

**УДК 528.711 + 528.88**

## **РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СЪЕМКА РЕЛЬЕФА С БПЛА В ГОРНОМ ДЕЛЕ**

Ерашов Я. И., студент гр. МКс-241, I курс

Зорин А. С., студент гр. МКс-241, I курс

Научный руководитель: Кижава Н. Н., старший преподаватель  
кафедры маркшейдерского дела и геологии

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф.

Горбачева

г. Кемерово

Современные технологии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в комплексе с радиолокационной съемкой открывают новые возможности в горной промышленности. Радиолокационные системы позволяют эффективно проводить картографирование местности, контролировать деформации, обеспечивая безопасность объектов горного производства. В отличие от оптических и лазерных методов, радиолокационная съемка не зависит от погодных условий и освещения, что делает её незаменимым инструментом для работы в сложных природных условиях.

В данной статье рассматриваются принципы радиолокационной съемки с БПЛА, преимущества технологии, а также её возможное применение в горном деле.

Радиолокационная съемка базируется на использовании радиосигнала, который излучается антенной радара, затем отражается от поверхности и принимается обратно для обработки, строя изображение рельефа на основе множества закоординированных точек (До 30 миллионов на 30 см). Главными параметрами, влияющими на качество данных, являются:

Частота сигнала – высокая частота обеспечивает высокое разрешение, но при этом снижается проникающая способность.

Метод зондирования – синтезированная апертура радара (SAR) позволяет получать детализированные снимки рельефа.

Тип платформы – БПЛА, оснащенные радарами SAR или другими радиолокационными датчиками, могут выполнять съемку как в режиме реального времени, так и в автономном режиме.

Применение SAR позволяет получать изображения высокой детализации, строить цифровые модели рельефа (ЦМР) и выполнять точные измерения изменений в структуре горных пород и земляных масс [1].

Применение радиолокационных систем на беспилотных платформах дает ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными методами картографирования и мониторинга:

1. Работа в любых погодных условиях – в отличие от оптических камер и лидаров, радиолокационные системы эффективно функционируют при тумане, плотной облачности и осадках.

2. Современные БПЛА способны в короткие сроки обследовать обширные территории, обеспечивая быстрый сбор данных.

3. Дистанционный мониторинг минимизирует присутствие персонала в зонах с повышенным риском.

4. Возможность глубинного анализа – радиоволны проникают сквозь растительность и водную поверхность, что позволяет изучать скрытые объекты и структуры.

5. Современные методы обработки данных обеспечивают создание высокодетализированных цифровых моделей рельефа и фиксацию малейших изменений.

6. Низкая масса и компактность оборудования.

7. Экономическая эффективность – применение БПЛА обходится дешевле, чем аэросъёмка с вертолётов или самолётов [2].

Радиолокационные технологии с БПЛА находят широкое применение в различных направлениях горной промышленности, таких как разведка месторождений, мониторинг горных работ и контроль геодинамических процессов.

Во-первых, разведка и картографирование месторождений. Перед началом горных работ необходимо досконально изучить рельеф местности и геологические особенности. Радиолокационная съемка позволяет создавать высокоточные цифровые модели рельефа (ЦМР), определять скрытые геологические структуры, обнаруживать потенциально опасные зоны [3].

Во-вторых, мониторинг деформаций и оползней. Опасные геодинамические процессы, такие как оползни, карстовые провалы и подвижки пород, представляют серьезную угрозу для горнодобывающих предприятий. Радиолокационная съемка с БПЛА обеспечивает раннее выявление изменений рельефа, обеспечивает оперативный контроль за безопасностью рабочих зон, проводит автоматическое сравнение данных за разные периоды для прогнозирования возможных катастроф [4].

В-третьих, контроль отвалов и хвостохранилищ. В горной промышленности особое внимание уделяется мониторингу устойчивости отвальных пород и хвостохранилищ, так как их аварийное состояние способно спровоцировать масштабные экологические последствия. Решением данной задачи занимаются системы радиолокационного мониторинга, которые позволяют анализировать динамику оседания и перемещения пород, выявлять признаки нестабильности конструкций, контролировать уровень влажности и насыщенности грунта водой [5].

В-четвертых, оптимизация горных работ. Благодаря высокой точности радиолокационных измерений горные предприятия могут оптимизировать проектирование карьеров и шахт, снижать затраты на буровзрывные работы за счет точного моделирования структур пород [6].

В-пятых, повышение уровня безопасности. Технология радиологической съемки рельефа при внедрении на производство обеспечит сотрудников достоверными данными о состоянии карьера, что в свою очередь существенно сократит время пребывание людей в потенциально опасных зонах, а сравнение данных за разные временные промежутки позволит выявить потенциальную угрозу для людей и оборудования, что позволит своевременно провести вывод персонала и техники [6].

Радиолокационная аэросъемка с применением БПЛА представляет собой перспективное направление для горнодобывающей отрасли. Данная технология гарантирует высокоточные измерения вне зависимости от метеоусловий, а также позволяет проводить мониторинг опасных и труднодоступных участков. Интеграция радиолокационных систем с беспилотными платформами способствует повышению безопасности, сокращению издержек и усилению контроля за природными и техногенными изменениями.

По мере развития алгоритмов обработки информации и модернизации аппаратных компонентов сферу применения радиолокации в горном деле можно значительно расширить, что повысит общую эффективность и уровень безопасности отрасли.

### Список литературы

1. Егошкин Н. А. и др. Формирование цифровых моделей рельефа на основе высокоточного развертывания фазы интерферограмм от систем радиолокационной съемки Земли //Радиотехника. – 2016. – №. 11. – С. 120-127.
2. Елистратов М. А. Построение цифровой модели рельефа Национального парка «Красноярские столбы» на основе радиолокационной съемки: дис. – Сибирский федеральный университет, 2021.
3. Крыленко М. В., Крыленко В. В. Особенности выполнения высокоточной съемки рельефа абразионного берега с помощью БПЛА //Бюллетень науки и практики. – 2020. – Т. 6. – №. 2. – С. 10-19.
4. Крыленко В. В., Крыленко М. В. Высокоточная съемка рельефа Бакальской косы //Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2018. – №. 4. – С. 65-72.
5. Гоглев Д. А. и др. Маловысотная аэромагнитная съемка с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) //Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения. – 2018. – С. 357-358.
6. Захаров А. И., Захарова Л. Н. Возможности фазовых измерений в радиолокационной интерферометрии при наблюдении чрезвычайных ситуаций на примере Бурейского оползня //Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – С. 31-38.