

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке и инновациям

ФГАОУ ВО «Национальный

исследовательский технологический

университет «МИСиС»,

доктор технических наук, профессор

Филонов М.Р.

«22» ноября 2018 г.



ОТЗЫВ

**ведущей организации** Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС») на диссертационную работу **Пономаренко Марии Руслановны** на тему: «Разработка метода деформационного мониторинга открытых горных работ в условиях Крайнего Севера с использованием космического радиолокационного зондирования», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **25.00.16 - Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр**

Диссертация представлена на отзыв в виде отдельного тома; содержание работы изложено на 155 страницах машинописного текста, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 108 наименований, содержит 23 рисунка, 29 таблиц, 3 приложения.

### 1. Актуальность темы

Необходимым условием обеспечения безопасности и эффективности горного производства как при подземном, так и при открытом способе добычи является проведение деформационного мониторинга земной поверхности и сооружений, находящихся в зоне ведения горных работ. Технологии выполнения деформационного мониторинга постоянно совершенствуются. В настоящее время для выполнения маркшейдерского контроля деформаций на объектах открытой разработки месторождений применяется широкий спектр методов и технических средств: наземные инструментальные съемки, аэрофотосъемка, наземное и воздушное лазерное сканирование, дистанционное зондирование Земли из космоса и др. Таким образом, система комплексного мониторинга деформаций сегодня включает не только наземный, но и аэрокосмический сегмент. Особый интерес представляет космическая радиолокационная съемка как площадной метод мониторинга, позволяющий проводить наблюдения вне зависимости от погодных условий и времени суток, получая данные высокого пространственного разрешения. Однако возможность и эффективность применения радиолокационного зондирования из космоса в северных

№423-10  
от 26.11.2018

районах страны требуют специальной проверки. Климатические условия Крайнего Севера ограничивают использование как инструментальных, так и космических методов измерений. Это обуславливает необходимость совершенствования известных и разработки новых методик применения космических радиолокационных данных для мониторинговых деформационных измерений на горных предприятиях северных регионов. Таким образом, обоснование использования метода космической радарной интерферометрии относится к числу актуальных задач в сфере маркшейдерско-геодезического мониторинга деформаций.

В этой связи, диссертационная работа Пономаренко М.Р., посвященная разработке метода деформационного мониторинга территорий заполярных месторождений с применением данных космического радиолокационного зондирования, несомненно является актуальной.

## **2. Содержание работы и результаты исследований**

Целью диссертационной работы являлось повышение качества и точности деформационного мониторинга территорий горных предприятий, расположенных на Крайнем Севере, с использованием данных космического радиолокационного зондирования для обеспечения безопасности горных работ.

К основным результатам, полученным в процессе теоретических и экспериментальных исследований для достижения поставленной цели, можно отнести следующие:

1. По результатам анализа современных маркшейдерско-геодезических методов, используемых для деформационного мониторинга открытых горных работ (с. 28-35), установлено, что перспективным методом является космическое радиолокационное зондирование, позволяющее проводить высокоточные площадные наблюдения (с. 35-37, 89-93). Метод всё чаще используется в рамках мониторинга деформаций земной поверхности и сооружений как на зарубежных, так и на российских месторождениях (с. 40-43). Однако до их пор не разработаны методики по выполнению деформационного мониторинга, включающего использование космического радиолокационного зондирования. Кроме того, на данный момент методически не обосновано применение данного метода для различных месторождений с учётом особенностей их инженерно-геологических, горно-геологических, гидрогеологических и физико-географических условий.

В сложившейся ситуации автором предложено выполнить научно-методическое обоснование деформационного мониторинга открытых горных работ на основе типизации горнотехнических объектов и разработать метод деформационного мониторинга месторождений полезных ископаемых, расположенных в Заполярье, с использованием космического радиолокационного зондирования.

2. В работе проанализированы инженерно-геологические, горно-геологические, гидрогеологические и физико-географические условия открытой разработки месторождений. По результатам анализа автором выделены критерии типизации горнотехнических объектов (карьеров/отвалов): тип горных/техногенных пород, деформационные процессы, конструктивные особенности, особенности гидрогеологических условий (степень обводненности/наличие водоносных горизонтов), сейсмичность территории, форма и высота рельефа, климатические факторы, усиливающих деформации горнотехнических объектов (с. 45-53). Разработана методика определения степени сложности условий горнотехнического объекта на основе статистического исследования с применением балльного метода экспертных оценок и многокритериального анализа для учета комплексного влияния выделенных показателей (с. 57-61). В соответствии с предложенной методикой, горнотехнические объекты могут быть разделены на 4 категории: простые объекты, объекты средней сложности, сложные и особо сложные объекты.

Методика апробирована для горнотехнических объектов открытой разработки месторождения Плато Расвумчорр АО «Апатит»: дана подробная характеристика их инженерно-геологических, горно-геологических, гидрогеологических и физико-географических условий (с. 62-72), на основе собранных данных определена сложность карьера «Центральный» и отвала №11 (с. 72-74).

3. Автором разработана методика выбора маркшейдерско-геодезических методов для выполнения деформационного мониторинга по результатам типизации наблюдаемых горнотехнических объектов. Определение комплекса методов выполняется с учётом сложности горнотехнических объектов, а также особенностей и технических характеристик методов мониторинга (способа измерений, пространственного охвата и степени автоматизации наблюдений). Совместный анализ этих факторов позволил обосновать комплекс методов мониторинга для каждой категории горнотехнических объектов.

В результате автором предложен подход, в соответствии с которым комплекс проводимых наблюдений расширяется с увеличением сложности наблюдаемого объекта, начиная от мониторинга простых объектов с применением простейших визуальных методов до дистанционного площадного мониторинга особо сложных объектов на основе автоматических систем наблюдения (с. 79-83).

Особое внимание уделено космическому радиолокационному зондированию: по результатам исследований автором было определено место космической радиолокации в системе деформационного мониторинга в качестве базового метода площадного контроля для выявления опасных деформационных процессов в зоне ведения открытых горных работ и

определения участков, на которых необходимо выполнить локальные высокоточные наблюдения (с. 89-93).

Предложенная методика использована при составлении рекомендаций по проведению мониторинга на объектах открытой горной разработки - карьера «Центральный» АО «Апатит» (с. 93-95).

4. Выполнен анализ данных с современных радарных спутников и о методах обработки радиолокационных изображений, составлены рекомендации по выбору исходных данных и их обработке (с. 99-114). Выполнена обработка и анализ радиолокационных данных со спутников ALOS PALSAR, TerraSAR-X и Sentinel-1 по территории Хибинских апатит-нефелиновых месторождений (с. 114-118), определены деформации на карьере «Центральный» (с. 118-128).

По результатам теоретических и экспериментальных исследований предложено определять деформации земной поверхности на территориях горных предприятий, расположенных в районах Крайнего Севера, по данным космического радиолокационного зондирования в нескольких частотных диапазонах – L, C и X. При этом L-диапазон используется для мониторинга деформаций, произошедших за длительный временной период, X-диапазон – для высокоточного мониторинга деформаций в пределах одного сезона наблюдений. C-диапазон (во многом благодаря наличию в открытом доступе данных со спутника Sentinel-1) рекомендован для регулярного оперативного площадного мониторинга деформаций (с. 128-130).

### **3. Научная новизна результатов исследований**

Научная новизна результатов исследований заключается в следующем:

- на основе разработанных критериев предложена типизация горнотехнических объектов открытой разработки месторождений полезных ископаемых по степени сложности с учётом их размеров, инженерно-геологических, гидрогеологических и орографических условий, развивающихся геодинамических процессов (с. 45-61).

- в ходе исследования выявлено, что использование радарной интерферометрии (по методу малых базисных расстояний) дает возможность определить деформации земной поверхности по результатам космического радиолокационного зондирования в L-диапазоне даже при условии, что используемые данные разделены значительным временным промежутком (с. 115-122). Полученный вывод был использован при разработке метода деформационного мониторинга, базирующегося на космическом радиолокационном зондировании поверхности в L, C и X-диапазонах (с. 127-130).

Кроме того, стоит отметить разработанные автором принципы организации маркшейдерского контроля деформаций горнотехнических объектов различной сложности с применением современных методов съёмки,

что является сегодня актуальной задачей в области комплексного деформационного мониторинга.

#### **4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, теоретически основываются: на методах системного анализа; научных концепциях ведущих отечественных и зарубежных ученых в области инженерной геологии, гидрологии, геомеханики, геодезии и маркшейдерского дела; на определении деформаций земной поверхности с использованием метода радарной интерферометрии.

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждаются большим объемом экспериментальных исследований с применением современных методов и компьютерных технологий обработки данных космического радиолокационного зондирования; согласованностью результатов исследований с натурными наблюдениями на карьере «Центральный» АО «Апатит».

#### **5. Практическая ценность результатов диссертационной работы и рекомендации по их использованию**

В диссертации представлена типизация горнотехнических объектов открытой разработки месторождений полезных ископаемых, на основе которой для конкретного горного предприятия (АО «Апатит», месторождение Плато Расвумчорр) выполнена оценка сложности условий объектов открытой разработки.

К числу практических разработок относятся принципы организации маркшейдерско-геодезического мониторинга деформаций в зоне ведения открытых горных работ с использованием метода космической радиолокационного зондирования. В соответствии с разработанными принципами автором составлены рекомендации по проведению деформационного мониторинга на территории карьера «Центральный» АО «Апатит».

Основное практическое значение имеет разработанный автором метод мониторинга деформаций с использованием данных космического радиолокационного зондирования в нескольких частотных диапазонах для территорий открытых горных разработок, расположенных в Заполярье. Метод использован для определения деформаций на территории карьера «Центральный» АО «Апатит».

Предложенные принципы типизации и метод деформационного мониторинга могут быть использованы при создании нормативно-методической базы и организации деформационного мониторинга природно-технических систем открытой разработки месторождений полезных ископаемых.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для использования маркшейдерскими службами горных предприятий Северных регионов при проведении ими деформационного мониторинга конструктивных элементов систем открытой разработки полезных ископаемых, а также научными институтами, сфера деятельности которых связана с оценкой состояния массивов горных пород в условиях природных и техногенных воздействий различной физической природы (ИПКОН РАН, ИГД СО РАН, ИГДС РАН, ИГД ДВО РАН и др.).

### 6. Замечания по работе

1. Для достоверной оценки сложности условий карьеров, по нашему мнению, при анализе их конструктивных особенностей необходимо также учитывать такие параметры как угол откоса, направление падения борта и коэффициент запаса.
2. В четвертой главе указано, что при обработке данных со спутников ALOS PALSAR и TerraSAR-X использован метод малых базисных линий, но из текста диссертации не до конца понятно, чем обосновано применение именно этого метода радарной интерферометрии.
3. В диссертации приведен анализ деформаций на территории Центрального и Коашвинского рудников, однако иллюстративный материал (в частности - карты оседаний и поднятий земной поверхности по данным TerraSAR-X) представлен только для первого объекта.

### 7. Заключение

Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа в целом характеризуется весьма положительно, представленные в ней научные положения, выводы и рекомендации теоретически и экспериментально обоснованы, результаты проведенных исследований отличаются научной новизной и имеют практическое значение при организации мониторинга деформаций земной поверхности на карьере «Центральный» и других объектов открытой разработки АО «Апатит».

По теме диссертации в открытой печати опубликованы работы в количестве, удовлетворяющем требованиям ВАК Минобрнауки России. Содержание публикаций и диссертации соответствует паспорту специальности 25.00.16 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация Пономаренко М.Р. является завершенной научно-квалификационной работой, полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор заслуживает присуждения ей степени кандидата технических наук по специальности 25.00.16 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая

геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр» за решение актуальной научной задачи - повышения качества и точности деформационного мониторинга конструктивных элементов систем открытой разработки с использованием данных космического радиолокационного зондирования в климатических условиях Крайнего Севера, что имеет существенное значение для обеспечения эффективности и безопасности функционирования горных предприятий северных регионов страны.

Отзыв ведущей организации ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», на диссертацию Пономаренко М.Р. рассмотрен и одобрен на заседании кафедры геологии и маркшейдерского дела 22 ноября 2018 г., протокол № 2.

Председатель заседания – и. о. заведующего кафедрой геологии и маркшейдерского дела Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кандидат технических наук, доцент



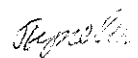
Абрамян Георгий  
Оникович

Профессор кафедры геологии и маркшейдерского дела Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», доктор технических наук, профессор



Мосейкин  
Владимир  
Васильевич

Секретарь заседания – кафедры геологии и маркшейдерского дела, кандидат технических наук, доцент



Пуневский  
Сергей  
Александрович

**Сведения о лицах, подписавших отзыв:**

1. Филонов Михаил Рудольфович, проректор по науке и инновациям ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», доктор технических наук, профессор, 119049, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4; телефон: +7 495 955-00-32; факс: +7 499 236-21-05; электронная почта: [filonov@misis.ru](mailto:filonov@misis.ru).
2. Абрамян Георгий Оникович, и.о. заведующего кафедрой геологии и маркшейдерского дела ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», кандидат технических наук, доцент, 119049, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4; телефон: +7 967 070-44-24; электронная почта: [gao3d@ya.ru](mailto:gao3d@ya.ru)
3. Мосейкин Владимир Васильевич, профессор кафедры геологии и маркшейдерского дела ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», доктор технических наук, профессор, 119049, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4; телефон: +7 495 236-73-87; электронная почта: [moseykin@inbox.ru](mailto:moseykin@inbox.ru).