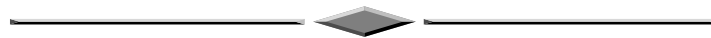


# ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ



УДК 528.48:347.214.2 (571.56)

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-5-12

## Геодезическое обеспечение мониторинга объектов недвижимости на примере города Якутска

*Е. И. Аврунев<sup>1</sup>✉, А. С. Далбараев<sup>2</sup>, А. В. Радченко<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Инженерно-технический университет Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

<sup>3</sup> Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Российская Федерация  
e-mail: avrunev-ei@yandex.ru

**Аннотация.** Цель научной статьи – разработка и исследование методики геодезического обеспечения деформационного мониторинга объектов недвижимости, а также математического алгоритма, позволяющего априорно оценивать точность параметров проекта геодезической сети специального назначения, предназначенной для реализации этой цели. Для создания геопространства территориального образования, в котором расположены такие объекты, предложено использовать комбинированную пространственную геодезическую сеть специального назначения, в которой первая ступень создается с использованием GNSS-измерений, а вторая ступень – традиционных наземных измерительных технологий. С использованием программного обеспечения, разработанного на кафедре кадастра и территориального планирования, выполнена априорная оценка точности проекта, на основании которой установлено, что при использовании соответствующего измерительного оборудования точность геопространства, определяемая средними квадратическими ошибками такого геодезического построения, может соответствовать поставленным научно-техническим задачам. Предложена структурно-функциональная схема, в которую включены все технологические операции, способные создавать и поддерживать в актуальном состоянии геопространство территориального образования, позволяющее выполнять деформационный мониторинг объектов недвижимости, расположенных на неустойчивом геологическом основании.

**Ключевые слова:** геопространство территориального образования, точность геопространства, геодезическая сеть специального назначения, средняя квадратическая ошибка, деформационный мониторинг, объекты недвижимости, математическая обработка результатов геодезических измерений, GNSS-технологии, наземные измерительные технологии

### Для цитирования:

*Авррунев Е. И., Далбараев А. С., Радченко А. В.* Геодезическое обеспечение мониторинга объектов недвижимости на примере города Якутска // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 5–12. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-5-12

## Введение

Расположение объектов недвижимости на неустойчивом геологическом основании, к которым в первую очередь относятся районы вечной мерзлоты, обуславливает появление возможных значительных неравномерных осадок и, соответственно, деформации зданий и сооружений. Подобная ситуация, с одной стороны, требует проведения соответствующими службами своевременных профилактических мероприятий по исключению предельно напряженного состояния силовых элементов конструкции, а во-вторых, корректировки кадастровой стоимости объектов недвижимости для проведения адекватной и социально обоснованной налоговой политики. Однако в настоящее время отсутствует научно обоснованная программа и, соответственно, методика проведения деформационного мониторинга зданий и сооружений, результатом реализации которой должна являться геодезическая и кадастровая информация о возможности их безопасного функционирования [1–6].

Наиболее актуальна такая программа и методика деформационного мониторинга для объектов капитального строительства (ОКС), расположенных на территории города Якутска, являющегося столицей Республики Саха (Якутия), и характеризующихся высокой кадастровой стоимостью. Эти ОКС испытывают значительные осадки и деформации, обусловленные непредсказуемым поведением вечной мерзлоты и в ряде случаев несовершенством конструкции их фундаментов.

Реализация программы мониторинга предусматривает геодезические измерения, выполняемые через определенный научно обоснованный интервал времени с математической обработкой в геопространстве территориального образования и позволяющие определить параметры деформаций ОКС. Исходной основой для выполнения этих измерений и их математической обработки является геодезическая сеть специального назначения (ГССН), точность которой должна соответствовать поставленным научно-техническим задачам.

Учитывая актуальность данного направления, российскими учеными выполнены фун-

даментальные научные исследования, посвященные технологическим аспектам выполнения геодезических работ, необходимых для обеспечения градостроительной, кадастровой и землеустроительной деятельности [7–9]. Однако проектированию и построению на местности геодезической сети специального назначения, предназначенной для координатного обеспечения деформационного мониторинга объектов капитального строительства, расположенных на неустойчивом геологическом основании, и исследованию точности ее уравненных элементов в настоящее время уделено недостаточное внимание (Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места : приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестра) от 23.10.2020 № П/0393. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Текст : электронный).

## Применяемые методы исследования

Деформационный мониторинг может быть реализован, когда через определенный интервал времени  $\Delta t = t_2 - t_1$  в трехмерном пространстве  $x, y, H$  относительно неподвижного начала системы координат определяются координаты деформационных знаков на момент времени  $t_1 (x', y', H')$  и на момент времени  $t_2 (x'', y'', H'')$ . Следовательно, в соответствующих кадастровых кварталах города, в которых располагаются ОКС, характеризующиеся наибольшими значениями осадок и деформаций, необходимо создать геопространство, соответствующее по точности определения параметров поставленной научно-технической задаче.

Для построения такого геопространства рекомендуется создавать пространственную двухступенчатую комбинированную геодезическую сеть специального назначения, состоящую из двух ступеней.

Проект первой ступени ГССН на кадастровые кварталы города Якутска, в которых ОКС испытывают наиболее значительные осадки и деформации, в виде GNSS-построения представлен на рис. 1.

По возможности пункты необходимо располагать на устойчивом геологическом основании, в местах, обеспечивающих им долговременную сохранность. При проектировании целесообразно учесть конфигурацию кадастровых кварталов и для контроля точности применения GNSS-технологий необходимо обеспечить прямую оптическую видимость между

пунктами. Кроме этого, пункты должны быть надежно закреплены на местности, поскольку деформационный мониторинг ОКС может продолжаться продолжительное время.

На территории города создаваемое геопространство, кроме деформационного мониторинга зданий и сооружений, должно также обеспечивать градостроительную и кадастровую деятельность, поэтому необходима ее координатная привязка к не менее чем трем исходным пунктам государственной геодезической сети (ГГС).

Проектируемая схема такой координатной привязки приведена на рис. 1.

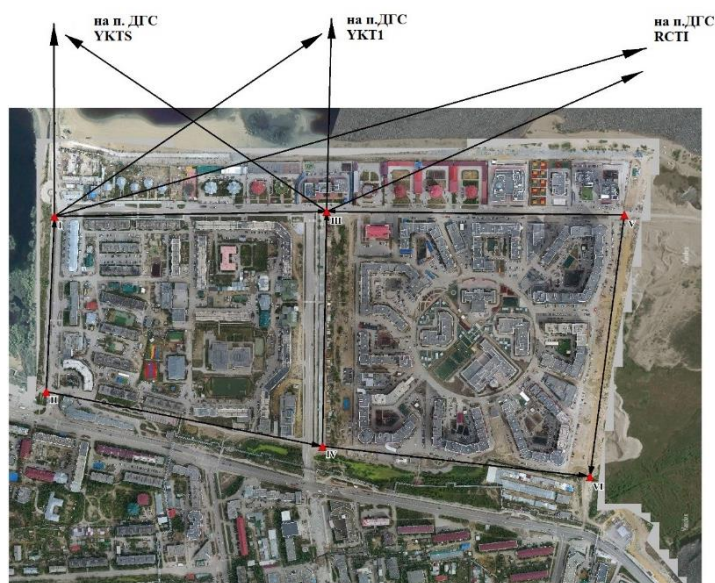


Рис. 1. Проект первой ступени геодезической сети специального назначения для создания геопространства двух кадастровых кварталов города Якутска

Отметим, что при использовании математического алгоритма, разработанного в работе [7], предлагаемая схема позволяет оценить точность исходных данных и выбрать для передачи координат только один наиболее стабильный и близко расположенный из трех исходных пунктов ГГС.

Такое технологическое решение позволяет исключить влияние ошибок исходных данных, которые в ряде случаев бывают весьма значительными и могут существенно исказить получаемую кадастровую информацию.

Отметим, что на неустойчивом геологическом основании геопространство территориального образования должно сохранять стабильность в пространстве и времени. По-

этому при выполнении деформационного мониторинга ОКС измерения в первой ступени должны повторяться (для выявления и обеспечения вышеназванного условия) в соответствии с установленными эпохами наблюдений. Выбор наиболее стабильного пункта первой ступени после выполнения второго цикла измерений предлагается осуществлять по алгоритму, предложенному в работе [7].

Для реализации проекта первой ступени на местности предполагается использование спутникового приемника Javad Triumph-1M, который в режиме «статика» обеспечивает точность определения базовых векторов

$$m_{\text{GNSS}} = 3\text{мм} + 0,5\text{мм} \cdot L (\text{км}).$$



Учитывая высотную застройку кадастровых кварталов города Якутска и, соответственно, сложности обеспечения радиотехнической видимости на искусственном спутнике Земли при построении второй ступени, предпочтение предлагается отдать наземной измерительной технологии с использованием безотражательных электронных тахеометров, инструментальные точности которых для угловых измерений соответственно составляют  $m_{\beta} = 6''$ , а линейных  $m_L = 2$  мм.

Применение двух тахеометров типа Sokkia SET 630RK и Trimble M3DR позволяет повысить паспортную инструментальную точность ( $m_{\beta} = 4,2''$  и  $m_L = 1,4$  мм) и существенно снизить влияние неблагоприятных внешних условий.

Пункты второй ступени также предлагается закреплять долговременными знаками для их повторного использования при выполнении

последующих циклов геодезических измерений. Проектирование пунктов второй ступени определяется в соответствии с расположением контролируемых ОКС и с обеспечением прямой оптической видимости как между собой, так и на контролируемые деформационные марки, расположенные на силовых элементах инженерного сооружения. При этом предлагается, чтобы геодезическая сеть образовывала замкнутые полигоны, связанные между собой и опирающиеся на исходные пункты первой ступени. Такая схема построения должна обеспечить в последующем повышение точности ее урвненных элементов и однородность создаваемого геопространства.

Исходя из приведенных выше принципов, запроектированная схема построения второй ступени пространственной ГССН приведена на рис. 2.



Рис. 2. Проект второй ступени геодезической сети специального назначения

### *Полученные результаты*

Априорная оценка точности проекта построения пространственной двухступенчатой ГССН выполнялась в строгом соответствии с методом наименьших квадратов в программном обеспечении, созданном на кафедре кадастра и территориального планирования.

Результаты априорной оценки точности первой ступени ГССН (см. рис. 1) в виде средней квадратической ошибки (СКО) положения наиболее слабого пункта относительно ближайшего исходного и СКО взаимного положения наиболее слабых пунктов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты априорной оценки точности проекта первой ступени ГССН

Номер квартала	Номер пункта	СКО положения наиболее слабого пункта первой ступени		Номер пунктов	СКО взаимного положения наиболее слабых пунктов первой ступени	
		$m$ , см	$m_H$ , см		$m$ , см	$m_H$ , см
1	III	1,5	0,6	14–15	0,9	0,6
2	IV	2,1	0,7	26–37	0,8	0,6

На основании полученных результатов следует отметить, что значения СКО составляют значительную величину, сопоставимую с нормативной точностью определения параметров и деформаций ОКС.

Следовательно, при выполнении априорной оценки точности второй ступени для построения геопространства необходимо обязательно учитывать точность построения первой ступени.

В качестве эксперимента была выполнена априорная оценка точности второй ступени (см. рис. 2) как без учета, так и с учетом ошибок исходных данных. Априорная оценка точности с учетом ошибок построения первой ступени выполнялась по алгоритму, предложенному в [8].

Результаты исследований приведены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Результаты априорной оценки точности проекта второй ступени ГССН без учета ошибок исходных данных

Номер квартала	Номер пункта	СКО положения пункта второй ступени		Номер пунктов	СКО взаимного положения пунктов второй ступени	
		$m$ , см	$m_H$ , см		$m$ , см	$m_H$ , см
1	7	1,4	0,08	14–15	0,9	0,09
2	39	1,5	0,09	26–37	0,8	0,09

Таблица 3

Результаты априорной оценки точности второй ступени ГССН с учетом ошибок исходных данных

Номер квартала	Номер пункта	СКО положения пункта второй ступени		Номер пунктов	СКО взаимного положения пунктов второй ступени	
		$m$ , см	$m_H$ , см		$m$ , см	$m_H$ , см
1	7	1,9	0,10	14–15	1,2	0,11
2	39	2,1	0,12	26–37	1,1	0,10

Следовательно, можно отметить, что принятие в расчет ошибок исходных данных при построении комбинированной ГССН приводит к значительному искаже-

нию априорной оценки точности, сопоставимой с нормативными требованиями к точности определения осадок и деформаций ОКС.

Полученные результаты позволяют утверждать, что при создании геопространства, предназначенного для математической обработки результатов измерений при выполнении деформационного мониторинга ОКС, расположенных на неустойчивом геологическом основании, необходимо выполнять априорную оценку точности проекта ГССН в строгом соответствии с методом наименьших квадратов с учетом инструментальной точности измерительного технологического

оборудования и обязательным учетом ошибок исходных данных.

Таким образом, исходя из информационно-аналитического обзора современных разработок в области геодезического обеспечения деформационного мониторинга ОКС, представляется целесообразным предложить следующую методику решения этой важной научно-технической задачи, структурно-функциональная схема которой представлена на рис. 3.



Рис. 3. Блок-схема предлагаемой методики

Несомненным достоинством предлагаемой методики является включение в ее состав технологических операций, позволяющих создавать геопространство территориального образования, соответствующее установленным нормативным точностным требованиям и поддерживать ее в актуальном пространственном состоянии.

### Заключение

Реализация предложенной методики для геодезического обеспечения проведения деформационного мониторинга ОКС, расположенных на неустойчивом геологическом основании, позволит определять параметры деформаций силовых конструктивных элементов

объектов капитального строительства, что обуславливает возможность своевременного проведения соответствующих профилактических мероприятий и возможности безопасного функционирования инженерных сооружений.

Кроме этого, предложенная методика и ее реализация позволит создать геопространство территориального образования и поддерживать его в актуальном состоянии, оценивая стабильность пунктов ГССН в пространстве и времени.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гиниятов И. А. К вопросу об основных понятиях в сфере землеустройства, кадастра недвижимости и мониторинга земель (в порядке обсуждения) // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 6. – С. 152–159. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-152-159.
2. Гиниятов И. А., Жарников В. Б. О структуре и содержании мониторинга земель в современный период // Вестник СГГА. – Вып. 5. – Новосибирск, 2000. – 153 с. – С. 25.
3. Карпик А. П. Анализ состояния и проблемы геоинформационного обеспечения территорий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4. – С. 3–7.
4. Карпик А. П. Структурно-функциональная модель геодезической пространственной информационной системы // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 6. – С. 140–148.
5. Сизов А. П. Опыт использования методов математической статистики при анализе результатов государственного земельного надзора // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – № 10. – С. 55–64. – DOI 10.22389/0016-7126-2019-952-10-55-64.
6. Сизов А. П., Стыценко Е. А., Хомяков Д. М., Черных Е. Г. Современные проблемы землеустройства и кадастров. Пространственное развитие территорий. – М. : Кнорус, 2022. – 218 с.
7. Аврунев Е. И., Горобцов С. Р. Геодезическое обеспечение кадастровых работ : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – 212 с.
8. Маркузе Ю. И. Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на ЭВМ. – М. : Недра, 1989. – 248 с.
9. Неумывакин Ю. К., Перский М. И. Земельно-кадастровые геодезические работы. – М. : КолосС, 2005. – 184 с.

## Об авторах

*Евгений Ильич Аврунев* – кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и территориального планирования.

*Ариан Сергеевич Далбараев* – старший преподаватель кафедры экспертизы, управления и кадастра недвижимости.

*Андрей Васильевич Радченко* – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник.

Получено 27.09.2024

© Е. И. Аврунев, А. С. Далбараев, А. В. Радченко, 2024

## Geodetic support of real estate objects in the city of Yakutsk

*E. I. Avrunev<sup>1</sup>, A. S. Dalbarayev<sup>2</sup>, A. V. Radchenko<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Engineering and Technical University North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russian Federation

e-mail: avrunev-ei@yandex.ru



**Abstract.** The purpose of the scientific article is to develop and study the methodology of geodetic support for deformation monitoring of real estate objects, as well as a mathematical algorithm that allows a priori assessment of the accuracy of the parameters of the special-purpose geodetic network project intended to achieve this goal. To create a geospace of a territorial entity in which such objects are located, it is proposed to use a combined spatial geodetic network of special purpose, in which the first stage is created using GNSS measurements, and the second stage - traditional ground-based measuring technologies. Using the software developed at the Department of Cadastre and Territorial Planning, an a priori assessment of the accuracy of the project of such a geodetic construction was performed, on the basis of which it was established that when using the appropriate measuring equipment, the accuracy of the geospace required for deformation monitoring can correspond to the set scientific and technical tasks. A structural and functional scheme is proposed, which includes all the technological operations that allow creating and maintaining up-to-date the geospace of a territorial entity that allows performing deformation monitoring of real estate objects located on an unstable geological foundation.

**Keywords:** geospace of a territorial entity, accuracy of geospace, special-purpose geodetic network, mean square error, deformation monitoring, real estate objects, mathematical processing of geodetic measurement results, GNSS technologies, ground-based measurement technologies

## REFERENCES

1. Giniyatov, I. A. (2022). To the question of the basic concepts in the field of land management, real estate cadastre and land monitoring (in the order of discussion). *Vestnik SGUGT [Vestnik SGUGT]*, Vol. 27, No. 6, pp. 152–159, DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-152-159 [in Russian].
2. Giniyatov, I. A. & Zharnikov, V. B. (2000). On the structure and content of land monitoring in the modern period. *Vestnik SGUGT [Vestnik SGUGT]*, Vol. 5, pp. 25 [in Russian].
3. Karpik, A. P. (2014). Analysis of the state and problems of geoinformation support of territories. *Izv. vuzov. Geodeziya i aerofotos"yemka [News of universities. Geodesy and aerial photography]*. No 4, pp. 3–7 [in Russian].
4. Karpik, A. P. (2004). Structural and functional model of geodetic spatial information system. *Izv. vuzov. Geodeziya i aerofotos"yemka [News of universities. Geodesy and aerial photography]*. No 6, pp. 140–148 [in Russian].
5. Sizov, A. P. (2019). Experience of using methods of mathematical statistics in analyzing the results of state land supervision. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and cartography]*. Vol. 80, No. 10, pp. 55–64, DOI 10.22389/0016-7126-2019-952-10-55-64 [in Russian].
6. Sizov, A. P., Stytsenko, E. A., Khomyakov, D. M., & Chernykh, E. G. (2022). Modern problems of land management and cadastres. Spatial development of territories. *M. : Knorus. 248 p.* [in Russian].
7. Avrunev, E. I., & Gorobtsov, S. R. (2021). Geodetic support of cadastral works: monograph. *Novosibirsk: SSUGT. 212 p.* [in Russian].
8. Markuze, Yu. I. (1989). Algorithms for adjusting geodetic networks on a computer. *M.: Nedra, 248 p.* [in Russian].
9. Neumyvakin, Yu. K., Persky, M. I. (2005). Land cadastral geodetic works. *M.: KolosS. 184 p.* [in Russian].

## Author details

*Evgeniy I. Avrunev* – Ph. D., Associate Professor of the Department of Cadaster and Territorial Planning.

*Arian S. Dalbaraev* – Senior Lecturer of the Department of Expertise, Management and Cadastre of Real Estate.

*Andrey V. Radchenko* – D. Sc., Professor, Leading Researcher.

Received 27.09.2024

© E. I. Avrunev, A. S. Dalbaraev, A. V. Radchenko, 2024