

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D07302 – Геоинформатика» Аталыковой Назым Султангалиевной на тему «Разработка методики исследования устойчивости карьерных бортов на рудных месторождениях Казахстана»

В первой главе обоснована актуальность разработки комплексной методики исследования устойчивости бортов карьеров, основанной на интеграции геодезических и геоинформационных методов мониторинга, моделировании геомеханических процессов и анализе факторов, влияющих на устойчивость прибортовых массивов. Дальнейшие исследования направлены на повышение точности наблюдений, прогнозирование опасных деформаций и разработку практических решений, обеспечивающих рациональное управление устойчивостью бортов при эксплуатации месторождений Республики Казахстан.

Во второй главе показано, что современные геоинформационные системы (ГИС) обеспечивают полный цикл работы с пространственными данными — от их сбора и хранения до визуализации, анализа и генерации производных картографических и геомеханических моделей. Применение многослойной структуры данных, развитого инструментария пространственного анализа, цифровых моделей рельефа, методов геостатистики и картографической визуализации обеспечивает принципиально новые аналитические возможности. Это позволяет выявлять закономерности развития техногенных процессов, моделировать деформационное состояние бортов карьеров и принимать оптимальные управленческие решения.

Особое внимание уделено современным специализированным программным продуктам, применяемым в горнодобывающей отрасли. Программные комплексы Micromine, Surpac, Vulcan, Datamine, Leapfrog Geo, ArcGIS / ArcGIS Pro, QGIS, GeoStudio, RS2 и др. позволяют выполнять 3D-моделирование геологического строения, оптимизацию горных работ, расчёт устойчивости бортов и анализ напряжённо-деформированного состояния массива. Сравнительный анализ показал, что данные системы обладают высоким уровнем интеграции, поддержкой больших объёмов данных и широким спектром аналитических инструментов, что делает их универсальными средствами геоинформационного моделирования.

В мае 2012 года на участке ЮЗ (отметки 430–415 м, разрез 34–34) были зафиксированы максимальные осадки до 150 см, зарегистрированные после формирования уступов и появления трещин [123, с.].

В период с июня по ноябрь 2012 года специалистами КазНИМИ были выполнены измерения смещений земной поверхности, а также проведено лазерное сканирование карьера «Итауыз» по трём профильным линиям на верхних горизонтах. Результаты измерений не превышают допустимую погрешность измерений [123, с.].

По карьере «Акчий-Спасский» в 2012 году сотрудниками КазНИМИ были выполнены наблюдения и лазерное сканирование по трём профильным линиям. Были зафиксированы незначительные осадки величиной от 44 до 5,5 мм. В целом деформации находятся в пределах точности измерений [123, с.].

В заключительной главе представлены основные результаты и положения, составляющие научную новизну выполненного исследования. В рамках поставленных задач разработана и апробирована комбинированная методика оценки устойчивости бортов карьеров, предусматривающая интеграцию геомеханического моделирования и методов многокритериального анализа. Предложенный подход основан на совместном использовании геомеханических пакетов Examine2D, FLAC3D и Midas GTS NX, что позволяет детально анализировать напряжённо-деформированное состояние массива на различных масштабных уровнях.

В ходе исследования карьеров Акжал, Акчий-Спасс и Итауыз применена комплексная методика мониторинга, основанная на интеграции ГИС-технологий и многосенсорных спутниковых данных. Оптические снимки Sentinel-2 за период 2016–2025 гг. наглядно отразили плановое расширение карьеров, увеличение площадей отвалов и развитие производственной инфраструктуры. InSAR-анализ по данным Sentinel-1 (2020–2025 гг.) позволил выявить относительные смещения земной поверхности в направлении линии визирования (LOS) на территории карьера Акжал и количественно охарактеризовать деформационную составляющую морфологических изменений.

Основание и исходные данные для разработки темы. Основанием для разработки темы диссертационной работы «Разработка методики исследования устойчивости карьерных бортов на месторождениях Казахстана» является необходимость геомеханически, геодезически и информационно обоснованного обеспечения устойчивости бортов карьеров.

В данных условиях возникает потребность в создании методики, основанной на интеграции полевых наблюдений, инструментального геодезического мониторинга, спутниковых методов и геоинформационных систем (ГИС), что позволяет формировать единую цифровую модель массива и выполнять пространственный анализ деформационных процессов.

Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы. Потребность в минерально-сырьевых ресурсах в Республике Казахстан и в мире непрерывно растёт, что требует значительного увеличения производственных мощностей горнодобывающих предприятий. При этом большинство месторождений с простыми горно-геологическими условиями и высоким содержанием полезного компонента уже отработаны либо находятся на завершающей стадии разработки. В результате современная горнодобывающая отрасль всё чаще сталкивается с необходимостью вовлечения в эксплуатацию месторождений со сложным геолого-структурным строением, а также с неизбежным увеличением глубины открытых горных работ.

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработке, патентных исследованиях и выводы из них определяются полнотой проведённого анализа существующих научных и инженерных решений в области обеспечения устойчивости карьерных бортов и уступов. Патентный поиск показал, что большинство современных методик ориентированы на использование отдельных геомеханических или геодезических подходов, без комплексного объединения инструментального мониторинга, цифрового моделирования и пространственного анализа.

В ходе диссертационной работы выполнен углублённый научно-технический обзор методов расчёта устойчивости откосов, алгоритмов геомеханического моделирования, программных комплексов, применяемых при анализе напряжённо-деформированного состояния (NDS), а также систем инструментального наблюдения, основанных на современных геодезических и спутниковых технологиях (GNSS, автоматизированные станции, дистанционный мониторинг). Отдельное внимание уделено возможностям интеграции геоинформационных систем (ГИС) для пространственной обработки данных, визуализации структурных элементов массива и моделирования зон потенциальной неустойчивости.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации. Достоверность полученных результатов подтверждается применением комплекса геодезических, геомеханических и цифровых методов исследования, включая инструментальные наблюдения за деформациями откосов, полевые измерения структурных особенностей массива, а также использование современных методов математического моделирования устойчивости и напряжённо-деформированного состояния горного массива.

Актуальность темы. В настоящее время развитие горнодобывающей отрасли Казахстана связано с внедрением современных технологий и высокопроизводительного оборудования, что обеспечивает повышение интенсивности открытых горных работ и расширение их масштабов. Вместе с ростом объемов добычи возрастает необходимость освоения месторождений со сложным геолого-тектоническим строением и формирования бортов карьеров с увеличенными углами наклона.

Такая тенденция приводит к повышенным геомеханическим нагрузкам на прибортовые массивы, что значительно усложняет обеспечение устойчивости карьерных откосов. При переходе к глубоким горизонтам вопросы их устойчивости становятся ключевыми для безопасной эксплуатации карьера, экономической эффективности горных работ и снижения рисков возникновения аварийных ситуаций.

В этих условиях требуется разработка научно обоснованной методики исследования устойчивости карьерных бортов, основанной на комплексном подходе, включающем интеграцию геомеханических расчётов, инструментальных геодезических наблюдений, цифрового моделирования и анализа структурно-тектонических особенностей месторождений Казахстана.

Новизна темы заключается в разработке комплексной методики исследования устойчивости карьерных бортов на месторождениях Казахстана,

основанной на интеграции геодезических, геомеханических и цифровых технологий. Анализ литературных источников и современных исследований в области устойчивости бортов и уступов глубоких карьеров показывает, что для большинства действующих карьеров характерно существенное усложнение горнотехнических условий, вызванное увеличением глубины разработки и вовлечением в эксплуатацию месторождений со сложным геолого-структурным строением.

В таких условиях возрастает значимость системного подхода к оценке устойчивости откосов, основанного на объединении инструментального мониторинга, анализа структурно-тектонических особенностей, определения физико-механических свойств массива и численного моделирования напряжённо-деформированного состояния.

Впервые предлагается методика, предусматривающая комплексное применение:

- высокоточных геодезических измерений (GNSS, автоматизированные станции, наземное сканирование);
- геоинформационных технологий для пространственного анализа деформаций и формирования цифровой модели массива;
- современных программных комплексов геомеханического моделирования;
- интеграции полевых, лабораторных и цифровых данных в единую систему оценки устойчивости карьерных откосов.

Предлагаемый подход формирует новую научно-методическую основу для оценки и прогнозирования устойчивости бортов глубоких карьеров, учитывающую специфические геолого-тектонические и техногенные условия месторождений Казахстана.

Цель исследования - совершенствование геодезических методов наблюдений за состоянием прибортовых массивов карьеров с применением геоинформационных технологий (ГИС) для повышения эффективности контроля устойчивости откосов и обеспечения рациональной и безопасной разработки месторождений полезных ископаемых.

Объектом исследования является месторождение Акжал при переходе с открытой добычи в подземную, Акчий-Спасское и Итауыз месторождения, разрабатываемое открытым способом.

Задачи исследования, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом:

1. Разработать методику выполнения инструментальных наблюдений за деформациями откосов карьера с использованием современных геодезических приборов.
2. Разработать основные принципы построения автоматизированной системы инструментальных наблюдений и геодезического мониторинга на карьере.
3. Совершенствовать методику расчёта устойчивости карьерных откосов, с учётом реальных данных геодезических наблюдений.

4. Внедрить методы геоинформационного анализа (ГИС) для пространственной оценки деформационных процессов, моделирования и визуализации зон потенциальной неустойчивости карьерных откосов.

Поставленные задачи последовательны и логичны, определяют внутреннее единство научно-исследовательской работы и направлены на достижение поставленной цели исследований.

Методологическая база исследований

К числу основных методов исследований и анализов, применяемых при выполнении диссертационной работы, относятся:

- моделирование геомеханических процессов при переходе от открытой добычи к подземной разработке на месторождений Акжал, Акчий-Спасское и Итауыз;

- разработка предложений по необходимому объему, составу и методике наблюдений на месторождениях Акчий-Спасское и Итауыз;

- составление проекта и наблюдательной станции;

- анализ доступных на заданную территорию данных Sentinel-1 и скачивание снимков;

- обработка космоснимков с использованием методов радиолокационной интерферометрии (InSAR) для получения карт смещений поверхности, выявления активных деформационных зон и построения временных рядов изменений.

Положения, выносимые на защиту

На защиту диссертационной работы выносятся следующие положения:

- устойчивость бортов и уступов карьеров определяется структурными особенностями и прочностными свойствами скального массива, изменяющимися с глубиной разработки;

- зоны возможных деформаций при углублении карьеров определяются моделированием с учетом пространственной изменчивости физико-механических свойств горных пород по площади и глубине;

- геомеханическое обоснование устойчивости бортов карьеров обеспечиваются комплексным учетом результатов геодезических наблюдений, натурных и лабораторных исследований, данных ГИС-анализа и моделирования, интегрированных в единую цифровую базу данных.

Практическая значимость диссертации заключается в разработке методики, обеспечивающей повышение надежности оценки устойчивости бортов карьеров на месторождениях. Предложенный комплекс включает геодезические наблюдения, лабораторные исследования, ГИС-анализ и моделирование, что позволяет учитывать реальную изменчивость физико-механических свойств массива, структурные особенности и факторы глубокой отработки.

Структура и объем диссертации: диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 151 наименований и приложений. Работа изложена на 131 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков, 22 таблиц