

АННОТАЦИЯ

**диссертационной работы на соискание степени доктора
философии (Ph.D.) по специальности «6D071100 – Геодезия»**

Сатбергеновой Асель Куандыковны

на тему: «Геодезические методы исследования состояния природных и техногенных объектов с использованием спутниковых технологий»

Актуальность темы исследования. В условиях интенсивного освоения недр, развития крупной инфраструктуры и высокого риска техногенных и природных катастроф на территории Республики Казахстан, критически важным становится обеспечение непрерывного и высокоточного мониторинга состояния природных и техногенных объектов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода к комплексным спутниковым технологиям для оперативного выявления и прогнозирования сдвижений земной поверхности, деформаций крупных промышленных комплексов, горнодобывающих объектов и инфраструктурных сетей, что соответствует Целям устойчивого развития (ЦУР) №9 «Индустриализация, инновации и инфраструктура». Совершенствование методов сбора и обработки геопространственных данных на основе спутниковых технологий является ключевым фактором для минимизации рисков, повышения промышленной и экологической безопасности, а также обеспечения устойчивого развития регионов, что напрямую соответствует ЦУР №11 «Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов».

Тематика данного исследования соответствует приоритетным направлениям развития науки Республики Казахстан, в частности, в области рационального использования минеральных ресурсов и безопасности промышленных объектов. Работа отвечает требованиям современной цифровизации горнодобывающей отрасли в рамках концепции «Индустрия 4.0», предполагающим переход к высокотехнологичным методам сбора и обработки цифровых данных.

Целью работы является разработка научно-методических основ и комплексной геодезической технологии мониторинга состояния природных и техногенных объектов с использованием спутниковых данных для повышения точности, оперативности выявления и прогнозирования их деформаций и обеспечения геодинамической безопасности регионов.

Основная идея работы заключается в разработке методики комплексного мониторинга природных и техногенных объектов на основе использования современных цифровых методов геодезических съемок и спутниковых технологий.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- провести критический теоретический анализ и систематизацию мирового опыта применения интегрированных спутниковых технологий (ГНСС, InSAR) для мониторинга техногенных и природных деформаций;

- разработать интегрированную методику сбора, обработки и совместного анализа геопространственных данных, получаемых от различных спутниковых и наземных геодезических систем, для обеспечения высокой точности и надежности результатов наблюдений за состоянием подработанной земной поверхности;

- выполнить опытно-промышленные геодезические работы на ключевых природных (округ Баден-Вюртемберг) и техногенных объектах (район Карагандинского угольного бассейна, Атасуйское железорудное месторождение) для построения пространственно-временных моделей земной поверхности;

- обосновать методику применения и разработать рекомендации по планированию аэрофотограмметрических работ с использованием беспилотных летательных аппаратов для повышения производительности и точности выполнения топографических съемок масштаба 1:500 – 1:2000 при сечении рельефа 0,5 метра.

Методика проводимых исследований включают:

- анализ и обобщение литературных источников по современным геодезическим приборам и методам съемки;

- лабораторные исследования ошибки измерения фазового центра антенн глобальных навигационных спутниковых систем космического и пользовательского сегмента;

- опытно-промышленную проверку результатов исследований на территории Карагандинского угольного бассейна, Атасуйского железорудного месторождения, лесных и сельскохозяйственных участков района Баден-Вюртемберг (Германия).

- обоснование рекомендаций проектирования аэрофотограмметрических работ и спутниковых геодезических измерений для выполнения наблюдений и контроля состояния техногенных объектов.

Предметом исследования являются подработанная земная поверхность в районах горного отвода Атасуйского железорудного месторождения и Карагандинского угольного бассейна, а также сельскохозяйственные поля и угодья региона Баден-Вюртемберг (Германия).

Методы исследования включают спутниковую радарную интерферометрию, спутниковые ГНСС измерения, дистанционную аэрофотосъемку и высокоточное геометрическое нивелирование, математическую обработку и статистику, программирование в среде Python.

Научная новизна исследований заключается в:

- применении прогрессивных технологических решений в геодезии, основанных на радарной интерферометрии и спутниковых ГНСС измерениях совместно с высокоточным геометрическим нивелированием для выявления закономерностей механизма деформирования земной поверхности в процессе отработки полезных ископаемых и изменений ландшафта посевной поверхности в период растительного цикла;

- определении величин смещений на территориях в напряженно-деформированном состоянии методами спутниковой радарной интерферо-

метрии, как наиболее информативного способа измерения в опасных зонах, позволяющих выявить малозаметные процессы деформирования.

Научное значение работы заключается в прогнозировании состояния земной поверхности при отработке месторождения полезных ископаемых подземным способом на основе внедрения цифровых технологий измерений и дистанционного зондирования земли с целью выявления механизма деформирования, изменения ландшафта посевных полей в процессе изменения сезона времени и повышения точности измерений.

Научные положения, выносимые на защиту, заключаются в следующем:

- разработать методику извлечения вегетационных параметров природных объектов с различным типом растительного покрова по данным спутникового дистанционного зондирования основанной на установлении корреляционной зависимости между расчетными спутниковыми индексами и результатами наземных натурных наблюдений, обеспечивающей достоверную оценку состояния растительности;

- разработать автоматизированное вычисление и визуализацию параметров фазового центра ГНСС-антенн с помощью математических расчетов и построения диаграмм в программном комплексе Python на основе абсолютных калибровочных данных для обеспечения высокой внутренней точности ГНСС-составляющей;

- разработать и внедрить комплексную геомеханическую мониторинговую систему на техногенных объектах горнодобывающих предприятий, включающая спутниковое дистанционное зондирование, ГНСС-измерения, высокоточное цифровое нивелирование и аэрофотограмметрию с БПЛА.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обусловлена значительным объемом обзора литературных источников, проведением полевых измерений непосредственно на объектах, обработки спутниковых радарных данных высокого разрешения, которые опираются на основные достижения в области геодезии, дистанционного зондирования земли и геомеханики путем обоснования техногенных процессов сдвижения земной поверхности подработанных территорий, компарированием результатов космической радарной интерферометрии, высокоточного цифрового нивелирования, аэрофотосъемки с БПЛА, и соответствия данных полученных результатов с действующими нормативными документами.

Теоретическая значимость работы заключается в:

- комплексном подходе к изучению процессов деформации земной поверхности на подработанных территориях, базирующейся на выявлении закономерностей изменения поверхности в зависимости от степени подработки горного массива, что позволяет точнее прогнозировать деформации и предотвратить негативные последствия для окружающей среды и инфраструктуры.

- определении величин смещений земной поверхности в условиях напряженного состояния, которое достигается путем использования

спутниковой радарной интерферометрии, позволяющей обеспечивать возможность получения пространственно-объемной информации о процессе деформирования земной поверхности, включая малозаметные изменения. Преимущество интерферометрии заключается в её высокой точности и возможности проводить измерения в опасных зонах, где другие методы могут быть затруднены.

- использовании высокоточного геометрического нивелирования с применением цифровых лазерных приборов, позволяющего на ранней стадии выявлять величины смещений земной поверхности на подработанных территориях и своевременно реагировать на изменения и предотвращать аварийные ситуации.

- обоснованном применении аэрофотограмметрического метода съёмки с помощью беспилотных летательных аппаратов, позволяющей создавать цифровые модели местности для планирования и безопасного проведения рекультивационных работ с целью улучшения управления рисками.

Практическая ценность работы.

В рамках комплексного подхода, разработанного для мониторинга критически важных объектов на подработанных территориях Карагандинского угольного бассейна, Атасуйского рудного месторождения, метод InSAR используется для первичного выявления и локализации зон активных деформаций. После фиксации мультиспектральных снимков для жесткой калибровки и детальной валидации результатов InSAR применяется аэрофотограмметрический метод с использованием БПЛА DJI Mavic 2 Pro. Создание съёмочного обоснования для аэрофотосъёмки осуществляется высокоточными ГНСС-приемниками Leica GS14. Оповестительные знаки в виде контрастных кругов используются для привязки аэрофотоснимков к земной поверхности и минимизации остаточных ошибок, обеспечивая точность, необходимую для топографических съёмок масштаба 1:500–1:2000.

Внедрение результатов. Полученные результаты исследований реализованы на шахтах Карагандинского угольного бассейна, внедрены в деятельности Представительства «Оркен-Атасу» ТОО «Оркен», отдельные положения диссертационной работы использованы при мониторинге сельскохозяйственных участков Баден-Вюртемберг (Германия), а также разработанная методика наблюдений используются в учебном процессе кафедры «Маркшейдерского дела и геодезии» НАО «Карагандинского технического Университета имени Абылкаса Сагинова» при чтении лекций и проведении студенческих научных исследований.

Диссертационная работа выполнена в контексте реализации хозяйственного договора №23.11.04 «Исследование дневной поверхности в зоне воздействия взрывных работ и контроль процесса рекультивации карьера Представительства ТОО «Оркен-Атасу». Предложенные методы исследования применялись при реализации научных проектов AP09058619, 0213PK01341, что подтверждено перечнем публикаций. Диссертационное исследование проведено в рамках научно-технического сотрудничества с немецкой службой академических обменов DAAD 57558719

«Сотрудничество в междисциплинарной среде строительства и геодезии» на базе Берлинской высшей технической школы Берлинского Университета в Германии под руководством зарубежного научного консультанта. Работа выполнена в рамках международного научно-исследовательского проекта GEO3889, поддержанного Немецким аэрокосмическим центром (DLR), в части предоставления доступа к архивному массиву радарных данных спутника TerraSAR-X (126 снимков).

Личный вклад автора заключается: в постановке проблемы и задач исследований; разработке методик, моделей и проведении аналитических, экспериментальных исследований и полевых наблюдений.

Публикации и апробация работы. По теме диссертации опубликованы три статьи в рейтинговых журналах, входящих в базу Scopus и Web of Science «InSAR-Based Assessment of Land Subsidence Induced by Coal Mining in Karaganda, Kazakhstan» журнал «Geomatics», издательство Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), Q2, Швейцария; «Analysis of Undermined Ground Surface Movements at the Atasu Iron Ore Deposit», Journal of Mining Science, издательство Springer, Q3, США; «The research study in the convergence of the results of processing radar images Sentinel-1A with field observations of agricultural sites» журнал «Геодезия и картография» издательство ППК «Роскадастр», Q3, Российская Федерация; шесть статей в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и МОН РК; восемь тезисов в сборниках Международных конференций. Получены три Патента на полезную модель и три свидетельства о внесении сведений в Государственный реестр, охраняемые авторским правом.

Патенты о внесении сведений в Государственный реестр полезных моделей, охраняемые авторским правом (в соавторстве):

- №7006 Патент на полезную модель «Пилон геодезической привязки» регистрационный номер заявки 2022/0073.2 от 03.02.2022 г.;
- №8814 Патент на полезную модель «Конструкция нивелирного башмака» регистрационный номер заявки 2023/1129.2 от 15.11.2023 г.;
- №37751 Патент на изобретение «Универсальный геодезический пилон» от 16.01.2026 г.

Свидетельства о государственной регистрации прав на объекты авторского права (в соавторстве):

- №33846 «Ұшқышсыз ұшу аппараттар көмегімен орман қорын талдау, қорғау және жоспарлау», дата регистрации 27.03.2023г.;
- №41902 «Мониторинг земной поверхности в районе угольных шахт города Караганды», дата регистрации 10.01.2024 г.
- № 59974 «Ұшқышсыз ұшу аппараттардың (ҰҰА) көмегімен топографиялық жоспарларды құру», дата регистрации 19.06.2025 г.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации составляет 135 страниц, содержит 17 таблиц и 87 рисунков.