

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №4, Том 12 / 2020, No 4, Vol 12 <https://esj.today/issue-4-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/68NZVN420.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Тимофеева Ю.В., Суксова С.А., Усольцева Л.А. Контроль устойчивости бортов карьера с помощью радиолокаторов MSR // Вестник Евразийской науки, 2020 №4, <https://esj.today/PDF/68NZVN420.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Timofeeva Yu.V., Suksova S.A., Usoltseva L.A. (2020). Monitoring the stability of the quarry sides using MSR radars. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(12). Available at: <https://esj.today/PDF/68NZVN420.pdf> (in Russian)

УДК 55

**Тимофеева Юлия Владимировна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Кафедра горного дела и освоения георесурсов»  
Специалитет

E-mail: timofeeva.iuv@students.dvfu.ru; 23julechka02@mail.ru

**Суксова Софья Алексеевна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Кафедра горного дела и освоения георесурсов»  
Специалитет

E-mail: suksova.sa@students.dvfu.ru; suksovas@gmail.com

**Усольцева Людмила Александровна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Преподаватель, научный руководитель  
Кандидат географических наук

E-mail: l.a.usoltseva@gmail.com

## **Контроль устойчивости бортов карьера с помощью радиолокаторов MSR**

**Аннотация.** Горнодобывающая промышленность развивается каждый день. Доля запасов полезных ископаемых, находящихся в относительно благоприятных условиях, сокращается, вследствие чего добыча полезных ископаемых становится опаснее и труднее. А это в свою очередь может снизить безопасность условий труда рабочих и сохранность технологического оборудования. В таких условиях наибольшую опасность представляет обрушение бортов карьера. Контроль устойчивости бортов карьера всегда играл значительную роль в разработке месторождений, а в нынешней ситуации, когда глубина карьеров становится все больше, ставит новые задачи, требующие скорейшего решения. Одним из таких решений является своевременное определение мельчайших сдвигов деформаций бортов карьеров, чтобы была возможность прогнозировать возникновения опасных деформационных процессов и минимизировать последствия возможных аварий. На данный момент существует множество различных методов, способных решить поставленные задачи. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Однако каждый из этих способов по отдельности не всегда может обеспечить полную безопасность на месторождениях, разрабатываемых открытым способом, в связи с этим возникает потребность в постоянном геомеханическом мониторинге. Одним из ключевых элементов такого мониторинга может являться радиолокационные системы, которые пока не имеют широкого распространения в России, хотя и имеют большое количество

преимуществ. Одними из представителей таких систем являются радиолокаторы MSR, разработанные компанией Reutech Mining. В данной статье рассмотрены основные техногенные происшествия, которые могут возникнуть на карьерах. Определены возможные причины возникновения различных деформаций и факторы, определяющие состояние массива. Авторами перечислены основные методы контроля устойчивости бортов карьера, приведены их преимущества и недостатки. А также рассмотрены принцип работы радиолокаторов типа MSR, основные технические характеристики, задачи, решаемые с помощью этих устройств, и их преимущества.

**Ключевые слова:** радарные системы; msr300; msr300revB; контроль устойчивости бортов; геомеханический мониторинг; безопасность; карьер

### Введение

В России одной из важнейших отраслей является добыча полезных ископаемых. Горнодобывающая промышленность имеет большое значение для экономики страны. Но с каждым годом доля запасов полезных ископаемых, находящихся в относительно благоприятных условиях, на небольших глубинах сокращается. В связи с этим и усложняются способы разработки месторождений, что дает возможность добычу полезных ископаемых в сложных геологических условиях. Так, при разработке месторождений открытым способом увеличивается глубина карьеров. Если раньше работы прекращались при достижении глубины в 500 метров, то сейчас проектная глубина карьеров может достигать более 700 метров. Такие изменения в разработке карьеров требуют более детального подхода к контролю устойчивости бортов карьера. Так как, в таких условиях существенно увеличиваются напряжения в приоткосных массивах горных пород, изменяется протекание деформационных процессов, что может привести к серьезным аварийным ситуациям, травматизму рабочих, выходу из строя технологического оборудования. Это может привести к временной остановке работ на карьере, что повлечет за собой большие убытки. Поэтому так необходимо осуществлять постоянный геомеханический мониторинг для создания безопасных условий труда рабочих и сохранность горнотехнического оборудования [1].

Таким образом, тема данной статьи очень актуальна на сегодняшний день. Цель данной статьи рассмотреть эффективность применения радиолокаторов модели MSR для осуществления контроля мониторинга уступов и откосов бортов карьера. Выделим следующие задачи:

- рассмотреть основные техногенные происшествия, которые могут возникнуть на карьерах;
- выделить возможные факторы, определяющие состояние массива;
- выяснить принцип действия радиолокаторов и его составляющие;
- определить преимущества и недостатки применения данного метода.

Карьеры относятся к опасным производственным объектам. Основное и обязательное условие их разработки – это безопасность. Задача проектирования бортов и откосов отвалов одна из самых важных для горнодобывающего предприятия. Для обеспечения безопасности открытых горных работ необходимо осуществлять непрерывный мониторинг и прогнозирование устойчивости бортов карьеров, уступов и отвалов, а также не допускать возможности опасных техногенных происшествий. К таковым можно отнести: осыпи, обрушения, оползни, просадки и оплывины [2].

Осыпи образуются в результате воздействия природных факторов на поверхности откосов, если углы откосов превышают углы естественного откоса (раздробленных пород). Под воздействием выветривания горных пород отдельные частицы, куски и глыбы отрываются от массива и скатываются к подошве откосов. Частицы, потерявшие связь с массивом, не могут удерживаться на поверхности откоса силами трения (более мелкие сносятся потоками вод атмосферных осадков). На откосах необходимо своевременно увеличивать бермы безопасности, в этом случае вероятность осыпания горных пород существенно снижается.

Обрушения – отрыв и быстрое смещение горных пород, отличается от осыпей тем, что они захватывают значительные массивы пород (блоки и пачки пород). Образуются в результате ослабления сил сцепления между отдельными частицами массива горных пород, оторвавшийся массив не может удерживаться по поверхности отрыва силами трения и скатывается вниз к подошве откоса в течение нескольких секунд.

Оползни – медленное смещение породных масс по наклонной плоскости, которая залегает в массиве в среднем под углом, меньшим угла внутреннего трения пород. При этом величины напряжений по поверхности скольжения на значительной ее части находятся за пределом текучести. Оползни связаны с наличием в толще горных пород слабых увлажненных даек, контактов, слоев, тектонических нарушений и могут продолжаться от десятков минут до нескольких месяцев, а иногда и до нескольких лет. Они достаточно предсказуемы и могут быть своевременно определены при возникновении определенных факторов.

Оплывины – деформация, характеризующаяся перемещением потока насыщенных водой рыхлых породных масс на нижние уступы.

Просадки – деформация, при которой карстовые полости, образующиеся в результате неравномерного уплотнения грунтов, обрушаются из-за сильного давления сверху. Не образуют сплошную поверхность скольжения [3].

Такого рода деформации могут отрицательно повлиять на безопасность персонала, привести к травмам и даже гибели рабочих, а также к разрушению технологического оборудования. Вследствие этого может быть приостановлена работа участка, на котором произошла авария, что отрицательно может сказаться на производительности всего горнопромышленного предприятия [2].

Причины возникновения такого рода деформаций могут быть различными. Можно выделить следующие основные факторы, определяющие состояния массивы: инженерно-геологические, гидрогеологические, физико-географические и горно-технические [4]. В таблице 1 представлены основные факторы.

Таблица 1

Факторы, определяющие состояния массива [4]

Природно-геологические	- структурные особенности массива горных пород и условия их залегания - вещественный состав и структурно-текстурные особенности пород в пределах горно-геологических ярусов - литологический состав естественных и техногенных массивов - прочность горных пород
Гидрогеологические	- наличие подземных вод - фильтрационные потоки
Горнотехнические	- способы вскрытия карьерного поля - система разработки - специфика производственных процессов

Физико-географические	- климатические условия района месторождения - рельеф местности - влажностный режим горных пород - процессы выветривания - глубина сезонного промерзания и оттаивания пород - экспозиция откосов
Инженерно-геологические	- строение физической поверхности - особенности внутреннего строения горно-геологических ярусов

Для установления рода деформаций, причины их возникновения и характера их развития производятся маркшейдерские съемки. Наблюдения должны производиться не только на участках с видимыми деформациями, но и в местах, где они могут возникнуть. Целью таких наблюдений является выявление микроподвижек и характера их развития, чтобы своевременно провести необходимые мероприятия по ликвидации нарушений [3].

Маркшейдерские инструментальные наблюдения проводятся с целью установления форм оползней или обрушений, а также для выявления причин их возникновения [5]. Такие наблюдения производят либо по створу реперов, которые закладываются на бермах уступов или на отвалах, перпендикулярно верхней бровке карьера, либо по отдельным характерным точкам деформирующегося массива [6]. Маркшейдерские съемки могут проводиться как с помощью стандартных инструментов (электронных тахеометров, нивелиров), так и с помощью электронных тахеометров [5]. Основой маркшейдерского обеспечения и контроля устойчивости бортов карьеров и отвалов является получение информации о динамике деформаций в процессе эксплуатации карьеров, чтобы обеспечить безопасное ведение горных работ. К достоинствам первых можно отнести низкую стоимость, достаточную изученность приборов, разработанные инструкции обработки результатов. К преимуществам электронных тахеометров можно отнести высокую частоту измерений, простоту использования. Однако к общим недостаткам этих приборов можно отнести невозможность работы данных инструментов в сложных климатических условиях: большие перепады температур, выпадение осадков, плохая видимость [7].

В некоторых зонах, где невозможно проводить прямые маркшейдерские измерения из-за их недоступности, измерения проводятся с помощью специальных пробуренных скважин, в которые через некоторый интервал помещают глубинные репера. По направлениям и величинам вертикальных и горизонтальных сдвижений находят потенциальную поверхность скольжения. Этот способ позволяет контролировать процесс развития деформации, что дает возможность своевременно провести профилактические мероприятия, с целью недопущения развития этих деформаций до своих максимальных значений. Преимущество этого способа заключается в том, что необходимые данные можно получить дистанционно и из труднодоступных мест, что существенно облегчает оценку состояния массива горных пород в окрестности поверхности скольжения [1].

Так же одним из методов контроля за состоянием карьеров является лазерное сканирование. При этом методе автоматически производятся измерения в режиме реального времени с большой скоростью, в результате чего получается трехмерное изображение (скан) в виде облака точек с известными координатами. Преимуществом данного способа является возможность получения необходимых данных о деформациях в горном массиве в реальном режиме времени, а не только по контрольным точкам [7].

Как показывает практика использование каждого метода в отдельности не всегда является эффективным [1]. Например, иногда маркшейдерской съемки для определения зоны обрушения бортов карьера может быть недостаточно. Это обусловлено тем, что съемка осуществляется с помощью тахеометра, и установка призм в опасных зонах бывает невозможна, а также мониторинг осуществляется не постоянно и с периодичностью в

несколько часов, а то и в сутки, что не может обеспечить достаточного уровня безопасности на карьере.

Таким образом, карьеры необходимо оснащать комплексной системой геомеханического мониторинга и контроля сдвижения уступов и бортов карьера. Одним из основных факторов такой системы является радарная система, обеспечивающая своевременное оповещение об угрозе для возможности эвакуации персонала и техники. Важнейшая задача такой системы – обеспечить максимальную эффективность и достоверность обнаружения малейших деформаций бортов карьеров. На сегодняшний день одними из самых технологичных и эффективных радарных систем являются радиолокаторы MSR [8].

Разработкой радаров MSR (Movement & Surveying Radar) занимается компания Reutech Mining, находящаяся в городе Стелленбош (ЮАР). Эта компания была создана в 2006 году. Она занимается разработкой и распространением инновационных технологий для обеспечения безопасных условий работы в горнодобывающей промышленности [2].

В России данные технологии пока не имеют широкого распространения, возможно, это связано с относительно поздним развитием горной промышленности в стране. Эти приборы начали использоваться в России позже, чем в других странах. Однако необходимость безопасного использования карьеров возрастает с каждым днем, а в сложных природно-климатических условиях страны радиолокаторы могут быть незаменимы [9].

Принцип действия таких радаров заключается в том, что высокочастотная электромагнитная энергия (радиоволна) передается в направлении склона, после этого регистрируется энергия, отраженная от него. Радиосигнал фиксируется приемопередатчиком и антенной. Из значения скорости, с которой волна отразилась от исследуемого склона, и получают необходимую информацию о склоне, а именно расстояние до него и его смещение [10].

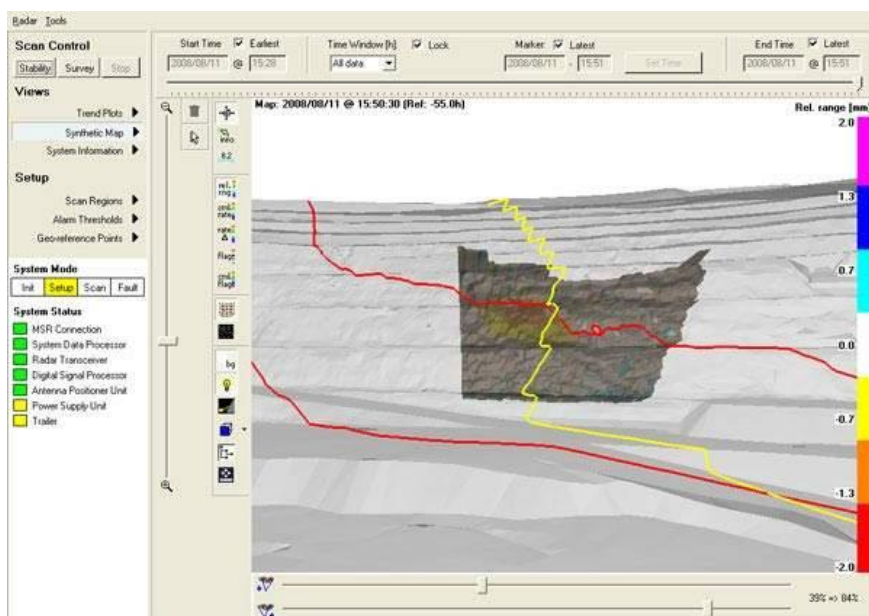
Радиолокаторы могут работать самостоятельно от нескольких дней до недели за счет мощного блока питания. Долговременная работа этих приборов без вмешательства работников осуществляется благодаря генератору, который включается автоматически, когда необходимо зарядить аккумулятор. Сам блок питания располагается в специальном прицепе, в состав которого входят выдвижные опоры, стабилизирующие радиолокаторы в период работы. Также в прицепе находятся другие составляющие MSR, такие, как визуальный интерфейс, устройство наведения антенны, которое осуществляет сканирование бортов, системы управления и электроники. Системы управления и электроники осуществляют сохранность систем позиционирования, частей радиолокаторов.

В состав MSR входит модуль связи, позволяющий передавать данные удаленно, а для компенсации изменений атмосферных условий, используется система контроля окружающей среды, которая также входит в состав радаров данного типа [2].

Радары MSR удобны тем, что с их цифровой карты карьера можно будет импортировать различные слои, т. е. слой можно импортировать, чтобы показать движения, связанные с различными типами пород (см. рисунок 1) [11].

Импорт цифровой карты карьера и географическая привязка осуществляется с помощью триангуляции из известных ориентиров на карьере с помощью прилагаемого тахеометра. Таким образом, MSR может быть полностью географически привязанной [11].

Из выше перечисленного следует, что радиолокаторы состоят из следующих необходимых элементов: дорожного прицепа, блока питания, системы управления и электроники, антенны и устройства ее наведения, приемопередатчика, тахеометра (см. рисунок 2) [2].



*Рисунок 1. Данные MSR интегрированные с цифровой моделью местности могут также показать различные слои<sup>1</sup>*



*Рисунок 2. Радиолокатор MSR [2]*

Радиолокаторы MSR могут работать как на малых, так и на больших расстояниях с большой скоростью, им не требуется доступ к склону (откосу уступа, борту карьера). Они работают круглосуточно и непрерывно. А по данным статьи «Инновации на службе промышленной безопасности: Опыт использования передовых радарных систем контроля устойчивости бортов карьеров» радиолокаторы исправно работают при температурах до -50 градусов Цельсия, а также в условиях дождя и снегопада. Этот факт дает возможность сказать, что такие системы могут работать при любой погоде (в том числе и во время осадков) [9].

При помощи радиолокаторов можно осуществлять мониторинг движения склонов, бортов карьеров и откосов уступов (обнаружение сдвижения менее 1 мм). Своевременная

---

<sup>1</sup> Reutech Mining – официальный сайт (Электронный ресурс): – Режим доступа: <https://www.mining-technology.com/contractors/exploration/reutech-radars/#company-details> – (доступ свободный).

передача сообщения об изменении ситуации помогает быстрой эвакуации персонала и оборудования из опасной зоны [8].

Различные задачи, например, расчет объема вскрыши (добычи) могут быть решены благодаря одной важной функций радиолокационных систем – определение абсолютного расстояния до отражающей поверхности или географического объекта. Так же эта функция, вместе с точной привязкой MSR к местной системе координат и угловой информацией, может быть использована для генерации маркшейдерских данных [11]. Основные технические характеристики представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

### Метрологические характеристики<sup>2</sup>

Наименование характеристики	Значение
Доверительные границы абсолютной погрешности измерений длины (при доверительной вероятности 0,67), мм	±100
Предел допускаемого среднего квадратического отклонения (СКО) случайной составляющей погрешности измерений длин линий относительно точки отсчета системы, мм	0,2
Диапазон измерений длины, м	от 30 до 2500
Угловой сектор измерений длины, градус, не менее: - при использовании механических концевых упоров в горизонтальной плоскости в вертикальной плоскости - при использовании ПО в горизонтальной плоскости в вертикальной плоскости	от -104 до +104 от -33 до +55 от -100 до +90 от -32 до +45

Таблица 3

### Основные технические характеристики<sup>3</sup>

Наименование характеристики	Значение
Напряжение питания постоянного тока от внутренней аккумуляторной батареи, В	от 20 до 28
Габаритные размеры, мм, не более: -длина	4380
- ширина	1800
- высота	2032
Масса, кг, не более	1620
Диапазон рабочих температур, °С	от -50 до +55

Таким образом, можно выделить некоторые преимущества радиолокационных систем:

- высокая точность, погрешность не выше 1 мм;
- работает при любых погодных условиях;
- высокая дальность измерения;
- своевременное оповещение для обнаружения опасного участка горки;
- взаимодействие с различными системами мониторинга устойчивости склонов и МФМС;
- работа в режиме реального времени, построение 3D моделей;

<sup>2</sup> 651-18-015 МП «Инструкция. Системы измерения сдвигов бортов MSR 300, MSR 300 rev В. Методика поверки» – 6 с.

<sup>3</sup> Приложение к свидетельству №73105 об утверждении средств измерений. Системы измерения сдвигов бортов MSR 300, MSR 300 rev В – 6 с.

- данные учитываются при расчетах буровзрывных работ;
- приборы легки в использовании, простое программное обеспечение [2].

### **Выводы**

Таким образом, устойчивость бортов карьеров играет значительную роль в разработке месторождений открытым способом. Рассмотрев факторы, влияющие на различные техногенные происшествия, можно сделать вывод, что постоянный комплексный геомеханический мониторинг наиболее эффективен при использовании радиолокационных систем. Радиолокаторы исправно работают в различных климатических условиях. Их можно использовать при ведении различных горных работах (БВР, погрузочно-выемочные работы, очистка берм и оборка уступов и др.). Высокая точность работы данных систем позволяет своевременно обнаружить изменения деформационных процессов, что значительно помогает снизить риск возникновения обрушений, оползней, обвалов и других техногенных происшествий на уступах бортов карьеров, откосов отвалов. А это в свое время увеличивает безопасность условий работы людей и машин.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин А.В. К вопросу организации геомеханического мониторинга при освоении месторождений полезных ископаемых открытым способом на больших глубинах / А.В. Гришин, С.В. Шевчук. // Маркшейдерский вестник – №1(116) – 2017 г. – С. 51–55.
2. Клебанов А.Ф. Современная система контроля устойчивости бортов карьеров на основе использования радаров MSR – А.Ф. Клебанов, М.А. Макеев, Н.В. Монахов // Горная промышленность – №1 (119) – 2015 – С. 75.
3. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов: 2 издание переработанное и дополненное / Г.Л. Фисенко. издательство Недра, 1965, 380 с.
4. Ковров А.С. Устойчивость бортов карьеров в сложноструктурном массиве мягких пород: моногр. / А.С. Ковров. – Д.: Национальный горный университет, 2013. – 131 с.
5. Шпаков С.Г. Мониторинг состояния устойчивости откосов уступов и бортов карьеров Жайремского ГОКа / П.С. Шпаков, С.Г. Ожигин, С.Б. Ожигина, О.В. Старостина, М.В. Шпакова // Горный информационно – аналитический бюллетень (научно-технический журнал) №6 – 2008 – С. 211–216.
6. Ожигина С.Б. Мониторинг состояния устойчивости карьерных откосов / С.Б. Ожигина, А.Д. Сашурин, С.Г. Ожигин, Д.С. Ожигин, Д.А. Кулыгин // Интерэкспо гео-сибирь – №2 – 2016. – С. 161–166.
7. Несмашный Е.А. Обзор технологий и технических средств для геомеханического мониторинга состояния ботов карьеров и отвалов / Е.А. Несмашный, Г.И. Ткаченко, А.В. Болотников // Разработка рудных месторождений – вып. 93 – 2010 г. – С. 1–5.
8. Бурцев С.В. Промышленные испытания систем мониторинга устойчивости бортов разреза «Черниговец» / С.В. Бурцев, Т.А. Морозова, А.А. Немченко // Уголь – №12 (1089) – 2016 г. – С. 7–11.
9. Макеев М.А. Инновации на службе промышленной безопасности: Опыт использования передовых радарных систем контроля устойчивости бортов карьера – Reutech на предприятиях РФ / М.А. Макеев // Горная промышленность- №2(132) – 2017 – С. 48–49.
10. Atzeni C., Barla M., Pieraccini F., Antolini A. 2015. Early Warning monitoring of natural and engineered slopes with Ground Based Synthetic Aperture Radar. Roc. Mech. Roc. Eng, vol 48, Issue 1, pp. 235–246, Springer.
11. Коли Н. Горное дело информационно – аналитический портал для горняков (Электронный ресурс): Мониторинг в реальном времени устойчивости бортов границ карьера с помощью усовершенствованной радиолокационной технологии / Коли Н., Райх У. – 2016 г. – Режим доступа: <https://www.mwork.su/progressivnyye-tehnologii/880-monitoring-v-real-nom-vremeni-ustojchivosti-bortov-konechnyh-granic-kar-era-s-pomoshchyu-usovershenstvovannoj-radiolokacionnoj-tehnologii>.

**Timofeeva Yulia Vladimirovna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: suksova.sa@students.dvfu.ru; suksovas@gmail.com

**Suksova Sofya Alekseevna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: suksova.sa@students.dvfu.ru; suksovas@gmail.com

**Usoltseva Ludmila Alexandrovna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: l.a.usoltseva@gmail.com

## Monitoring the stability of the quarry sides using MSR radars

**Abstract.** The mining industry is developing every day. Mineral reserves, which are in favourable conditions are decreasing, mining is becoming more difficult. And this can reduce the safety of workers' working conditions. In such conditions, the collapse of the quarry boards is a great danger. The stability control of the quarry boards has always played a significant role in the development of deposits, but the depth of the quarries is becoming more and more, and this poses new challenges. One of these solutions is the timely determination of the smallest deformation shifts of the pit walls, this will help to carry out the necessary preventive measures and prevent the development of deformations to maximum values. Today there are many different methods that are capable of solving various problems. Each of them has its own advantages and disadvantages and is used depending on the specific conditions of the fields. However, each of these methods separately can not always ensure complete safety in the fields that are being developed by the open pit, and there is a need for constant geomechanical monitoring. One of the key elements of such monitoring can be radar systems, which are not yet widely used in Russia, although they have a large number of advantages. One such solution is the timely identification of quarry deformations. One of the representatives of such systems is MSR radars, which are developed by Reutech Mining. This article examines the main man-made accidents that can occur in open pits. Possible reasons for the occurrence of various deformations and factors that determine the state of the massif are identified. The authors present the main methods for controlling the stability of the pit walls, their advantages and disadvantages. The principle of operation of MSR radars, the main technical characteristics, the tasks that can be solved using these devices, and their advantages are also considered.

**Keywords:** radar systems; msr300; msr300revB; stability control; geomechanical monitoring; safety; quarry