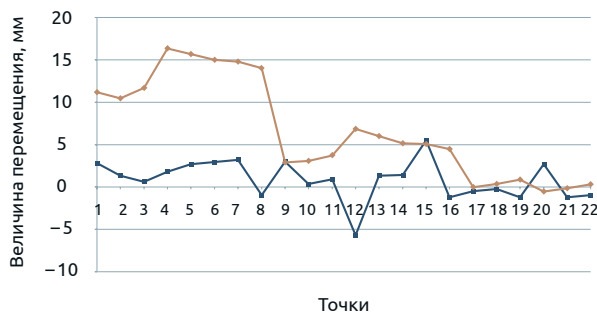


Рис. 5 Диаграмма перемещений по оси Y

Fig. 5 Displacement diagram along the Y-axis

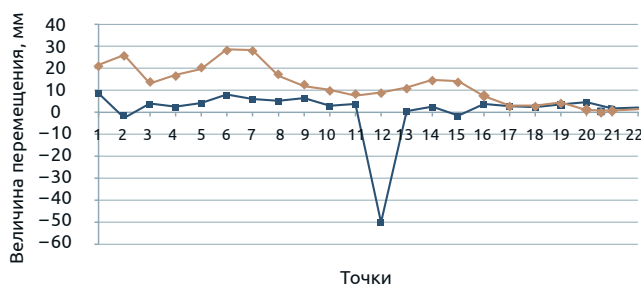
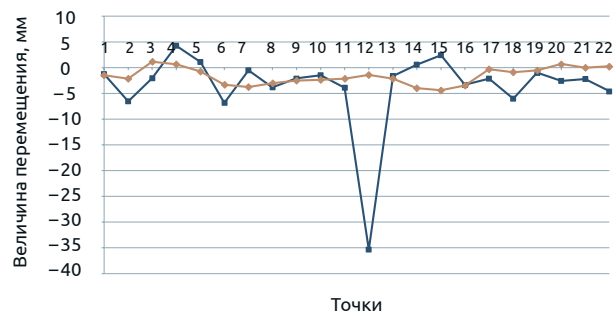


Рис. 6 Диаграмма перемещений по высоте

Fig. 6 Displacement diagram along the height

Условные обозначения

- Фактические перемещения
- ◆ Перемещения по модели

Из данных графиков видно, что с увеличением порядкового номера марки уменьшается разница между фактическими перемещениями и расчетными. Это может быть связано с тем, что нумерация марок начинается с верхнего этажа здания, т. е. чем больше номер марки, тем ниже она расположена. С учетом того, что все измерения проводились с земли, а марки расположены вертикально на колоннах, можно предположить, что большое расхождение фактических данных и данных модели связано с большими погрешностями измерений более высоких марок: угол падения визирного луча на марки разных этажей различный, что, в свою очередь, вызывает дополнительные погрешности [9]. Кроме того,

при дальнейшей работе над темой необходимо учитывать влияние вертикальной рефракции по алгоритму, предложенному в работе [10].

Следует также отметить, что армирование несущих конструкций модели определялось автоматически, а не задавалось вручную. Данный факт также мог сказаться на результатах моделирования.

Однако, несмотря на большие расхождения перемещений для более высоких марок, для марок нижних этажей расхождения невелики. С учетом вышесказанного можно назвать модель работоспособной, хотя она требует некоторой доработки. Необходимо также провести эксперимент, который позволит уменьшить погрешности измерения марок на верхних этажах.

4 Выводы

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. По данным компьютерного моделирования можно получать информацию о деформациях железобетонного каркаса здания, вызванных тепловым расширением.
2. Построенная модель требует доработки для улучшения моделирования вертикальной составляющей деформаций.
3. Для получения более надежных данных измерений на высоких этажах необходимо разместить угловые пленочные или призмные отражатели.


БИБЛИОГРАФИЯ

1. Яценко А.И., Евстафьев О.В., Брынь М.Я. Геоинформационное обеспечение возведения башни «Бурж Дубай» // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 25–28.
2. Иксанов Р.Р., Ермолаева Т.Н. Проблемы геодезического сопровождения строительства высотных сооружений с применением современных технологий // Избранные доклады 67-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 19–23 апреля 2021 г. Томск: ТГАСУ, 2021. С. 913–914.
3. Zhou Y., Zhu S., Hao G., et al. Deformation Monitoring of High-Rise Building Clusters: Acquiring Deformation Coefficients by Combining Satellite Imagery and Persistent Scatterer Interferometry // Structural Control and Health Monitoring. 2024. 2326106. P. 1–20. DOI:10.1155/2024/2326106.
4. Рубцов И.В., Назаров И.А., Лавриненко Е.Д. и др. Учет температурных деформаций при геодезическом сопровождении строительства высотных монолитных зданий // Вестник МГСУ. 2010. № 4-5. С. 329–334.

5. Gao K., Deng D., Zhu H., et al. Static and Dynamic Deformation Monitoring of Super High-Rise Buildings During the Construction Stage // *Industrial Construction*. 2024. Vol. 54. Iss. 1. P. 130–139. DOI:10.3724/j.gyjzg23081112.
6. Банах В.А. Моделирование работы строительных конструкций эксплуатируемых зданий при передаче динамических воздействий через грунтовый массив // *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2011. № 39. С. 18–22.
7. Новиков Ю.А., Хорошилов В.С., Мальцева Т.В. Прогноз деформационного процесса по геодезическим наблюдениям на основе кинематической модели // *Вестник СГУГиТ*. 2025. Т. 30, № 2. С. 36–46. DOI:10.33764/2411-1759-2025-30-2-36-46.
8. Сивец Б.О. Влияние температурных воздействий на монолитные железобетонные плиты // *Современные методы расчетов и обследований железобетонных и каменных конструкций: материалы 70-й Студенческой научно-технической конференции*, 13 мая 2014 г. Минск: БНТУ, 2015. С. 127–130.
9. Швидкий В.Я., Сумин М.Н., Яндров И.А. и др. Влияние неперпендикулярности визирного луча электронного тахеометра к светоотражательной плоскости марки на точность измерения расстояний // *Транспортное строительство*. 2017. № 4. С. 19–21.
10. Вшивкова О.В., Решетило С.Ю. Комбинированный способ учета влияния вертикальной рефракции в электронной тахеометрии // *Геодезия и картография*. 2019. Т. 80, № 11. С. 15–21. DOI:10.22389/0016-7126-2019-953-11-15-21.

АВТОР

Михайлов Артем Алексеевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра прикладной геодезии, геодезический факультет
 0009-0002-6335-1775

Поступила 29.06.2025. Принята к публикации 24.10.2025. Опубликовано 31.10.2025.

UDC 528.0

DOI:10.30533/scidata-2025-16-10



Application of Computer Modeling for Accounting of Temperature Deformations of Reinforced Concrete Structures During Geodetic Monitoring of Construction

Artem A. Mikhailov¹✉

AFFILIATIONS

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

✉ artmihailov2000@gmail.com

CITATION

Mikhailov AA. Application of Computer Modeling for Accounting of Temperature Deformations of Reinforced Concrete Structures During Geodetic Monitoring of Construction. *Spatial Data: Science, Research and Technology*. 2025;16(3): 42–59. DOI:10.30533/scidata-2025-16-10.

KEYWORDS

temperature deformation, computer modeling, deformation modeling, LIRA-SAPR software

ABSTRACT

The article addresses the problem of accounting for temperature deformations of high-rise reinforced concrete buildings during geodetic monitoring of construction. Existing approaches that require significant hardware and human resources are reviewed. An alternative method is proposed, based on computer modeling of deformations of all reinforced concrete elements of the building caused by thermal expansion, using the LIRA-SAPR software complex. The process of creating a three-dimensional finite element model of a 23-story building is described.

A comparison is made between the calculated displacements of the model nodes and the actual coordinates of cataphot marks measured by an electronic total station. It is established that for the lower floors the discrepancy between the model and field data is small, while for the upper floors a significant discrepancy is observed. The main reasons for the discrepancies are the angle of incidence of the sighting beam on the reflector, vertical refraction, and automatic determination of reinforcement without manual adjustment. It is concluded that computer modeling is fundamentally applicable for accounting for temperature deformations. However, the constructed model requires refinement, and during experimental verification it is necessary to take into account the indicated instrumental errors and perform interpolation of displacements between nodes for marks located outside the node grid. It is recommended to use corner film or prism reflectors to improve measurement accuracy on the upper floors.

REFERENCES

1. Iashchenko AI, Evstafiev OV, Bryn MY. Geoinformatsionnoe obespechenie vozvedeniya bashni "Burzh Dubai" [Geoinformation Support for the Construction of the Burj Dubai Tower]. *Housing Construction*. 2010;1: 25–28. (In Russian).
2. Ikshanov RR, Ermolayeva TN. Problemy geodezicheskogo soprovozhdeniya stroitel'stva vysotnykh sooruzhenii s primeneniem sovremennykh tekhnologii [Problems of Geodetic Support for the Construction of High-Rise Structures Using Modern Technologies]. *Selected Reports of the 67th University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists, Tomsk, April 19–23, 2021*. Tomsk: TSUAB; 2021: 913–914. (In Russian).
3. Zhou Y, Zhu S, Hao G, et al. Deformation Monitoring of High-Rise Building Clusters: Acquiring Deformation Coefficients by Combining Satellite Imagery and Persistent Scatterer Interferometry. *Structural Control and Health Monitoring*. 2024;2326106: 1–20. DOI:10.1155/2024/2326106.
4. Rubtsov IV, Nazarov IA, Lavrinenko ED, et al. Uchet temperaturnykh deformatsiy pri geodezicheskom soprovozhdenii stroitel'stva vysokotnykh monolitnykh zdaniy [Accounting for Temperature Deformations During Geodetic Supervision of High-Rise Monolithic Buildings]. *Vestnik MGSU*. 2010;4-5: 329–334. (In Russian).
5. Gao K, Deng D, Zhu H, et al. Static and Dynamic Deformation Monitoring of Super High-Rise Buildings During the Construction Stage. *Industrial Construction*. 2024;54(1): 130–139. DOI:10.3724/j.gyjzg23081112.
6. Banakh VA. Modelirovanie raboty stroitel'nykh konstruktsiy ekspluatiruyemykh zdaniy pri peredache dinamicheskikh vozdeystviy cherez gruntovyy massiv [Modeling the Operation of Building Structures Under Dynamic Loads Transmitted Through Soil]. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2011;39: 18–22. (In Russian).
7. Novikov YA, Khoroshilov VS, Maltseva TV. Prognoz deformatsionnogo protsessa po geodezicheskim nabludeniyam na osnove kinematicheskoy modeli [Deformation

- Process Forecast Based on Geodetic Observations Using a Kinematic Model]. *Vestnik SSUGT*. 2025;30(2): 36–46. (In Russian). DOI:10.33764/2411-1759-2025-30-2-36-46.
8. Sivets BO. Vliyanie temperaturnykh vozdeystviy na monolitnye zhelezobetonnyye plity [Influence of Temperature Effects on Monolithic Reinforced Concrete Slabs]. *Modern Methods of Calculations and Surveys of Reinforced Concrete and Stone Structures: Proceedings of the 70th Student Scientific and Technical Conference, May 13, 2014*. Minsk: BNTU; 2015: 127–130. (In Russian).
 9. Shvidki VY, Sumin MN, Yandrov IA, et al. Vliyanie neperependikulyarnosti vizirnogo luchu elektronnoy tacheometra k svetootrazhatel'noy ploskosti marki na tochnost' izmereniy rasstoyaniy [Effect of Non-Perpendicularity of the Sighting Beam of an Electronic Total Station to the Reflector Plane on Measurement Accuracy]. *Transport Construction*. 2017;4: 19–21. (In Russian).
 10. Vshivkova OV, Reshetilo SYu. Kombinirovannyi sposob ucheta vliyaniya vertikal'noi refraktsii v elektronnoi takheometrii [Combined Method for Accounting for Vertical Refraction in Electronic Tachometry]. *Geodesy and Cartography*. 2019;80(11): 15–21. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2019-953-11-15-21.

AUTHOR

Artem A. Mikhailov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
Department of Applied Geodesy, Geodesy Faculty

 0009-0002-6335-1775

Submitted: June 29, 2025. Accepted: October 24, 2025. Published: October 31, 2025.