

А. С. Лаптева¹, Л. А. Максименко^{1}, А. А. Ильин¹*

Организация пространственных данных в географических информационных системах

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
*e-mail: maksimenko_la@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с организацией пространственных данных в географических информационных системах (ГИС). Основное внимание уделяется вопросам комплексного подхода к организации пространственных данных в ГИС: качеству данных и их совместимости; форматам хранения и управления большими объемами информации, а также обработке и анализу пространственных данных, в том числе с применением нейронных сетей. Рассматривается применение различных систем координат, что обусловлено набором определенных свойств и удобством применения той или иной системы в зависимости от конкретных задач. Работа подчеркивает значимость комплексного подхода и междисциплинарного сотрудничества для эффективного решения этих проблем, что является критически важным для повышения точности и надежности ГИС в современных условиях.

Ключевые слова: географические информационные системы, организация данных, системы координат, формат данных

A. S. Lapteva¹, L. A. Maksimenko^{1}, A. A. Ilyin¹*

Organization on of spatial data in geographic information systems

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation,
*e-mail: maksimenko_la@mail.ru

Abstract. This article discusses issues related to the organization of spatial data in geographic information systems (GIS). The main attention is paid to the issues of an integrated approach to the organization of spatial data in GIS: data quality and compatibility; formats for storing and managing large amounts of information, as well as processing and analysis of spatial data, including the use of neural networks. The application of various coordinate systems is considered, which is due to a set of certain properties and the convenience of using a particular system, depending on specific tasks. The work highlights the importance of an integrated approach and interdisciplinary collaboration to effectively solve these problems, which is critically important for improving the accuracy and reliability of GIS in modern conditions.

Keywords: geographic information systems, data organization, coordinate systems, data format

Введение

В 2020 году завершилась реализация федеральной целевой программы «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости (2014-2020 годы)», результатом выполнения которой было объединение Единого государственного реестра прав на недвижимое имущество и сделок с ним с государственным кадастром недвижимости в Единый государ-

ственный реестр недвижимости (ЕГРН). Для дальнейшего совершенствования и развития системы государственного кадастрового учета и регистрации прав на недвижимое имущество, а также инфраструктуры пространственных данных необходимо реализовать мероприятия, направленные на сохранение и развитие достигнутых результатов, включая возможности национальной системы управления данными и технологий искусственного интеллекта.

Однако, на сегодняшний день все еще актуален ряд проблем в области земельно-имущественных отношений и инфраструктуры пространственных данных. Среди них – ограниченное применение современных российских геоинформационных технологий, высокопроизводительной обработки пространственных данных и искусственного интеллекта для повышения эффективности цифровизации этой сферы.

В связи с вышеизложенным была поставлена цель: провести обзор и выполнить анализ существующих пространственных данных для выявления их качества, актуальности и возможностей интеграции в единую информационную систему.

В задачи исследования входили следующие вопросы: определение структуры, форматов и стандартов, необходимых для интеграции различных наборов данных; вопросы применения методов пространственного анализа, таких как буферизация, пересечение, анализ плотности для интерактивных визуализаций и представления результатов анализа; оценка методов вычисления площади, применяемые в разных системах координат, для выявления их преимуществ и недостатков.

Современные подходы в исследованиях пространственных данных основаны на применении нейросетей, которые способны посредством анализа геопространственных данных, выявить новые тенденции и закономерности. Их также можно применять для составления различных сценариев использования территорий (жилищное строительство, сельское хозяйство, промышленность) и предлагать оптимальные решения. Кроме того, нейросети могут объединять данные из различных источников для комплексного анализа, а также для учета мнений и предпочтений граждан. Последнее будет способствовать более демократичному процессу планирования.

Методы и материалы

Существующие сервисы по предоставлению пространственных данных формируются органами государственной власти субъектов (т.е. на местах) на основе различных, включая иностранные, цифровых картографических продуктов, что в современных условиях может представлять угрозу национальной безопасности России. Как следствие – различия в подходах управления пространственными данными, а также несогласованность при их учете, использовании и управлении. Таким образом, возникает разобщенность государственных информационных ресурсов, содержащих в себе информацию об объектах недвижимости, о земле как природном ресурсе и других природных объектах. Это сказывается на эффективности их использования. Затрудняется управление территориями,

ограничивается доступ к данным о неиспользуемых земельных участках, которые могут быть вовлечены в хозяйственный и гражданский оборот. Это также сказывается на неэффективном расходовании бюджетных средств из-за необходимости многократного сбора одних и тех же данных, а также создает риски при принятии управленческих решений и осуществлении инвестиционной деятельности [1].

Организация пространственных данных в географических информационных системах (ГИС) сталкивается с рядом проблем, таких как:

- гетерогенность данных, поступающих из различных источников
- низкое качество данных и устаревшая информация;
- разные системы координат и картографические проекции;
- большие объемы пространственных данных;
- недостаток метаданных для понимания контекста и качества пространственных данных;
- защита конфиденциальной информации.
- обмен данными между системами и др.

Эти проблемы подчеркивают важность комплексного подхода к организации пространственных данных в ГИС, чтобы обеспечить их эффективность, доступность и качество для данных для извлечения полезной информации из сложных наборов данных.

Основные принципы и методы организации пространственных данных представлены на рис. 1

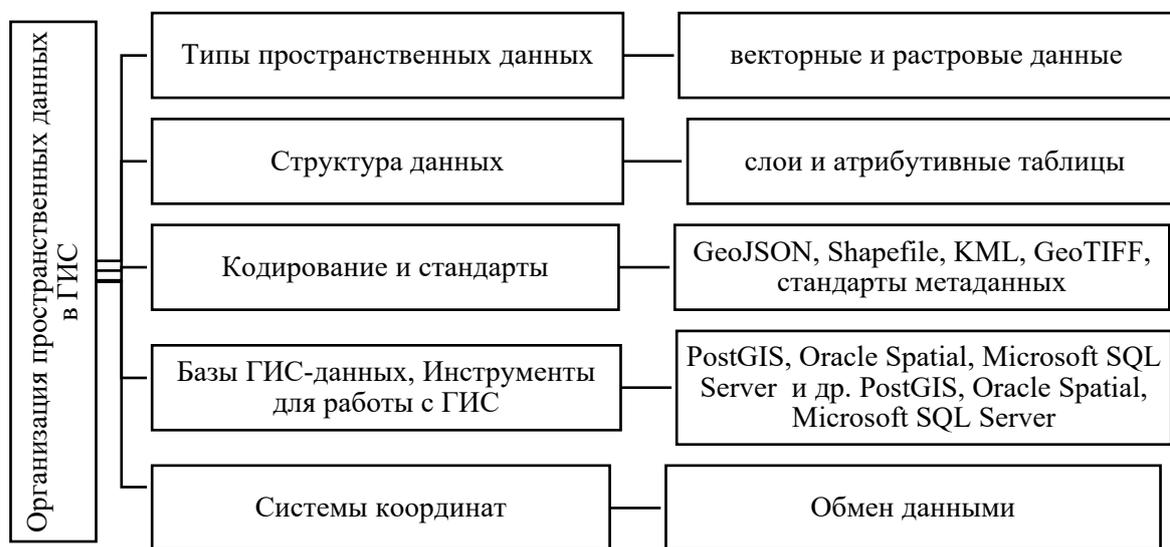


Рис. 1. Основные принципы и методы организации пространственных данных

В целях решения задач геодезии, топографии, землеустройства и кадастра объектов недвижимости на практике приходится применять различные системы координат, что обусловлено набором определенных свойств и удобством применения той или иной системы [2]. В связи с этим, выполняют преобразования ко-

ординат точек из одной системы в другую, осуществляют переход от одних координат к другим на различных поверхностях относимости [3].

В работе рассмотрена технология вычисления площади территории земельного участка по координатам различных систем на соответствующих им поверхностях (рис. 2) [4].

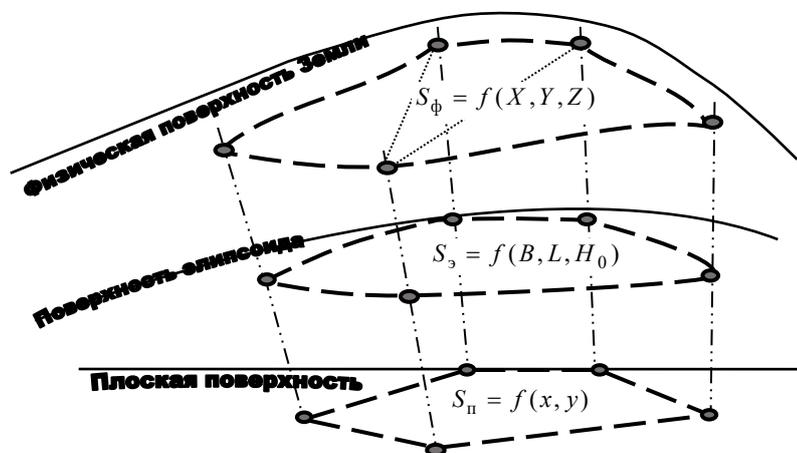


Рис. 2. Поверхности относимости

Вычисление площади на физической поверхности S_ϕ участка находят путем суммирования площадей отдельных треугольников, на которые разбивают участок [5].

Площадь пространственного треугольника можно вычислить по формуле Герона,

$$S_\phi = \sum S_{\Delta_i}, \quad (1)$$

где $S_{\Delta_i} = \sqrt{p \cdot (p-a) \cdot (p-b) \cdot (p-c)}$ – площадь треугольника; i – количество треугольников на участке; $p = \frac{a+b+c}{2}$ – полупериметр треугольника; a, b, c – стороны треугольника (наклонные расстояния), вычисленные по пространственным прямоугольным координатам (X, Y, Z) вершин A, B, C i -го треугольника.

Стороны треугольника определены по координатам в соответствии с формулой:

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{(X_B - X_C)^2 \cdot (Y_B - Y_C)^2 \cdot (Z_B - Z_C)^2}, \\ b &= \sqrt{(X_C - X_A)^2 \cdot (Y_C - Y_A)^2 \cdot (Z_C - Z_A)^2}, \\ c &= \sqrt{(X_A - X_B)^2 \cdot (Y_A - Y_B)^2 \cdot (Z_A - Z_B)^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Вычисление площади на поверхности земного эллипсоида S_ε по геодезическим координатам B, L :

$$S_{\Sigma} = \frac{1}{2} g_m k_m \left(\sum_{i=1}^n \begin{vmatrix} B_i & L_i \\ B_{i+1} & L_{i+1} \end{vmatrix} \right), \quad (3)$$

где $g_m = M_m / \rho$, $k_m = N_m \cdot \cos B_m / \rho$;

$$M_m = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \cdot \sin^2 B_m)^{3/2}}; \quad N_m = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \cdot \sin^2 B_m}}; \quad B_m - \text{средняя широта}$$

участка; a – большая полуось земного эллипсоида.

Вычисление площади объекта многоугольной формы S_{Π} по плоским прямоугольным координатам его вершин выполняется по одной из формул:

$$S_{\Pi} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i \cdot (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad \text{или} \quad S_{\Pi} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i \cdot (x_{i+1} - x_{i-1}). \quad (4)$$

Результаты и обсуждение

Для вычисления значений площади в геоцентрической системе ГСК-2011 были использованы координаты пяти пунктов участка на различных поверхностях (таб. 1):

- пространственные прямоугольные (определение площади физической поверхности участка, т.е. площади земной поверхности с учетом рельефа местности);
- пространственные геодезические (определение площади проекции участка на поверхность эллипсоида, т.е. без учета отметок пунктов, $H_{\Gamma} = 0$);
- плоские прямоугольные координаты (вычисление площади проекции участка на плоскость. Также без учета высоты).

Таблица 1

Координаты пунктов в ГСК-2011 (исходные данные)

Номер пункта	Прямоугольные пространственные			Геодезические		Плоские прямоугольные	
	$X, м$	$Y, м$	$Z, м$	B°	L°	$x, м$	$y, м$
1	470282.653	3635181.470	5202504.895	55.0140048	82.6285992	6100002.033	14604179.680
2	470303.717	3637064.661	5201062.059	54.9928092	82.6320476	6097647.926	14604455.318
3	468499.075	3638183.730	5200504.780	54.9834709	82.6622440	6096654.031	14606412.488
4	467640.149	3635646.342	5202559.348	55.0133803	82.6704942	6099995.743	14606861.063
5	469380.779	3633970.303	5203304.895	55.0278158	82.6401552	6101556.594	14604882.770

По результатам вычислений (таб. 2) определены разности значений площади участка в пространстве, на эллипсоиде, на плоскости (таб. 3).

Таблица 2

Площадь участка в пространстве, на эллипсоиде и на плоскости

Площадь (га)		
В пространстве (S_{Φ})	На эллипсоиде (S_{Θ})	На плоскости (S_{Π})
875.708	873.225	873.473

Таблица 3

Расхождение значений вычисленной площади

$\Delta 1$ (га)	$\Delta 2$ (га)	$\Delta 3$ (га)
2.483	2.236	0.248

Анализ расхождений вычисленной площади по координатам различных систем показывает, что площадь участка на эллипсоиде и площадь его горизонтальной проекции на плоскость меньше его физической поверхности, площадь которой вычислена с учетом высот точек участка.

Физическая площадь, при вычислении которой учитываются высоты поворотных точек участка, является наиболее достоверной.

При создании карт и визуализаций правильное использование систем координат позволяет точно отображать площади и площади объектов, что делает результаты более понятными и доступными для анализа.

Заключение

Проведенное исследование позволило обобщить факторы, характеризующие существующие пространственные данные и их потенциал для интеграции в единую информационную систему. Анализ структуры, форматов и стандартов данных выявил ключевые аспекты, необходимые для успешного объединения разнородных наборов информации. Применение методов пространственного анализа, таких как буферизация и анализ плотности, продемонстрировало их эффективность в создании интерактивных визуализаций, что значительно улучшает восприятие и интерпретацию результатов. Показано, что оценка методов вычисления площади в различных системах координат является важным шагом для оптимизации процессов обработки пространственных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства РФ от 1 декабря 2021 г. № 2148 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Национальная система пространственных данных» (с изменениями и дополнениями).
2. Высшая геодезия. Системы координат и преобразования между ними [Текст] : учеб. пособие / К. Ф. Афонин. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 112 с.
3. . Системы координат в геодезии и их связи [Текст]: учебное пособие / Г. Г. Побединский. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2023. – 143 с.
4. Системы координат, используемые в землеустройстве и кадастрах [Текст] : учеб.-метод. пособие / Б. Т. Мазуров, М. Я. Брынь, А. А. Ильин; СГУГиТ. - Новосибирск : СГУГиТ, 2020. - 115 с.

5. Баландин, В.Н. Определение площадей объектов недвижимости: учебное пособие / В.Н. Баландин, М.Я. Брынъ, В.А. Коугия и др.; под ред. В.А. Коугия. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 112 с.

© А. С. Лаптева, Л. А. Максименко, А. А. Ильин, 2025