

КОВАЛЕВ А.В. (Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия)

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ БЛОЧНОГО КАМНЯ В МАССИВЕ С ИНТЕНСИВНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТЬЮ

Приведены результаты анализа существующей информации о геологических условиях Другоречского месторождения габбродиабаз. Особое внимание уделено характеристикам систем трещин, поскольку именно этот фактор во многом определяет технологические особенности и рентабельность разработки. Представлена информация о производительности добычи блочного камня в виде графиков. На основании этих данных сделан вывод о наличии проблемы постепенного снижения качественных показателей разработки данного месторождения. Учитывая, что основные факторы, влияющие на выход товарных блоков, это естественная и наведенная трещиноватость, сделано предположение, что данная проблема вызвана недостаточной исследованностью месторождения и чрезмерным воздействием взрывных работ на массив габбродиабаз в процессе разработки. Недостаточная изученность не позволяет производить планирование добычных и взрывных работ на требуемом уровне, а существующая технология взрывных работ обладает рядом недостатков, не позволяющих ограничить разрушающее воздействие на массив горных пород. Приведены результаты анализа отечественного и зарубежного опыта существующих способов управления действием взрыва при добыче блочного камня, детальной разведки трещиноватости массивов и моделирования отдельностей, ограниченных трещинами. Сделаны выводы о неприменимости в рассматриваемом случае большей части наработанного опыта из-за высокой для блочного месторождения трещиноватости массива габбродиабаз и о необходимости разработки принципиально новых методов для повышения продуктивности добычи. В итоге определены направления исследований для разработки методов и технологий, позволяющих оперативно реагировать на изменение горно-геологических условий и управлять разрушающим воздействием взрыва при добыче блочного камня в интенсивно трещиноватых массивах.

Ключевые слова: Другоречское месторождение, технология отделения монолитов, буровзрывные работы, блочный камень, габбродиабаз, направления совершенствования буровзрывной технологии

Введение

В экономике Республики Карелия существенную роль играет добыча полезных ископаемых. По данным Росстата, минерально-сырьевой сектор республики обеспечил почти треть общего объема (в рублях) отгруженных товаров, выполненных работ и услуг в Республике Карелия. После падения выручки от добычи полезных ископаемых в 2014–2015 гг., в 2016 г. минерально-сырьевой сектор республики восполнил свои потери и превзошел показатели 2013 г., продемонстрировав рост в 16,8 %. При этом наибольший потенциал для развития имеет добыча блочного камня, которая в целом показывает положительную динамику на протяжении последних 20 лет.

В Карелии наибольшее количество блоков добывается на Ропручейском массиве габбродиабаз [1], который представляет собой одно из немногих место-

рождений габбродиабазов. Помимо Карелии подобные месторождения существуют только на Украине и в Австралии. Добыча блоков осуществляется открытым способом. Основная часть добычи блоков в границах Ропручейского массива добывается в его юго-восточной части, называемой Другоречской группой месторождений.

Геология месторождения

Согласно имеющейся информации Другоречская группа месторождений располагается в юго-восточной части Ропручейского массива, который простирается от города Петрозаводск в юго-восточном направлении более чем на 160 км при максимальной ширине 60 км [2]. Данная группа месторождений за время, прошедшее с её открытия, исследовалась несколько раз для различных целей [3]: в 1976 г. по заявке Главволговятскстроя были произведены работы по предвари-

тельной разведке месторождения (Муты-тулин, 1979), в 1987–1988 гг. была произведена разведка габбродиабаз на блочный камень (Кевель, 1988). После изучались лишь отдельные участки Другорецкого месторождения или обобщалась имевшаяся о нем информация. Добываемая порода является субинтрузивной магматической горной породой темно-серого цвета, массивной текстуры, средней и мелкой зернистости, обладает высокими физико-механическими характе-

ристиками, соответствующими требованиям ГОСТ 9479–2011 в части требований к физико-механическим свойствам прочных горных пород, и декоративными свойствами, соответствующим II группе по декоративности. Структура Другорецкого месторождения имеет блоковое строение, обусловленное смещениями по зонам мощных тектонических разломов, рассекающих породы с северо-востока на юго-запад. Геологическое строение месторождения представлено на рис. 1.

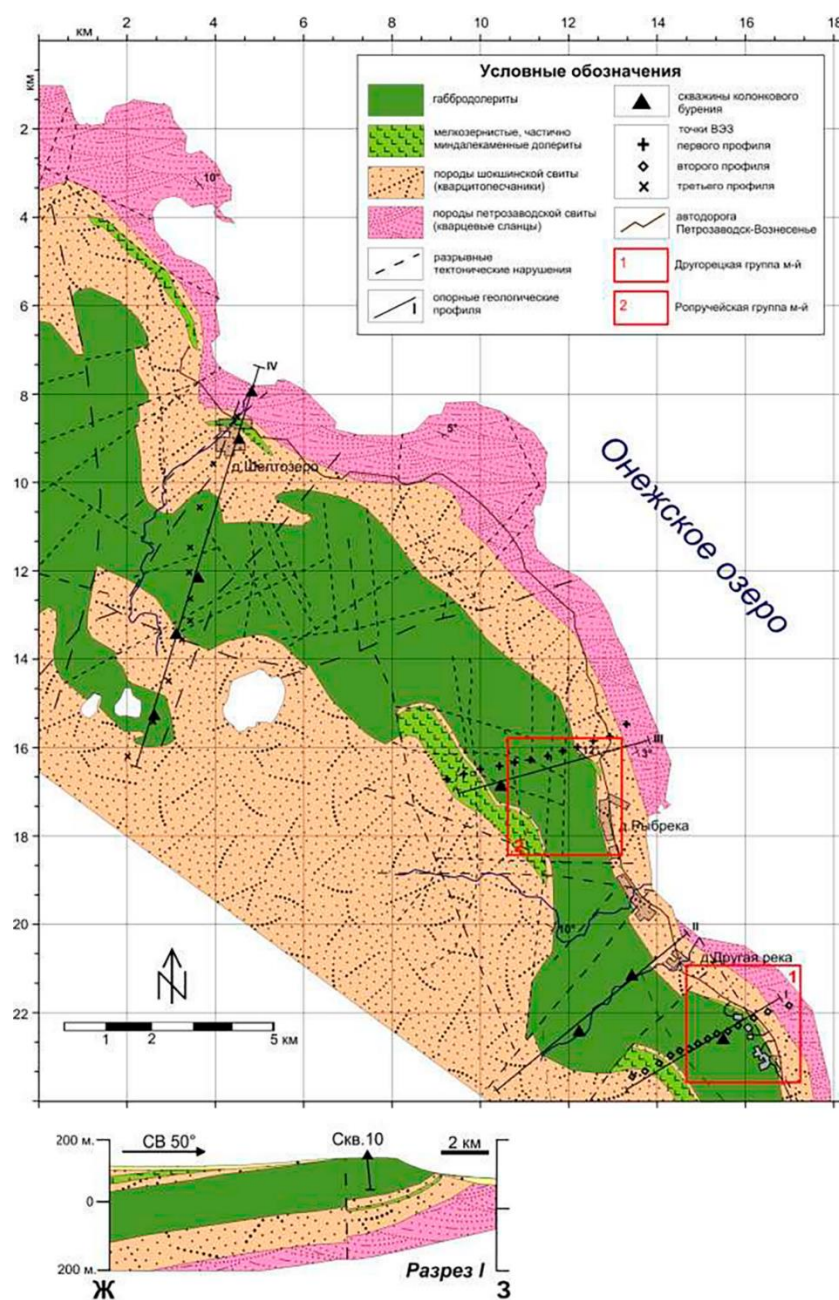


Рис. 1 Геологическая карта Ропучейского массива и разрез по линии № I [2]

В процессе исследований на Другорецком месторождении было выделено 4 основные системы трещин:

- трещины системы I ориентированы согласно простиранию интрузии, угол падения $75-85^\circ$, среднее расстояние между трещинами 1,14–1,63 м;
- трещины системы II ориентированы перпендикулярно простиранию интрузии, угол падения $70-80^\circ$, среднее расстояние 1,24–1,96 м;
- трещины системы III субгоризонтальные, с преобладающим пологим падением на запад–северо-запад, среднее расстояние 0,55–0,93 м;
- трещины системы IV ориентированы диагонально простиранию интрузии, расположение хаотичное, невыдержанное.

Как видно, углы между системами трещин близки к 90° . Подобная трещиноватость определила данный участок как наиболее перспективный для добычи блочного камня. Впоследствии началась его разработка, однако, как выяснилось в

процессе работы, трещиноватость также представлена скрытыми трещинами, не имеющими выхода на поверхность, что не позволило добывать предполагавшиеся изначально [3] 59,4 % блоков из горной массы. Наилучший результат был достигнут в 2004 г. и составил 17,6 %. Также упомянутые трещины распределены по массиву неравномерно, показатель удельной трещиноватости по площади месторождения колеблется от 0,7 до $3,5 \text{ м/м}^2$, что сильно усложнило планирование работ. Добыча продолжилась исключительно ввиду уникальности добываемого сырья, обеспечивающей высокий спрос.

Согласно данным Министерства по природопользованию и экологии Республики Карелия Другорецкое месторождение на данный момент разграничено на 15 участков, деятельностью же по добыче на данный момент занимаются 5 компаний. Разграничение участков по месторождению представлено на рис. 2.

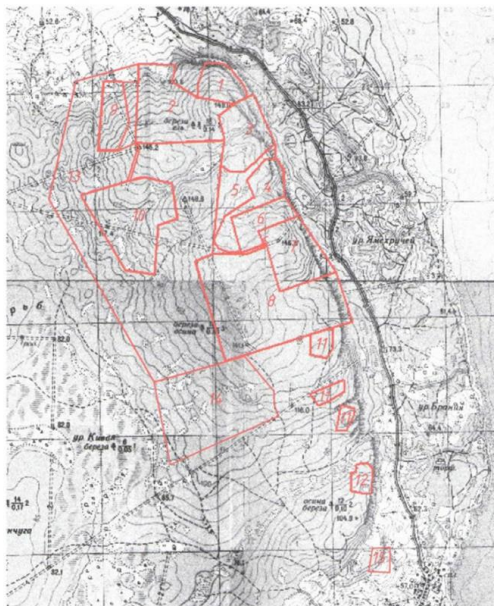


Рис. 2. Границы участков месторождения: 1 – «Другорецкое-3», ЗАО «Интеркамень»; 2, 3 – «Другорецкое-Западное», «Другорецкое-2», ООО «Другорецкое»; 4, 5 – «Центральный Другорецкий»; «Другорецкий-4», ООО «Кара-Тау»; 6 – «Уч. Средний Другорецкого месторождения», ЗАО «Черный камень»; 7 – «Другорецкое-Южное», ЗАО «Другая река», участки 2, 8–15 разведываются или находятся в нераспределенном фонде недр

Объемы добычи товарной продукции

Согласно общим статистическим данным за 2006 г. [4] добыча блоков по группе месторождений была оценена 17,4 тыс. м³ на все 5 рассматриваемых участков при добыче горной массы в 137 тыс. м³, выход блоков в среднем составил 12,6 %, однако за последние 10 лет этот показатель серьезно упал. К нынешнему моменту падение на определенных участках можно оценить в 2,5 раза. В итоге автором было проведено обобщение информации о добыче из открытых источников [1, 4], составлены аналогия для всех пяти участков и примерные графики добычи горной массы, блоков и выхода блоков в целом по ме-

сторождению, представленные на рис. 3–5.

Так как известно, что за 2015 г. объем добычи по Карелии составил 38 500 м³ [5] и Другорецкая группа осталась ведущей по добыче блоков, то приближение можно считать относительно верным. Объем же добычи горной массы в этом случае оценивается в 508 тыс. м³ за 2016 г., выход блоков составил 5,1 %. По оценке, за последние 15 лет было добыто 296 тыс. м³ блоков и 4034 тыс. м³ горной массы, выход составил около 7,4 %. Прослеживается проблема падения выхода блоков, что говорит об ухудшении качества разработки месторождения и падении рентабельности работы.

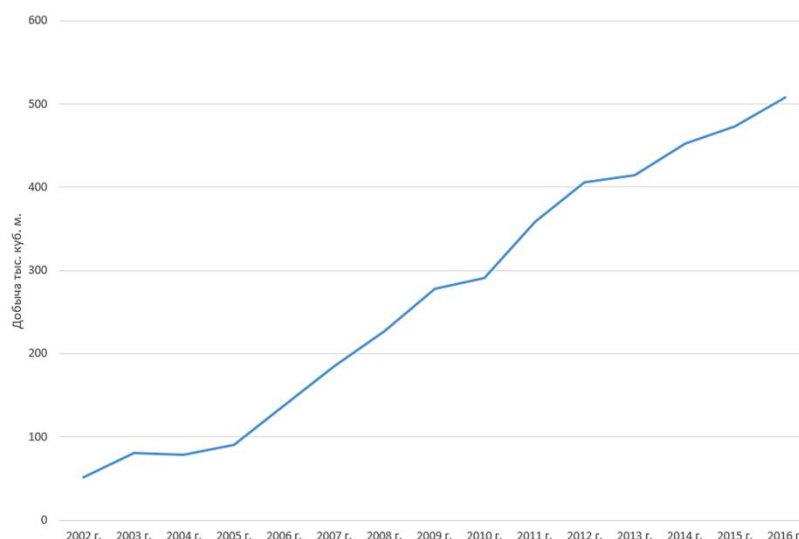


Рис. 3. Добыча горной массы в целом по всему Другорецкому месторождению

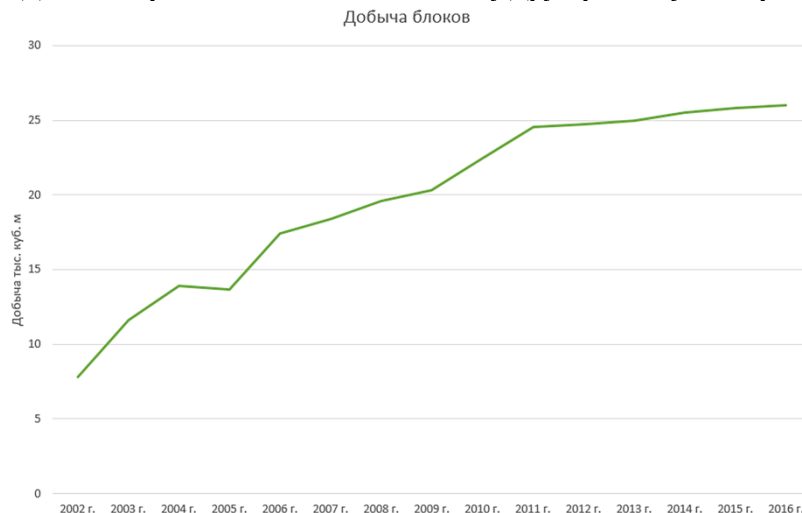


Рис. 4. Добыча блоков в целом по всему Другорецкому месторождению

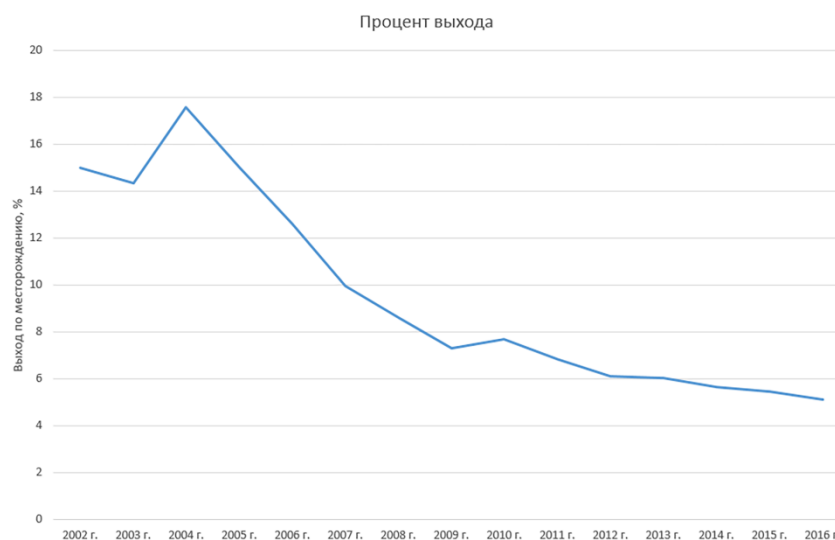


Рис. 5. Выход блоков по годам в целом по всему Другорецкому месторождению

Цели и задачи

Исследование путей решения данной проблемы предлагается выполнить на примере участка месторождения Другорецкий-3, разрабатываемого ЗАО «Интеркамень». На данном участке для поддержания уровня добычи блоков за последние 6 лет добыча горной массы была увеличена в два раза – с 45 до 99 тыс. куб. м в год, что говорит об актуальности проблемы в данном конкретном случае. Преимущество исследования именно этого участка недр заключается в проведенных недавно геологоразведочных работах, которые дают представление о трещиноватости на еще нескрытых горизонтах.

Как известно, основными факторами, влияющими на выход блоков, являются естественная и наведенная в процессе отработки трещиноватость массива горных пород. На первый фактор нельзя повлиять, его можно лишь учитывать при планировании работ. Стоит отметить, что массив очень слабо изучен по глубине. При этом на данный момент произвести детальное изучение нет возможности, поэтому предприятиям приходится ограничиваться данными визуального наблюдения. Именно естественная трещиноватость определяет во многом возможность

рентабельной разработки блочного месторождения. В процессе эксплуатации именно она определяет во многом параметры разработки. В некоторых работах, таких как [6], данная тема рассмотрена более подробно, а именно сформулированы основные условия, обеспечивающие наиболее продуктивную технологию добычи блоков:

- 1) ширина заходки должна быть равна или кратна расстоянию между крутопадающими вертикальными трещинами;
- 2) направление фронта работ должно быть перпендикулярно к азимуту системы крутопадающих трещин, имеющих наименьшие межтрещинные расстояния;
- 3) высота уступа (равная высоте монолита) определяется расстоянием между первичными горизонтальными (постельными) трещинами или кратна им.

Для исполнения указанных условий при подготовке к разработке отдельных массивов на постоянной основе производится поиск субвертикальных трещин. Именно они определяют размеры отделяемого блока. Однако для грамотного планирования как нынешних, так и будущих работ, необходимо знание о расположении трещин по всему месторождению.

Для этих целей на всех вскрытых горизонтах были произведены замеры видимых трещин, но оценка блочности исходя из этих данных не дала удовлетворительного результата из-за невозможности учесть скрытую трещиноватость. В 2005 г. была предпринята попытка использовать метод электроразведки для уточнения местонахождения нарушенных зон месторождения также без положительного результата. С тех пор выбор направления разработки месторождения производился исключительно на основании визуальных наблюдений и имеющегося опыта.

На второй фактор возможно повлиять путем совершенствования горных работ. Наибольшее влияние на наведенную трещиноватость, как правило, оказывает отделение блоков от массива, и на него следует обратить пристальное внимание.

Выбор метода отделения блоков камня от массива зависит от многих факторов среди них:

- физико-механические свойства горной породы;

- трещиноватость;
- минералогический состав;
- наличие включений;
- климатические условия;
- экономические параметры.

Обычно при разработке опытного карьера опробуется несколько методов. При этом в некоторых работах, таких как [7], предлагаются алгоритмы выбора оптимального метода отделения блочного камня в зависимости от вышеприведенных факторов. Условия участка Другорецкий-3 – III температурная зона, предел прочности на сжатие 342 МПа, наличие систем пологопадающих и субвертикальных трещин, содержание кварца в среднем – 6,2 %. Рекомендуемые ме-

тоды для данных условий – механические клинья, заряды мягкого взрывания, газогенерирующие составы, ВВ.

В процессе отработки опытного карьера «Другорецкий-3» все вышеуказанные методы были опробованы. Наилучшие показатели по производительности дал буровзрывной метод сотрясательного взрывания с использованием дымного пороха. Суть указанного метода заключается в бурении горизонтальной строчки шпуров диаметром 32 мм. Расстояние между шпурами 0,3–0,4 м. Они бурятся у основания уступа до одной из субвертикальных трещин (длина шпура колеблется от 2 до 6 м) при трех обнаженных поверхностях массива. В качестве взрывчатого вещества используется дымный порох, в качестве забойки – песчаный материал, расход ВВ – 0,2 кг/м³, забоечный материал занимает не менее 1/3 длины шпура. Иницирование взрыва одновременное, по всей длине шпура с помощью ДШ, который инициируется с помощью электродетонатора. Схема описанного метода показана на рис. 6, представленного в «Типовом паспорте производства буровзрывных работ на месторождении «Другорецкое-3»».

Данный метод имеет сотрясательное воздействие. Его использование обусловлено мелкоблочной структурой месторождения. Как было упомянуто ранее, месторождение характеризуется значительной трещиноватостью, поэтому горно-геологические условия разработки исключают возможность выпилить или выколоть блоки правильной геометрической формы. Этот факт и скрытые в блоках трещины, вынуждают использовать буровзрывные работы с одностадийной системой разработки массива.

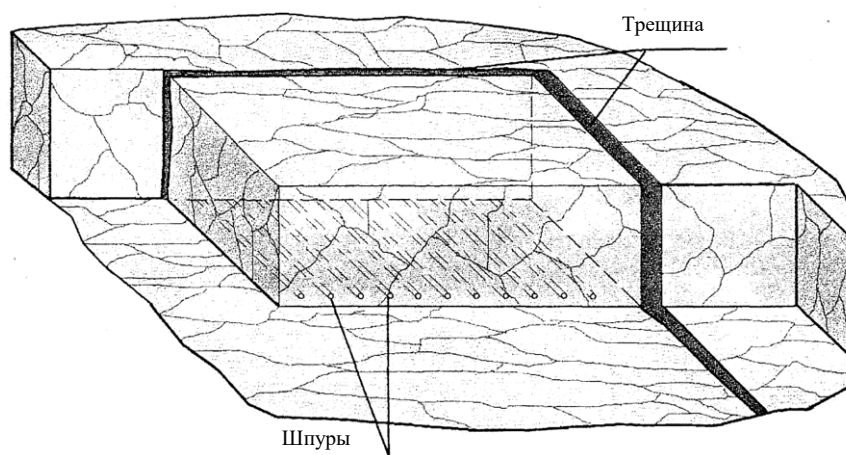


Рис. 6. Схема метода отделения блока от массива

У данного способа имеются следующие недостатки:

1. Применение буровзрывного метода само по себе оказывает серьезное разрушающее воздействие на массив. Согласно опыту разработки, зона разрушения охватывает примерно 15 см прищуповой зоны вокруг заряда, что приводит к дроблению примерно 5 м³ горной породы, распределенных по площади стандартного по размерам блока. Размер зоны, пораженной наведенной трещиноватостью никогда не оценивался.

2. Согласно произведенной видеосъемке, кадр из которой приведен на рис. 7, взрыв имеет чрезвычайно низкий коэффициент полезного действия (КПД). Об этом говорит выброс газов с распыленным в нем ВВ, в котором продолжается горение. Низкий КПД вынуждает использовать большее количество ВВ. В итоге увеличиваются общие расходы на добычу и площадь соприкосновения колонки заряда с породой, что приводит к дополнительным нарушениям.



Рис. 7 Кадр из видеосъемки взрыва

3. По данному методу шпуры бурятся до субвертикальной трещины и заряжаются тоже от нее. При этом ее положение определяется визуальными наблюдениями на кровле уступа, что не может гарантировать идентичное расположение у подошвы. Заряжание же недобуров или перебуров приводит к заколам породы или повреждениям за разрабатываемым блоком.

4. Удельный расход ВВ стандартный и не меняется в процессе отработки разных частей месторождения, несмотря на разницу в трещиноватости отдельных блоков.

Таким образом, используемые технические приемы нуждаются в совершенствовании и оптимизации в плане изменения горно-геологических условий в пределах отрабатываемого месторождения.

Методы

Для поиска возможных решений поставленных проблем был проанализирован отечественный и зарубежный опыт разработки блочных месторождений и использования взрывного метода добычи.

В существующей практике ведения горных работ на российских предприятиях буровзрывной метод отделения блочного камня считается наиболее нетрудозатратным и низким по себестоимости по

сравнению с другими методами добычи. Несмотря на бурное развитие механических методов в России и за границей [8] в последние годы буровзрывной метод все еще остается востребованным для добычи прочных и трещиноватых пород. На данный момент в России предложено множество методов его усовершенствования, которые можно разделить на несколько групп:

1. Попытки замены взрывчатых веществ на менее бризантные. В основном это ГДШ или низкоплотные газогенерирующие составы на основе хлористых соединений или аммиачной селитры [9–14].

2. Применение дополнительных приспособлений для большей направленности энергии взрыва. Речь идет о дополнительных вкладках из лесоматериалов, металла или гидрозабойки, которые обеспечивают большую направленность энергии взрыва [15, 16].

3. Применение зарядов нестандартной формы. В последние годы рынок ВВ пополнился взрывчатыми веществами в зарядах трубчатой формы, диаметр которых меньше критического диаметра, используемого в них ВВ. Типы этих зарядов – ЗМВ, ЗША и ЗЭТ. Также существуют разработки зарядов со встроенными кумулятивными выемками [6, 14–15, 17–19].

4. Разработка математических моделей протекания процессов взрывания и разработка программ по расчету оптимальных параметров заряжения шпуровых и скважинных зарядов по добыче блочного камня [17].

5. Как ранее упоминалось, трещиноватость имеет большое значение для эффективности разработки блочного месторождения. Для исследования трещиноватости в отечественном опыте применялись методы визуального наблюдения,

измерения и математического моделирования [20], однако в последние годы появились попытки совершенствования разведки блочных месторождений с помощью геофизических методов, таких как магниторазведка, электротомография и георадар [2, 21].

В зарубежном и прежде всего Европейском опыте ясно можно отметить тенденцию к постепенному отказу от буровзрывного метода в пользу механических методов. В целом в Европе и мире можно выделить следующие направления совершенствования добычи блочного камня

1. В конце XX-го – начале XXI в. большое внимание уделялось развитию технологии добычи. Подытоживался имевшийся на тот момент опыт добычи блочного камня:

а) в странах с благоприятным климатом, таких как Испания и Италия, предпочтение было отдано в основном алмазно-канатному пилению. Помимо него используются также клиновой раскол, пиление водяной струей. Лишь в случае высокой прочности горной породы используются пороховые заряды или технология взрывания с помощью детонирующего шнура и гидрозабойки [8, 22–25];

б) в странах с суровым климатом, таких как Швеция и Финляндия, предпочтение было отдано буровзрывному методу. Были произведены научно-исследовательские работы и разработаны методики по моделированию протекания взрывных процессов и по предсказанию наведенной трещиноватости. Были созданы и опробованы новые взрывчатые вещества К-трубки в Финляндии, гурит в Швеции [22, 26–30]. Существуют также работы по созданию концентраторов напряжений для облегчения откола в процессе взрыва [26, 31–32].

2. Также большое количество иностранных научных статей посвящено определению трещиноватости разрабатываемых массивов различными методами и построению моделей, на основе полученных данных. Большое внимание было уделено:

а) натурному исследованию трещин на обнажениях и боковых поверхностях уступов, имеются даже методики по автоматизации этих работ. Для этого были созданы алгоритмы моделирования отдельностей внутри массива горных пород как в виде численных методик, так и в виде самостоятельных программ вроде 3D-Blockexpert [33–36]. Некоторые программы и методики предоставляют в том числе размеры оптимальных вписанных в отдельности блоков, которые подразумевают максимальный уровень добычи блочного камня, но это больше относится к механическим методам.

б) использованию методики георадарного зондирования, в котором используются электромагнитные волны для исследования внутренней структуры массива горных пород. Также, естественно, имеются методики интерпретации полученной информации и моделирования отдельностей на основе этих данных. Особенно широко данный метод применяется в Финляндии [30, 37–40].

Следует отметить, что за рубежом разрабатываются лишь месторождения максимально пригодные по своим горно-геологическим условиям для добычи блочного камня, на которых системы трещин образуют относительно правильные геометрические отдельности. Об этом говорят и зарубежные системы моделирования, подразумевающие получение блоков абсолютно правильной геометрической формы и размеров [41, 42]. Месторождения со столь сложной и хаотичной трещиноватостью, как та, которая

присутствует на карьерах Другорецкой группы, там не разрабатываются из-за своей нерентабельности. Это делает большую часть зарубежного опыта в плане разработки блоков слабоприменимой на рассматриваемом месторождении. Однако интересны используемые методы исследования и моделирования отдельностей, а также моделирования взрыва.

Еще одна причина, по которой на карьерах Другорецкой группы не будут использованы многие отечественные и зарубежные разработки по взрывному методу отделения блоков камня от массива, заключается в том, что они предполагают максимально щадящее воздействие взрыва на окружающую горную породу. Однако для продуктивной добычи блоков на рассматриваемом месторождении имеется нужда в определенном сотрясательном воздействии для раскрытия всех трещин массива [9].

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что для Другорецкого месторождения требуются особые, разработанные специально для него методы по повышению продуктивности добычи.

Результаты

Для решения поставленных задач, были выделены следующие направления исследований:

1. Сбор и анализ существующей геологической информации о месторождении. Основное внимание необходимо уделить изменчивости трещиноватости по объему месторождения.

2. Оценка нарушений, привносимых взрывными работами в массив габбродиабазы, для определения эффективности предлагаемых улучшений.

3. Выполнение исследований по определению возможности использования метода георадарного зондирования, а также иных методов учета трещиноватости на всей площади месторождения и на каждом отделяемом блоке. Поиск опти-



мальных методов моделирования трещиноватости для планирования взрывных и добычных работ.

4. Разработка методов увеличения КПД взрыва и, как следствие, сокращения использования дымного пороха в процессе отделения блока от массива для более щадящего воздействия на массив при сохранении сотрясательного эффекта. Данные методы могут включать: улучшение герметизации взрывных газов в канале шпура, использование механических методов как вспомогательных при отделении блока от массива, оптимизация расположения взрывчатого вещества в канале шпура на основе исследования трещиноватости, поиск закономерностей оптимального использования предлагаемых методов для получения наилучшего результата, оценка эффективности предлагаемых изменений.

5. Составление математической модели на основе полученных закономерностей, на её основе алгоритма, а затем написание программы по расчету оптимальных параметров заряжения шпуров для получения наилучшего результата по добыче блоков при минимальных затратах.

Заключение

В результате произведенного анализа установлено, что существует проблема постепенного снижения выхода блоков на Другорецкой группе месторождений.

Для решения поставленной проблемы, рекомендованы следующие основные направления исследований: сбор и анализ геологической информации о месторождении, оценка нарушений привносимых в массив горных пород взрывными работами, поиск методов по исследованию трещиноватости, разработка методов увеличения КПД взрыва и составление математической модели и программы для расчета оптимальных параметров заряжения шпуров.

Разработка вышеизложенных направлений на примере участка Другорецкий-3 позволит улучшить показатели разработки Другорецкой группы месторождений путем увеличения выхода блоков из горной массы.

Библиографический список

1. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы республики Карелия на 01.01.2016 г. <http://atlaspacket.vsegei.ru/#8d0c998264ae22202>.
2. Рязанцев П.А. Повышение эффективности разведки месторождений облицовочного камня на основе методики электротомографии: дис. кандидата технических наук: 25.00.10 – Петрозаводск, 2015. – 168 с.
3. Белов Ю.И. Геологическая записка по Другорецкому месторождению габбро-диабазы: отчет / Петрозаводск, 1993. – 9 с.
4. Калмыков В.В. Тыркин А.И., Суханов А.В. Разработка методики оценки выхода кондиционных блоков на месторождениях облицовочного камня: отчет. / Петрозаводск, 2005. – 48 с.
5. Федоскин А.Ю. День горняка // Промышленный вестник Карелии. – Петрозаводск. – 2016. – № 115. – С. 2-6.
6. Парамонов Г.П., Господариков А.П., Ковалевский В.Н. Влияние трещиноватости горного массива на выбор технологии добычи блоков // Взрывное дело. – 2010. – Т. 104–61. – С. 74-81.
7. Першин Г.Д., Уляков М.С. Повышение эффективности разработки месторождений блочного высокопрочного камня / Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 10-18.
8. Першин Г.Д. и др. Современные технологии добычи блочного гранита // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 12. – С. 163-167.
9. Парамонов Г.П., Ковалевский В.Н., Мозер П. Повышение сохранности минерального сырья при отделении монолита от массива горных пород с использованием газогенераторных патронов // Записки Горного института, 2016. – Т. 220. – С.532-537.
10. Парамонов Г.П., Ковалевский В.Н., Кирсанов О.Н. Опыт применения газогенерирующих составов при добыче блочного камня на карьерах строительных материалов // Взрывное дело. – 2011. – № 105-62. – С. 273-281.



11. Березуев Ю.А. Применение шпуровых газогенераторов давления (ГДШ) на карьерах блочного камня // Горный журнал. – 2008. – № 1. – С. 50-52.
12. Дамбаев Ж.Г. Физические основы направленного разрушения горных пород и технологии щадящего взрывания при отбойке блочного камня: автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.15.11 – Санкт-Петербург, 2000. – 37 с.
13. Калинина Н.М. Разработка щадящей технологии взрывных работ на основе применения сверхнизкоплотных взрывчатых смесей: дис. ... докт. техн. наук: 05.15.11 – Бишкек, 1993. – 221 с.
14. Куценко Г.П., Котов Л.Р., Кулакевич Я.С., Ильинская А.П. Заряды для отделения блоков камня от массива // Горный журнал. – 2006. – № 5. – С. 50-52.
15. Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня – учеб. пособие – СПб: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1997 – С. 147-157.
16. Смирнов А.Г. и др. Добыча и обработка природного камня: справочник / Под общ. ред. А.Г. Смирнова. – М.: Недра, 1990. – С. 160-166.
17. Доильницын В.М., Зерщиков С.Г., Ляшенко В.А. Испытания зарядов мягкого взрывания на рудниках ОАО «Апатит» / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – Т. 4. – № 12. – С. 74-82.
18. Рухлина Н.В. Обоснование составов ВВ и конструкций шпуровых и скважинных зарядов для направленного разрушения горных пород: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11. – Санкт-Петербург, 1993. – 22 с.
19. Нефедов М. А. Разработка технических решений и эффективных технологий направленного взрывного раскола и разрушения горных пород на карьерах стройматериалов: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.15.11 – СПб, 1993. – 38 с.
20. Соколов С.Я., Климовский А.В., Кузьминых Е.Н. Состояние вопроса о применении геолого-геофизических методов при поисках, оценке и разведке блочного камня // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр./ Под ред. Г.Д. Гюршина. – 2016. – Вып. 16. – С. 35-58.
21. Соколов С.Я., Климовский А.В., Кузьминых Е.Н. Возможности геофизических методов при эксплуатационной разведке блочного камня на примере месторождения граносиенитов «Балтийское» / Строительный камень юго-восточной Фенноскандии: от геологии до архитектуры: сб. науч. тр. / Под ред. Е.Н. Кузьминых – Выборг, 2015. – С. 23-25
22. Arvantides N., Heldal T. Draft-report State-of-the-art: Ornamental stone quarrying in Europe. OSNET quarrying sector, 2002 Available at: <http://www.ngu.no/filearchive/91/OSNET3.pdf> (Accessed 26 November 2017).
23. Mancini R., Cardu M., Fornaro M. Hard dimension stone production by splitting and cutting methods in Italian quarries. Mine Planning and Equipment Selection, Rotterdam, 1995, pp. 151-156.
24. Mancini R., Cardu M., Fornaro M., Lovera E. Technological and economic evolution of diamond wire use in granite or similar stone quarries. 17* International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Ankara, 2001, pp. 543-548.
25. Mancini R., Cardu M., Fornaro M., Gaj F. Production methods in Italian dimension stone quarries, Mining science and technology, Rotterdam, 1996, pp. 125-130.
26. Sanchidrian J.A., Garcia-Bermtidez P., Tsoutrelis C., Exadaktylos G., Cojean R., Fleurisson J.A., Tsimidakis D., Rogakis C., Improvement of productivity in quarrying dimension stone using new blasting and drilling techniques, 1996 Available at: http://cordis.europa.eu/docs/publications/2684/26840591-6_en.pdf (Accessed 26 November 2017).
27. Olsson M., Nie S., Bergqvist I., Ouchterlony F. What Causes Cracks in Rock Blasting?. Fragblast: International Journal for Blasting and Fragmentation, 2002, vol. 6, no. 2, pp. 221-233.
28. Ouchterlony F., Olsson M., Bergqvist I. Towards New Swedish Recommendations for Cautious Perimeter Blasting, Fragblast: International Journal for Blasting and Fragmentation, 2002, vol. 6, no. 2, pp. 235-261.
29. Ouchterlony F., Review of Rock Blasting and Explosives Engineering Research at SveBeFo. EXPLO conference, Brisbane, 1995, pp. 133-146.
30. Prissang, R., Hellä, P., Lehtimäki, T., Saksa, P., Nummela, J. & Vuento, A.: Localisation of undisturbed blocks in larger dimension stone rock masses, Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, vol. 158, no. 3, 2007, pp. 471-482(12)
31. Tsoutrelis C. E., Gikas N., Nomikos P., G. Exadaktylos Use of notched boreholes for fracture controlled blasting in the ornamental stone quarries, Fragblast: International Journal for Blasting and Fragmentation, vol. 1, no. 4, pp. 445-463, doi:10.1080/13855149709408408
32. Sanchidrián J.A., García-Bermudez P., Jimeno C.L. Optimization of granite splitting by

blasting using notched holes, *Fragblast: International Journal for Blasting and Fragmentation*, vol. 4, no. 1, pp. 1-11, doi:10.1080/13855140009408059.

33. Tomasic I. The influence of discontinuity fabric and other factors on optimum exploitation of dimension stone, *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, 1994, vol. 6, pp. 101-105.

34. Mosch S., Nikolayew D., Ewiak O., Siegesmund S., Optimized extraction of dimension stone blocks, *Environmental Earth Sciences*, vol. 63, no 7-8, 2011, pp. 1911-1924.

35. Nikolayew D., Siegesmund S., Mosch S., Hoffman A. Modell-based prediction of unfractured rock masses, *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, vol. 158, no. 3, 2007, pp. 483-490.

36. Yarahmadi R., Bagherpour R., Taherian S.-G., Sousa L.M.O. Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries, *Engineering Geology*, vol. 232, 2018, pp. 22-33.

37. Botelho M. A. B., Mutfin I. R., Exploitation of limestone quarries in Brazil with depth migrated ground-penetrating radar data, 5th Inter-

national Congress of the Brazilian Geophysical Society, Salvador, 1998, pp. 836-839.

38. Rey J., Martínez J., Vera P., Ruiz N., Cañadas F., Montiel V., Ground-penetrating radar method used for the characterization of ornamental stone quarries, *Construction and Building Materials*, vol. 77, 2015, pp. 439-447.

39. Elkarmoty M., Colla C., Gabrielli E., Bonduà S., Bruno R., A Combination of GPR Survey and Laboratory Rock Tests for Evaluating an Ornamental Stone Deposit in a Quarry Bench, *Procedia Engineering*, vol. 191, 2017, pp. 999-1007.

40. Luodes H. Natural stone assessment with ground penetrating radar, *Estonian Journal of Earth Sciences*, vol. 57, n. 3, 2008, pp. 149-155.

41. Turanboy A., Ülker E. Using the Distribution Curves to Optimize the Block Exploitation in Natural Stone Quarries. *ISRM Regional Symposium – EUROCK 2014*, Vigo, 2014, pp. 631-635.

42. Tomašić I., Vidović-Tisanić Z. Potential of Medium to More Fractured Natural Stone Deposits, *Key Engineering Materials*, vol. 548, 2013, pp. 39-47.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 1, pp. 23-34

Title:	WAYS OF IMPROVING BLASTING METHODS OF DIMENSIONAL STONE QUARRYING IN INTENSIVELY FRACTURED ROCK MASS
Author:	Name & Surname: Aleksandr V. Kovalev Company: Petrozavodsk State University Address: 33, prosp. Lenina, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, 185910 Contacts: bukanidzee@gmail.com
DOI:	10.17073/2500-0632-2018-1-23-34
Abstract:	The findings of the review of available information on geological conditions of the Drugoretskoye gabbro-diabase deposit are presented. Special attention is paid to the characteristics of fracture sets, since it is this factor that largely determines the deposit development process environment and profitability. Information on dimensional stone quarrying productivity is presented in the form of graphs. Based on these data, the problem of gradual decreasing the quality indicators of the deposit development was revealed. Taking into account the fact that the main factors determining yield of commercial blocks are natural and induced fracturing, it was assumed that this problem is caused by insufficient knowledge of the deposit and excessive impact of blasting operations on the gabbro-diabase rock mass during mining. The insufficient knowledge does not allow reasonable planning mining and blasting operations, and the existing blasting method has a number of disadvantages that prevent from limiting disruptive impact on the rock mass. The findings of the review of domestic and foreign methods of controlling the action of blasting in the process of dimensional stone quarrying, detailed exploration of a rock mass fracturing, and modeling of jointing bounded by fractures are presented. Conclusions are drawn about the inapplicability of most of available quarrying methods in the considered case due to too high fracturing of the gabbro-diabase rock mass and the need to develop fundamentally new methods to increase the quarrying produc-

	<p>tivity. As a result, the lines of research were determined for development of methods and techniques allowing to quickly respond to changes in mining and geological conditions and control disruptive blasting effect in the process of dimensional stone quarrying in intensively fractured rock masses.</p>
Keywords:	<p>Drugoretskoye deposit, rough block of stone separation method, drilling and blasting operations, dimensional stone, gabbro-diabase, ways of improvement of drilling-and-blasting methods.</p>
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Spravka o sostoyanii i perspektivah ispol'sovaniya mineralno-syr'evoy basy respubliki Kareliya na 01.01.2016 [<i>Information about the state and prospects of Republic of Karelia mineral resources using on 01.01.2016</i>] Available at: http://atlaspacket.vsegei.ru/#8d0c998264ae22202. 2. Rysancev P.A. Povyshenie ehffektivnosti rasvedki mestorozhdenij oblicovochного kamnya na osnove metodiki electrotomografii [<i>Increase of exploration efficiency of ornamental stone deposits on the basis of electro-tomography technique</i>]. Petrozavodsk, 2015, 169 p. 3. Belov Yu.I. Otchet "Geologicheskaya zapiska po Drugoretskomu mestorozhdeniyu gabbro-diabazov" [<i>Report "Geological note on the Drugoretskoe gabbro-diabase deposit"</i>]. Petrozavodsk, 1993, 9 p. 4. Kalmykov V.V., Tyrkin A.I., Suhanov A.V. Otchet "Razrabotka metodiki ocenki vyhoda kondicionnyh blokov na mestorozhdeniyah oblicovochного kamnya" [<i>Report "Technique development for estimating the extraction of conditional blocks on ornamental stone deposits"</i>]. Petrozavodsk, 2005, 48 p. 5. Fedoskin A. Yu. Den gornyaka [<i>Miners day</i>]. Promyshlennyj vestnik Karelii = Industrial Newsletter of Karelia, 2016, no. 115, pp. 2-6. 6. Paramonov G.P., Gospodarikov A.P., Kovalevskij V.N. Vliyanie treshinovatosti gornogo massiva na vybor tehnologii dobychi blokov [<i>Influence of rock massif fracturing on a choice of block extraction technology</i>]. Vzryvnoe delo=Explosive case, 2010, no 104-61, 74-81 p. 7. Pershin G.D., Uljakov M.S., Povyshenie effektivnosti razrabotki mestorozhdenii blochnого vysokoprochnого kamnya [<i>Efficiency increasing of high-strength stone blocks mining</i>]. Izvestiya vyshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal= News of higher educational institutions. Mining journal, 2014, no. 7, 10-18 p. 8. Pershin G.D., Golyak S.A., Ulyakov M.S., Karaulov N.G., Sorokin I.S., Domnin V.Y., Ishtakbaev R.F. Sovremennye tehnologii dobychi blochnого granita [<i>Modern technologies of the granite blocks production</i>]. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij=International journal of applied and fundamental researches, 2014, no. 12, 163-167 p. 9. Paramonov G.P., Kovalevskij V.N., Mozer P. Povyshenie sohrannosti mineral'nogo syr'ya pri otdelenii monolita ot massiva gornyh porod s ispol'sovaniem gasogeneratornyh patronov [<i>Increasing the safety of mineral materials during the separation of a rock monolith from a massif of rocks by using gas-generator cartridges</i>]. Zapiski Gornogo instituta= Notes of the Mining Institute, 2016, no. 220, 532-537 p. 10. Paramonov G.P., Kovalevskij V.N., Kirsanov O.N. Opyt primeneniya gasogenerirujushhikh sostavov pri dobyche blochnого kamnya na kar'erah stroitel'nyh materialov [<i>Using experience of gas-generating compounds in the extraction of dimension stone in quarries of construction materials</i>]. Vzryvnoe delo=Explosive case, 2011, no 105-62, 273-281 p. 11. Berezuev Yu. A. Primenenie shpurovyh gazogeneratorov davleniya (GDSh) na kar'erah blochnого kamnya [<i>Using of borehole pressure gas generators (GDSh) in quarries of dimension stone</i>]. Gornyj zhurnal=Mining journal, 2008, no. 1, 50-52 p. 12. Damdaev Zh. G. Fizicheskie osnovy napravlenного razrusheniya gornyh porod I tehnologii shhadyashhego vzryvaniya pri otbojke blochnого kamnya [<i>Physical basis of directed destruction of rocks and technology of careful blast-</i>



- ing during separation of dimension stone]. Sankt-Petersburg, 2000, 37 p.
13. Kalinina N.M. Razrabotka shhadyashhej tehnologii vzryvnyh rabot na osnove primeneniya sverhnizkoplotnyh vzryvchatyh smesey [*Development of a careful blasting technology based on the use of ultra-low density explosive mixtures*]. Bishkek, 1993, 221 p.
 14. Kucenko G.P., Kotov L.R., Kulakevich Ya.S. Zaryady dlya otdeleniya blokov kamnya ot massiva [*Charges for separating blocks of stone from the massif*]. Gornyy zhurnal=Mining journal, 2006, no. 5, 50-52 p.
 15. Karasyov Yu.G., Bakka N.T. Prirodnyj kamen'. Dobycha blochnogo i stenovogo kamnya [*Natural stone. Production of dimension and wall stone*] Sankt-Petersburg, Nedra Publ., 1997, 428 p.
 16. Smirnov A.G., Bakka N.T., Birzhishkis I.S., Kuz'menko A.H., Sachkov L.S., Grachev V.D., Degtyarenko N.V., Zubko V.F. Dobycha i obrabotka prirodnogo kamnya: Spravochnik [*Extraction and processing of natural stone: directory*]. Moscow, Nedra Publ., 1990, 445 p.
 17. Doil'nicyn V.M., Zershhikov S.G., Lyashenko V.A. Ispytaniya zaryadov myagkogo vzryvaniya na rudnikah OAO "Apatit" [*Tests of soft explosive charges at the mines of OJSC "Apatit"*]. Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten'=Mining information and analytical bulletin, 2007, vol. 4, no. 12, pp. 74-82
 18. Rukhlina N.V. Obosnovanie sostavov VV i konstrukcij shpurovyh i skvazhinnyh zaryadov dlya napravlenno razrusheniya gornyh porod [*Substantiation of explosives compositions and constructions of borehole charges for directed separation of rocks*]. Sankt-Petersburg, 1993, 22 p.
 19. Nefedov M.A. Razrabotka tehniceskikh reshenij i ehffektivnyh tehnologii napravlenno vzryvnogo raskola i razrusheniya gornyh porod na kar'erah strojmaterialov [*Development of technical solutions and effective technologies for directed explosive cleavage and destruction of rocks in quarries of building materials*]. Sankt-Petersburg, 1993, 22 p.
 20. Sokolov S. Ya., Klimovskij A.V., Kuz'minyh E.N. Sostoyanie voprosa o primenении geologo-geofizicheskikh metodov pri poiskah, ocenke i razvedke blochnogo kamnya [*The questions state of the geological and geophysical methods application for the exploration, evaluation and exploration of dimension stone*] Dobycha, obrabotka i primeneniye prirodnogo kamnya; sbornik nauchnyh trudov [*Extraction, processing and application of natural stone: a collection of scientific works*], 2016, no. 16, pp. 35-58
 21. Sokolov S. Ya., Klimovskij A.V., Kuz'minyh E.N. Vozmozhnosti geofizicheskikh metodov pri ehkspluatacionnoj razvedke blochnogo kamnya na primere mestorozhdeniya granosienitov "Baltijskoe" [*Possibilities of geophysical methods in the exploration of dimension stone on the example of the granosyenite deposit "Baltic"*] Stroitel'nyj kamen' yugo-vostochnoj Fennoskandinavii ot geologii do arhitektury: sbornik nauchnyh trudov [*The building stone of south-eastern Fennoscandia: from geology to architecture: a collection of scientific works*], 2016, pp 23-25
 22. Arvantides N., Heldal T. Draft-report State-of-the-art: Ornamental stone quarrying in Europe. OSNET quarrying sector, 2002 Available at: <http://www.ngu.no/filearchive/91/OSNET3.pdf/> (Accessed 26 November 2017).
 23. Mancini R., Cardu M., Fornaro M. Hard dimension stone production by splitting and cutting methods in Italian quarries. Mine Planning and Equipment Selection, Rotterdam, 1995, pp. 151-156.
 24. Mancini R., Cardu M., Fornaro M. Lovera E. Technological and economic evolution of diamond wire use in granite or similar stone quarries. 17* Int.Mining Congress and Exhibition of Turkey, Ankara, 2001, pp. 543-548
 25. Mancini R., Cardu M., Fornaro M., Gaj F. Production methods in Italian dimension stone quarries. Mining science and technology, Rotterdam, 1996, pp. 125-130.
 26. Sanchidrian J.A., Garcia-Bermtidez P., Tsoutrelis C., Exadaktylos G., Co-



- jean R., Fleurisson J.A., Tsimidakis D., Rogakis C. *Improvement of productivity in quarrying dimension stone using new blasting and drilling techniques*, 1996. Available at: http://cordis.europa.eu/docs/publications/2684/26840591-6_en.pdf (Accessed 26 November 2017).
27. Olsson M., Nie S., Bergqvist I., Ouchterlony F. *What Causes Cracks in Rock Blasting?*. *Fragblast: Int. Journal for Blasting and Fragmentation*, 2002, vol. 6, no. 2, pp. 221-233.
28. Ouchterlony F., Olsson M., Bergqvist I. *Towards New Swedish Recommendations for Cautious Perimeter Blasting*, *Fragblast: Int. Journal for Blasting and Fragmentation*, 2002, vol. 6, no. 2, pp. 235-261.
29. Ouchterlony F., *Review of Rock Blasting and Explosives Engineering Research at SveBeFo*. EXPLO conference, Brisbane, 1995, pp. 133-146.
30. Prissang, R., Hellä, P., Lehtimäki, T., Saksa, P., Nummela, J. & Vuento, A.: *Localisation of undisturbed blocks in larger dimension stone rock masses*, *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, vol. 158, no. 3, 2007, pp. 471-482(12).
31. Tsoutrelis C. E., Gikas N., Nomikos P., G. *Exadaktylos Use of notched boreholes for fracture controlled blasting in the ornamental stone quarries*, *Fragblast: Int. Journal for Blasting and Fragmentation*, vol. 1, no. 4, pp. 445-463, doi:10.1080/13855149709408408.
32. Sanchidrián J.A., García-Bermudez P., Jimeno C.L. *Optimization of granite splitting by blasting using notched holes*, *Fragblast: Int. Journal for Blasting and Fragmentation*, vol. 4, no. 1, pp. 1-11, doi:10.1080/13855140009408059.
33. Tomasic I. *The influence of discontinuity fabric and other factors on optimum exploitation of dimension stone*, *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, 1994, vol. 6, pp. 101-105.
34. Mosch S., Nikolayew D., Ewiak O., Siegesmund S. *Optimized extraction of dimension stone blocks*, *Environmental Earth Sciences*, vol. 63, no 7-8, 2011, pp. 1911-1924.
35. Nikolayew D., Siegesmund S., Mosch S., Hoffman A. *Modell-based prediction of unfractured rock masses*, *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, vol. 158, no. 3, 2007, pp. 483-490.
36. Yarahmadi R., Bagherpour R., Taherian S.-G., Sousa L.M.O. *Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries*, *Engineering Geology*, vol. 232, 2018, pp. 22-33.
37. Botelho M. A. B., Muffin I. R., *Exploitation of limestone quarries in Brazil with depth migrated ground-penetrating radar data*, 5th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Salvador, 1998, pp. 836-839.
38. Rey J., Martínez J., Vera P., Ruiz N., Cañadas F., Montiel V. *Ground-penetrating radar method used for the characterization of ornamental stone quarries*, *Construction and Building Materials*, vol. 77, 2015, pp. 439-447.
39. Elkarmoty M., Colla C., Gabrielli E., Bonduà S., Bruno R. *A Combination of GPR Survey and Laboratory Rock Tests for Evaluating an Ornamental Stone Deposit in a Quarry Bench*, *Procedia Engineering*, vol. 191, 2017, pp. 999-1007.
40. Luodes H. *Natural stone assessment with ground penetrating radar*, *Estonian Journal of Earth Sciences*, vol. 57, n. 3, 2008, pp. 149-155
41. Turanboy A., Ülker E. *Using the Distribution Curves to Optimize the Block Exploitation in Natural Stone Quarries*. ISRM Regional Symposium - EUROCK 2014, Vigo, 2014, pp. 631-635.
42. Tomašić I., Vidović-Tisanić Z. *Potential of Medium to More Fractured Natural Stone Deposits*, *Key Engineering Materials*, Vol 548, 2013, pp 39-47.