

Анализ и перспективы интеграции современных методов дистанционного геодезического мониторинга техногенных объектов

Е. В. Кайгородова^{1,2✉}, М. С. Тутанова^{1,2}, О. В. Старостина², А. М. Капшук²

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск,

Российская Федерация

²Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан

✉ yevgeniya_kaygorodova@mail.ru

Резюме. Рост масштабов горных работ и техногенной нагрузки на геологическую среду обуславливает необходимость обеспечения безопасности сложных инженерных сооружений, таких как карьеры и отвалы. Целью данной работы является анализ современного состояния, выявление проблем и определение перспективных направлений развития дистанционных методов геодезического мониторинга техногенных объектов. В процессе исследования проведены обзор и сравнительный анализ отечественных и зарубежных литературных источников, посвященных применению спутниковых технологий (GNSS), наземного лазерного сканирования (НЛС), беспилотных авиационных систем (БАС) и спутниковой радарной интерферометрии (InSAR). В результате анализа установлено, что каждый из рассмотренных методов обладает специфическими преимуществами и ограничениями. GNSS обеспечивает высокую точность, однако характеризуется дискретным характером наблюдений. НЛС позволяет получать высокоточные цифровые данные о геометрии всей видимой поверхности объекта, оно ограничено диапазоном измерений и зависит от условий выполнения съемки. БАС обеспечивают детализированную площадную информацию, однако имеют ограничения по периодичности наблюдений и точности результатов. InSAR позволяет проводить ретроспективный анализ деформационных процессов, но подвержено влиянию атмосферных и геометрических искажений. Проведенный анализ показывает, что ни один из рассматриваемых методов не является универсальным. Главным выводом является необходимость перехода от использования отдельных технологий к их комплексной интеграции.

Ключевые слова: техногенный объект, геодезический мониторинг, дистанционные методы, комплексная интеграция, спутниковая интерферометрия, беспилотные авиационные системы, лазерное сканирование, цифровые данные

Для цитирования: Кайгородова Е.В., Тутанова М.С., Старостина О.В., Капшук А.М. Анализ и перспективы интеграции современных методов дистанционного геодезического мониторинга техногенных объектов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (3): 68-73. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-3-68-73>.

Analysis and prospects for the integration of modern methods of remote geodetic monitoring of man-made structures

E. V. Kaygorodova^{1,2✉}, M. S. Tutanova^{1,2}, O. V. Starostina², A. M. Kapshuk²

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

✉ yevgeniya_kaygorodova@mail.ru

Abstract. The increasing scale of mining operations and anthropogenic impact on the geological environment make it necessary to ensure the safety of complex engineering structures such as open pits and spoil heaps. Deformation processes at these sites are highly dynamic and require rapid and accurate monitoring of their spatial position. Therefore, improving geodetic monitoring methods remains a priority research and practical task. This study aims to analyse the current state of remote geodetic monitoring methods for technogenic objects, identify their limitations, and determine promising directions for further development. A review and comparative analysis of domestic and international publications was carried out for satellite technologies, ground-based laser scanning (GLS), unmanned aerial systems, and satellite radar interferometry. The analysis showed that each method has specific advantages and limitations. GNSS provides high accuracy but is limited to discrete observation points. GLS delivers high-precision digital data for the

visible surface of an object but is constrained by measurement range and survey conditions. UAS provide detailed areal information but are limited by observation frequency and accuracy. InSAR enables retrospective deformation analysis but is affected by atmospheric and geometric distortions. None of the considered methods is universal; therefore, their integrated application is the most promising direction.

Keywords: technogenic object, geodetic monitoring, remote sensing methods, comprehensive integration, satellite interferometry, unmanned aerial vehicles, laser scanning, digital data

For citation: Kaygorodova E.V., Tutanova M.S., Starostina O.V., Kapshuk A.M. Analysis and prospects for the integration of modern methods of remote geodetic monitoring of man-made structures. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (3): 68-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-3-68-73>.

Введение

Современный этап развития горнодобывающей промышленности и инфраструктурного строительства характеризуется углублением карьеров, ростом объемов отвалов и усложнением инженерно-геологических условий эксплуатации месторождений. Техногенные объекты, представляющие собой результат активного вмешательства человека в геологическую среду, подвержены интенсивным деформационным процессам, которые могут приводить к катастрофическим последствиям: обрушениям бортов, оползням и просадкам. В этой связи геодезический мониторинг, позволяющий оперативно и с высокой точностью фиксировать изменения пространственного положения объектов, становится обязательным элементом системы обеспечения промышленной и экологической безопасности.

Несмотря на развитие инструментальных и дистанционных методов наблюдений, остаются нерешенными вопросы выбора оптимального комплекса технологий, сопоставимости результатов измерений и повышения достоверности интерпретации деформационных процессов.

Цель работы: анализ современного состояния и тенденций развития дистанционных методов геодезического мониторинга техногенных объектов, выявление их преимуществ и недостатков, а также обоснование перспективных направлений интеграции данных для повышения достоверности контроля деформационных процессов.

Задачи исследования:

1. Выполнить обзор и систематизацию отечественных и зарубежных публикаций по теме исследования.
2. Провести сравнительный анализ основных дистанционных методов (НЛС, БАС, InSAR) по ключевым критериям (точность, пространственное покрытие, периодичность, стоимость).
3. Выявить актуальные проблемы и определить направления дальнейших исследований в области интеграции данных мониторинга.

Материал и методы исследования

В настоящее время в рамках современного геодезического мониторинга техногенных объектов представлен широкий спектр различных методов и технологий, которые можно классифицировать по различным направлениям.

Выполненный анализ отечественных и зарубежных источников [1–3] позволяет условно идентифицировать две основные группы методов: геометрические и дистанционные. Геометрические методы подразумевают определение координат и перемещений точек объекта, к которым следует отнести нивелирование, полигонометрию, триангуляцию, спутниковые измерения (GNSS). Методы дистанционного

мониторинга обеспечивают получение данных при отсутствии непосредственного контакта с объектом. К данным методам относится лазерное сканирование, фотограмметрия (в том числе с БАС), радарная интерферометрия и тепловизионная съемка.

Методической основой исследования явился сравнительно-аналитический обзор отечественных и зарубежных публикаций, посвященных применению GNSS, НЛС, БАС и InSAR в задачах мониторинга техногенных объектов. При отборе источников учитывались тематическая релевантность, наличие сведений о точностных характеристиках методов и примерах их практического применения. Сопоставление методов выполнялось по следующим критериям: точности результатов, пространственному охвату, оперативности получения данных, возможности автоматизации, ограничению применения и экономическим аспектам.

Результаты исследований

Глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS)

В настоящее время геодезический мониторинг с применением GNSS-измерений позволяет в любой момент получить координаты в глобальной системе отсчета с достаточно высокой точностью. При GNSS-методе различают два режима наблюдений: статический и кинематический.

В статическом режиме выполняется продолжительная (от нескольких часов до суток) регистрация спутникового сигнала в наблюдаемой точке с последующей постобработкой (рис. 1). Применение этого режима может обеспечивать миллиметровый уровень точности при благоприятных условиях наблюдений и корректной постобработке. Статический режим используется преимущественно в целях создания опорных геодезических сетей, а также для наблюдений за длительными деформационными процессами.



Рис. 1. Производство GNSS-измерений на открытых горных работах /
Fig. 1. GNSS measurements in open-pit mining operations

Кинематические измерения в режиме реального времени RTK (Real-Time Kinematic) позволяют оперативно опре-

делять координаты наблюдаемых точек непосредственно в процессе измерений. В исследованиях [4] представлено совместное применение различных спутниковых систем (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou), что повышает точность определения координат при ограниченной видимости особенно в глубоких карьерах.

Помимо очевидных преимуществ, спутниковые измерения обладают существенным ограничением, так как позволяют проводить мониторинговые наблюдения лишь в фиксированных наблюдательных пунктах, оборудованных для выполнения GNSS-измерений. Следовательно, неконтролируемыми оказываются участки прибортовых массивов между наблюдательными пунктами. Указанное ограничение может быть частично компенсировано за счет интеграции GNSS-мониторинга с методами площадного покрытия, например с радарной интерферометрией или лазерным сканированием.

Наземное лазерное сканирование

Технология наземного лазерного сканирования (рис. 2) подразумевает получение трехмерных координат множества точек объекта с высокой скоростью и плотностью. По мнению [5], данный метод существенно расширил возможности площадного мониторинга, так как теперь появилась возможность выполнять мониторинг всей поверхности исследуемого объекта, а не отдельных его точек.

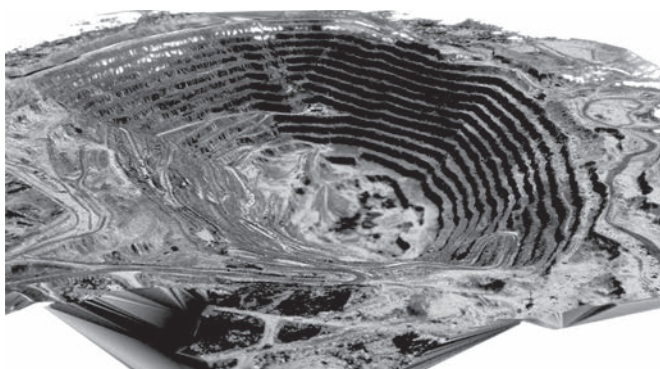


Рис. 2. Цифровая модель местности карьера, полученная в результате лазерного сканирования /
Fig. 2. DSM quarry obtained as a result of laser scanning

Преимущественные характеристики технологии наземного лазерного сканирования (выявленные на основе работ [6, 7] и зарубежных исследователей [8, 9]):

1. Высокая степень детализации – НЛС позволяет получить большое количество (несколько миллионов) точек с высокой точностью позиционирования (от 2 до 5 мм при благоприятных условиях и на ограниченных расстояниях).
2. Сплошной характер съемки – есть возможность фиксации всей видимой поверхности объекта, что дает возможность выявить локальные деформации, такие как трещины и вывалы, которые можно пропустить, выполняя точечные измерения.
3. Высокая производительность – всего несколько часов может потребоваться для выполнения полного сканирования какого-либо сложного объекта.
4. Объективность – полученное в результате НЛС облако точек представляет собой полное пространственно-детализированное цифровое представление объекта, которое используется для анализа смещений.

Несмотря на описанные преимущества, у данного метода все же есть недостатки. В первую очередь это дорогостоящая аппаратура и затруднительная камеральная обработка таких объемных массивов информации. К тому же ограничен диапазон сканирования: для производства точных измерений расстояние до сканера не должно превышать 500–1000 м, а для этого на крупных объектах необходима не одна станция установки лазерного оборудования. По результатам исследований [9], применение лазерного сканера в сложных метеорологических условиях (пыль, туман, осадки) приводит к снижению точности полученных цифровых данных.

В своей работе [7] выполнил сравнительную оценку потенциала технологии наземного лазерного сканирования и GNSS-методики, где подробно представлена информация об отсутствии конкуренции данных методов, ведь они, наоборот, могут использоваться в рамках единой системы наблюдений.

Беспилотные авиационные системы как инструмент дистанционного мониторинга

В настоящее время геодезический мониторинг с применением беспилотных авиационных систем считается одним из наиболее активно развивающихся направлений геодезического мониторинга (рис. 3).



Рис. 3. Применение беспилотных авиационных систем на открытых горных работах /
Fig. 3. Application of UAS in open-pit mining

По мнению [10], оперативность, детализация, а также экономическая эффективность этого метода позволили занять определенный сегмент между космической съемкой и наземными технологиями. В исследованиях авторов [10–13] идентифицируется два основных направления применения беспилотных авиационных систем для наблюдений за техногенными объектами: фотограмметрическая съемка и лазерное сканирование с БАС.

Фотограмметрическая съемка с БАС обеспечивает получение серии перекрывающихся изображений, на основе которых формируются плотные облака точек, цифровые модели поверхности и ортофотопланы. Метод лазерного сканирования с БАС (UAV-LiDAR) удачно совмещает в себе мобильность дрона с точностью лазера. Исследования авторов [8] наглядно обосновывают продуктивность данного метода именно для сложных техногенных объектов, ведь луч сканера имеет способность частично преодолевать растительный покров, что обеспечивает получение данных о рельефе залесенных участков.

Преимущественные характеристики технологии UAV-LiDAR по сравнению с наземными – оперативный мони-

торинг обширных территорий, безопасность (исключается присутствие человека на опасном участке), высокая скорость сбора информации.

Автор [11] выделяет основные недостатки данного метода:

1. Зависимость от неблагоприятных метеорологических условий – резкий и сильный ветер, наличие осадков и низкой облачности может сделать выполнение полета невозможным или существенно снизить качество данных.

2. Временное ограничение полета – БАС мультироторного типа может находиться в полете от 20 до 40 минут, поэтому необходимо правильно составить маршрут для дрона.

3. Потребность в оформлении разрешения на полет, особенно в непосредственной близости к промышленным объектам и в пограничных зонах.

4. Трудоемкость камеральной обработки полученных объемов цифровых данных. За один полет может быть израсходовано несколько десятков гигабайт.

5. Зависимость от качества геодезической привязки. Плотность четко опознаваемых и равномерно распределенных опорных точек должна составлять не менее 6–8 на км², погрешность определения координат X, Y, Z – не более 1–2 см. В противном случае погрешность конечных полученных моделей возрастет до 20–50 см, что существенно снижает возможность использования метода для регистрации малых деформационных смещений.

Спутниковая радарная интерферометрия

Перспективным дистанционным методом мониторинга деформаций земной поверхности является спутниковая радарная интерферометрия (InSAR), которая базируется на вычислении разности фаз между радарными снимками одной территории, полученными в разное время (рис. 4).



Рис. 4. Изображение интерферограммы карьера /
Fig. 4. Image of the quarry interferogram

Сущность метода состоит в том, что два SAR-снимка одной местности, выполненные с разных орбитальных позиций, накладываются друг на друга. В результате получают новый продукт – интерферограмму. Если в период между съемками произошли смещения земной поверхности, расстояние от спутника до нее изменится. По разности фаз сигналов полученной интерферограммы определяется разница в расстоянии. Сопоставление фаз радиолокационных сигналов от повторных съемок позволяет выявлять малые смещения земной поверхности.

Обзор работ [14, 15] классифицирует основные преимущества метода:

1. Масштабный охват территории – метод InSAR характеризуется широкой полосой захвата территориями в несколько сотен км².

2. Высокая точность измерений – при оптимальных условиях съемки методика позволяет регистрировать деформационные смещения с миллиметровой погрешностью.

3. Анализ ретроспективных данных – наличие доступа к многолетним архивам спутниковой съемки за последние 10–20 лет дает возможность восстановить хронологию деформаций.

4. Полная автономность метода – не требуется полевого оснащения в виде марок или отражателей.

Ограничения InSAR-метода:

1. Нарушение когерентности – высокая растительность и значительный снежный покров приводят к декорреляции, то есть происходит полная или частичная потеря устойчивости сигнала во времени.

2. Влияние атмосферных условий – флуктуации влажности и атмосферного давления искажают радиолокационный сигнал, что снижает достоверность результатов измерений.

3. Искажения рельефа – сложный рельеф порождает специфические радиолокационные артефакты, то есть тени, опрокидывание изображения (layover), сжатие склонов (foreshortening), что приводит к затруднению для корректной обработки снимков.

4. Ограниченная размерность измерений – данный метод фиксирует компонент смещения по линии визирования спутника (направление спутник – Земля), что делает необходимой дополнительную обработку или привлечение сторонних данных для разложения вектора сдвига на вертикальную и горизонтальную компоненты.

В работах [4] представлен сопоставительный анализ GNSS- и InSAR-методов на индустриальной территории, где результаты расходятся всего на 2–3 мм.

Обсуждение результатов

Выполненный анализ методов геодезического мониторинга техногенных объектов позволяет сопоставить эффективность данных методов и оценить целесообразность их применения в задачах мониторинга карьеров и отвалов. Результаты анализа продемонстрированы в таблице.

Анализ дистанционных методов геодезического мониторинга техногенных объектов позволяет выделить наиболее перспективные сочетания, основанные на взаимном дополнении по таким ключевым особенностям, как точность, территориальный охват, оперативность, всепогодность, стоимость и ограничения:

InSAR + БАС-фотограмметрия – метод представляется перспективным при многоуровневой организации мониторинга: спутниковые данные позволяют выявлять зоны вероятной деформационной активности на больших территориях, а БАС обеспечивает детализированное обследование локальных участков и уточнение морфологических признаков деформаций.

БАС-фотограмметрия + UAV LIDAR – гибридная съемка с одного носителя: LIDAR позволяет получать информацию о рельефе даже при наличии частичного растительного покрова, что дает возможность получить качественную цифровую модель местности; фотограмметрия выполняет визуализацию объекта, распознает текстуру и даже цвет объекта.

НЛС + БАС-фотограмметрия – сочетание методов снижает вероятность образования неохваченных участков и повышает полноту трехмерного описания объекта. НЛС способствует получению данных нижней части объекта с миллиметровой точностью, БАС – верхней части.

GNSS + InSAR – GNSS-метод предоставляет абсолютные координаты опорных точек, спутниковый метод – поле смещений большого количества точек, что позволяет сопостав-

**Сравнительный анализ методов мониторинга для карьеров и отвалов /
Comparative analysis of monitoring methods for open pits and stockpiles**

Критерий	GNSS	НЛС	БАС-фотограмметрия	InSAR
Точность определения смещений	Высокая (мм)	Высокая (мм-см)	Средняя (см)	Высокая (мм/см)
Пространственное покрытие	Точечное	Площадное	Площадное	Площадное
Частота наблюдений	Непрерывно	Высокая	Периодическая / по запросу	Регулярная (по расписанию спутника)
Возможность ретроспективного анализа	Отсутствует	Отсутствует	Ограничена, если есть архивы	Высокая (архивы 10+ лет)
Применимость в глубоких карьерах	Ограничена (экранировка)	Высокая (со дна или бортов)	Высокая	Средняя
Применимость на отвалах	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая (при наличии отражателей)
Стоимость оборудования / съемки	Средняя / высокая	Высокая / средняя	Низкая / низкая	Средняя (данные) (отсутствует на объекте)
Автоматизация	Полная	Частичная	Частичная	Полная (обработка)

лять дискретные высокоточные измерения с распределенным полем смещений и повышать достоверность интерпретации деформационных процессов.

Заключение

1. Сопоставительный анализ современных методов геодезического мониторинга техногенных объектов показывает, что GNSS-метод сохраняет приоритетное значение в задачах высокоточного и непрерывного контроля деформаций, однако его применение ограничено дискретным характером наблюдений, поскольку измерения выполняются только в фиксированных пунктах.

2. Методы наземного лазерного сканирования и фотограмметрической съемки обеспечивают детализированное площадное представление геометрического состояния объекта и позволяют выявлять локальные деформационные изменения на значительных участках поверхности, однако требуют периодического выполнения съемок и в целом уступают GNSS-наблюдениям по точности регистрации малых смещений.

3. Спутниковая радарная интерферометрия, в свою очередь, обладает существенными преимуществами, связанными с широким территориальным охватом, высокой чувствительностью к деформационным смещениям и возможностью ре-

троспективного анализа. Вместе с тем достоверность интерферометрических определений зависит от влияния атмосферных возмущений, нарушений когерентности и геометрических искажений, что обуславливает необходимость дальнейшей методической проработки применения InSAR, особенно в условиях глубоких карьеров и активно изменяющегося рельефа.

4. Проведенный анализ свидетельствует, что наиболее перспективным направлением развития геодезического мониторинга является интеграция разномасштабных и разнородных данных, а также применение методов машинного обучения для их совместной обработки и интерпретации. Комплексное использование различных технологий позволяет не только частично компенсировать ограничения отдельных методов, но и существенно повысить достоверность, полноту и информативность мониторинга за счет объединения высокоточных точечных и площадных наблюдений в едином информационно-аналитическом контуре.

5. Обобщение результатов анализа научной литературы свидетельствует о наличии ряда взаимосвязанных и недостаточно изученных вопросов: методика совместного применения GNSS и InSAR в условиях активной разработки карьеров, оценка точности InSAR-метода в глубоких карьерах, верификация интерферометрических данных высокоточным нивелированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Zhang K.A., Chen Y. Review of remote sensing technologies for monitoring the deformation of civil engineering structures. *Remote Sensing*. 2021; 13 (5): 950. <https://doi.org/10.3390/rs13050950>.
2. Lechner A.M., Muir M. Remote sensing technologies for monitoring subsurface infrastructure: A review. *Journal of Infrastructure Systems*. 2021; 27 (3): 04021024. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000590](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000590).
3. Хромов Д.В. Инновационные подходы к геодезическому мониторингу. *Научные и практические исследования в геодезии*. 2023; 17 (3): 89-96. Khromov D.V. Innovative approaches to geodetic monitoring. *Scientific and Practical Research in Geodesy*. 2023; 17 (3): 89-96. (In Russ.).
4. Huang Y., Lee C. Monitoring the deformation of urban infrastructure using combined GNSS and InSAR techniques. *Journal of Urban Technology*. 2022; 29 (4): 1-15. <https://doi.org/10.1080/10630732.2021.2005003>.
5. Смирнов В.А., Иванова Е. П. Наземное лазерное сканирование для мониторинга техногенных объектов. *Геодезия и картография*. 2023; 12 (1): 67-75. Smirnov V.A., Ivanova E.P. Terrestrial laser scanning for monitoring of technogenic objects. *Geodesy and Cartography*. 2023; 12 (1): 67-75. (In Russ.).
6. Павлов А.И. Геодезический мониторинг объектов энергетики: современные подходы. *Энергетические технологии и системы*. 2022; 10 (1): 33-39. Pavlov A.I. Geodetic monitoring of energy facilities: modern approaches. *Energy Technologies and Systems*. 2022; 10 (1): 33-39. (In Russ.).
7. Федоров С.Л. Применение 3D-лазерного сканирования для мониторинга инфраструктурных объектов. *Горные науки и технологии*. 2021; 17 (2): 95-102. Fedorov S.L. Application of 3D laser scanning for monitoring of infrastructure objects. *Mining Sciences and Technologies*. 2021; 17 (2): 95-102. (In Russ.).

8. Obermeier S., Döllner J. Integrating 3D laser scanning and UAV data for structural health monitoring. *Structural Control and Health Monitoring*. 2023; 30 (2): 3046. <https://doi.org/10.1002/stc.3046>.
9. Böhm J., Huber J. Laser scanning and UAV technology for the monitoring of historical buildings. *Journal of Cultural Heritage*. 2023; 23: 123-134. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.04.001>.
10. Петров Д.С., Сидоров К.А. БПЛА в мониторинге инфраструктурных объектов. *Научные исследования в геодезии*. 2024; 10 (2): 123-130. Petrov D.S., Sidorov K.A. UAVs in monitoring of infrastructure objects. *Scientific Research in Geodesy*. 2024; 10 (2): 123-130. (In Russ.).
11. Иванова Е.Н. Использование БПЛА для мониторинга экологических изменений. *Экология и геодезия*. 2023; 14 (1): 78-85. Ivanova E.N. Use of UAVs for monitoring of environmental changes. *Ecology and Geodesy*. 2023; 14 (1): 78-85. (In Russ.).
12. Григорьев В.А. Эффективность применения БПЛА для геодезического мониторинга. *Вестник геодезии и картографии*. 2022; 15 (2): 36-42. Grigoriev V.A. Efficiency of using UAVs for geodetic monitoring. *Bulletin of Geodesy and Cartography*. 2022; 15 (2): 36-42. (In Russ.).
13. Иванова Е.Н., Петров С.И. БПЛА в мониторинге крупных инфраструктурных проектов. *Технологии и инновации в строительстве*. 2022; 11 (3): 58-66. Ivanova E.N., Petrov S.I. UAVs in monitoring of large infrastructure projects. *Technologies and Innovations in Construction*. 2022; 11 (3): 58-66. (In Russ.).
14. Müller H., Scherer H. The role of remote sensing in the monitoring of industrial facilities: A review. *Sensors*. 2022; 22 (7): 2582. <https://doi.org/10.3390/s22072582>.
15. Gonzalez A., Pacheco J. Remote monitoring of ground subsidence using UAV and satellite data. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2024; 123: 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.112123>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Евгения Владимировна Кайгородова –
аспирант, кафедра инженерной геодезии и
маркшейдерского дела, Сибирский государственный
университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация;
м. т. н., старший преподаватель, кафедра МДиГ,
Карагандинский технический университет имени Абылкаса
Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан,
yevgeniya_kaygorodova@mail.ru;

Мируэрт Серикпаевна Тутанова –
аспирант, кафедра инженерной геодезии и
маркшейдерского дела, Сибирский государственный
университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация;
м. т. н., старший преподаватель, заведующая кафедрой
МДиГ, Карагандинский технический университет имени
Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан;

Ольга Васильевна Старостина –
канд. техн. наук, доцент кафедры МДиГ, Карагандинский
технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда,
Казахстан; olga.starostina2612@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0003-4030-0748>

Асия Маратовна Капшук –
м. т. н., старший преподаватель, кафедра МДиГ,
Карагандинский технический университет имени Абылкаса
Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан;

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над
статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.04.2026
Поступила после рецензирования: 30.05.2026
Принята к публикации: 05.06.2026

ABOUT THE AUTHORS

Yevgeniya V. Kaigorodova –
PhD student, Department of Engineering Geodesy and Mine
Surveying, Siberian State University of Geosystems and
Technologies, Novosibirsk, Russian Federation;
M.Sc., teacher Department of Mine Surveying and Geodesy,
Abylka Saginov Technical University, Karaganda, Republic of
Kazakhstan, yevgeniya_kaygorodova@mail.ru;

Miruert S. Tutanova –
PhD student, Department of Engineering Geodesy and Mine
Surveying, Siberian State University of Geosystems and
Technologies, Novosibirsk, Russian Federation;
M.Sc., teacher, Head of Department of Mine Surveying and
Geodesy, Abylka Saginov Technical University, Karaganda,
Republic of Kazakhstan;

Olga V. Starostina –
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mine
Surveying and Geodesy Abylka Saginov Technical University,
Karaganda, Kazakhstan; olga.starostina2612@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0003-4030-0748>

Asiya M. Kapshuk –
M.Sc., teacher Department of Mine Surveying and Geodesy,
Abylka Saginov Technical University, Karaganda, Republic of
Kazakhstan;

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the
work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 12.04.2026
Revised: 30.05.2026
Accepted: 05.06.2026