УДК 622.236.3

А.И. Косолапов, М.Ю. Кадеров

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА РАЗРАБОТКИ МРАМОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РОССИИ

Эффективность отработки месторождений мрамора в суровых климатических условиях зависит главным образом от способа разработки. Одним из определяющих факторов при разработке месторождения являются климатические условия района, которые можно классифицировать как наименее суровые, суровые и наиболее суровые. Приведен анализ климатических условий основных камнедобывающих районов нашей страны, к этим района можно отнести восемь регионов. Аргументируется, что разработку месторождений в этих районах целесообразно осуществлять комбинированным способом при сезонной работе карьера. Для этого на Кибик-Кордонском месторождении были проанализированы метеонаблюдения, данные по выходу блоков и временная динамика напряжений. Результаты исследования показали, что продолжительность сезона открытых горных работ должна быть с апреля по октябрь. В ходе дальнейших исследований получены эмпирические зависимости между температурой поверхности мрамора и температурой воздуха в весенний и осенний периоды. Полученные зависимости позволяют успешно применять разработанную методику для обоснования продолжительности сезона в условиях района любого мраморного месторождения.

Ключевые слова: технология, комбинированный способ разработки, добыча мрамора, разность температур мрамора, сезонная работа карьера, горные работы в суровых условиях.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-27-33

Одним из определяющих факторов при разработке месторождения являются климатические условия района. От них зависит эффективность применения различных способов разработки, а также модификации существующих технологий с учетом местных метеоусловий.

В подтверждение влияния климатических условий, были проведены исследования, в ходе которых оценивали влияние температуры мрамора на скорость прохождения в нем упругих волн [1, 4, 5, 8, 11]. Так при производстве добычных работ (в процессе резания или бурения) мрамор нагревается неравномерно. В результате этого в зоне разрушения возникают термические напряжения, которые могут привести к образованию микротрещин, снижающих качество блоков и их выход из отбитой горной массы. На увеличение напряжения в массиве мрамора [2, 4] влияет разность температур разрушения мрамора ΔT = 113,6 °С [1, 6], этот процесс сопровождается образованием сколов в зоне нагрева при пилении или бурении камня [12].

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что в зимнее время

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 2. С. 27–33.
© А.И. Косолапов, М.Ю. Кадеров. 2018.

Таблица 1

Характеристика климатических зон

Район	Температура воздуха, °С	
	абсолютная минимальная	наиболее холодных суток
Наименее суровые условия	-35/-51*	-28/-43
Суровые условия	-45/-60	-40/-53
Наиболее суровые условия	-54/-71	-50/-63
* Числитель — максимальные значения, знаменатель — минимальные значения.		

вероятность образования микротрещин значительно выше, а следовательно, в это время целесообразно применять более низкотемпературные режимы пиления [1] или применять мероприятия позволяющие снизить разность температур.

Указанная проблема отчасти может быть решена внедрением комбинированного способа разработки месторождения. Комбинированная разработка, широкое распространение получила относительно недавно. Опыт работы многих горнорудных предприятий доказал целесообразность комбинированной разработки [3, 7].

Анализ динамики изменения среднемесячной температуры воздуха в основных камнедобывающих районах России показал, что в летний период она колеблется от 15 до 20 °С, а в зимний период — от –8 до –23 °С [9].

Районирование на климатические зоны основано на следующих показателях: абсолютная минимальная температура воздуха, температура наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки и т.д. По суровости климата выделены районы суровые, наименее суровые и наиболее суровые (табл. 1) [9].

Согласно этому можно сделать вывод, что основные камнедобывающие районы нашей страны находятся в суровых климатических условиях (табл. 2).

Исследование динамики изменения среднемесячной температуры воздуха в районах расположения основных месторождений мрамора нашей страны позволяет выявить условия их разработки, выбрать более рациональный режим работы карьера в течение года, а также оценить необходимость применения ком-

Таблица 2

Параметры климата основных камнедобывающих районов России

№, п/п	Республика, край, область	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С
1	Республика Карелия	-40
2	Свердловская область	-46
3	Челябинская область	-42
4	Республика Хакасия	-44
5	Иркутская область	-59
6	Кемеровская область	-47
7	Алтайский край	-49
8	Новосибирская область	-46

Рис. 1. Вид подземной горной выработки рудника «Доверие» Кибик-Кордонского месторождения мрамора

бинированного способа разработки [11, 7, 3].

Между температурой поверхности мрамора и температурой воздуха в ходе натурных исследований были получены эмпирические зависимости, характеризуемые корреляционным отношением более 0,95:

$$\text{Ноябрь — июль } t_к = -0{,}0004 \cdot t_в^3 + 0{,}0102 \cdot t_в^2 + 1{,}0819 \cdot t_в - 4{,}495; \quad (1)$$

$$\text{Август — октябрь } t_к = -0{,}0004 \cdot t_в^3 + 0{,}012 \cdot t_в^2 + 1{,}064 \cdot t_в + 2{,}613, \quad (2)$$

где $t_к$ — температура мрамора, °С; $t_в$ — температура воздуха, °С.

Приведенные уравнения (1, 2), позволяют рассчитать среднемесячные температуры поверхности мрамора.

Анализ полученных данных температур воздуха и камня свидетельствует о том, что во всех районах мраморных месторождений на территории России имеются периоды времени, когда температура поверхности мрамора отрицательна [1, 9, 11]. Это позволяет сделать вывод о необходимости решения проблемы сезонной работы карьеров, а следовательно, перехода по возможности на комбинированную разработку месторождений.

Для этого были проведены исследования динамики температуры мрамора в карьере и шахте при разработке Кибик-Кордонского мраморного месторождения, которые показали, что температура поверхности мрамора в карьере в течение года варьирует в очень ши-

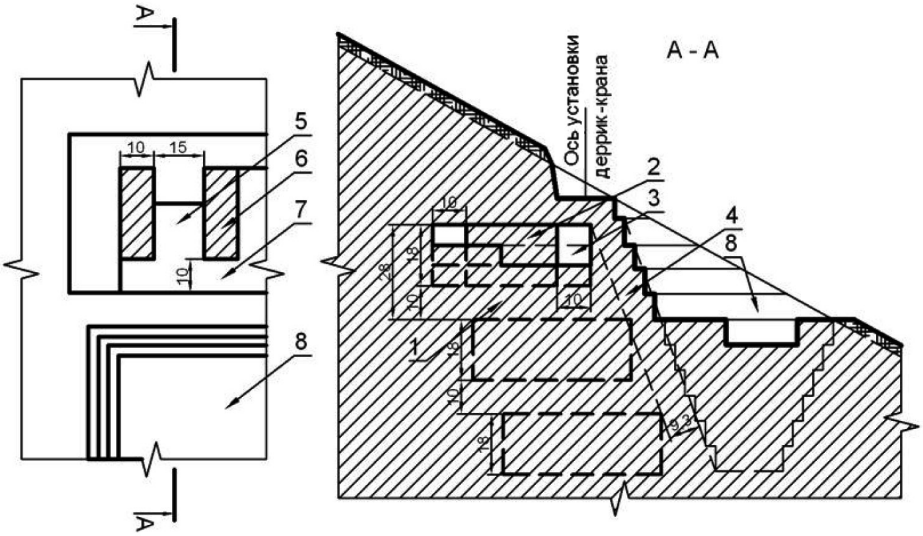

Рис. 2. Параметры камерно-панельной системы разработки: 1 — междуэтажный целик; 2 — междукамерный целик; 3 — штрек; 4 — бортовой целик; 5 — добычная камера; 6 — междукамерный целик; 7 — штрек; 8 — карьер

роких пределах (от -34 °С до +30,5 °С). Причем в течение года имеет место пространственная и временная вариация напряжений в массиве. В условиях подземной разработки температура поверхности мрамора, а следовательно, и напряжения в нем варьируют весьма незначительно. Данное обстоятельство является определяющим для обоснования продолжительности сезона работы карьера и перевода оборудования из карьера в шахту (рис. 1) в зимнее время года [1, 11].

Выемку камня осуществляют сверху вниз за счет выпиливания монолитов различных размеров с последующим расширением фронта горных работ. В большинстве случаев верхний уступ полностью отрабатывают до начала разработки нижележащего уступа.

На подземных работах баровые машины абсолютно незаменимы, поскольку они способны выполнять слепые пропилы в добычном уступе, что практически невозможно для установок алмазно-канатного пиления. Баровая машина применяется при проходке первого уступа этажа подземной выработки. Последующие уступы проходятся с комбинированием баровых и алмазно-канатных камнерезных машин в комплексе оборудования.

На рис. 2 приведена схема с параметрами целиков и подземных горных выработок для условий Кибик-Кордонского месторождения мрамора.

На руднике «Доверие» применяются баровая машина марки Korfmann HSTK 450.2 и алмазно-канатная машина марки Альфа-840. Технология добычи на стадии строительства применяется одноуступная, при развитии фронта подземных горных работ предполагается переход на двух и трех уступную технологию

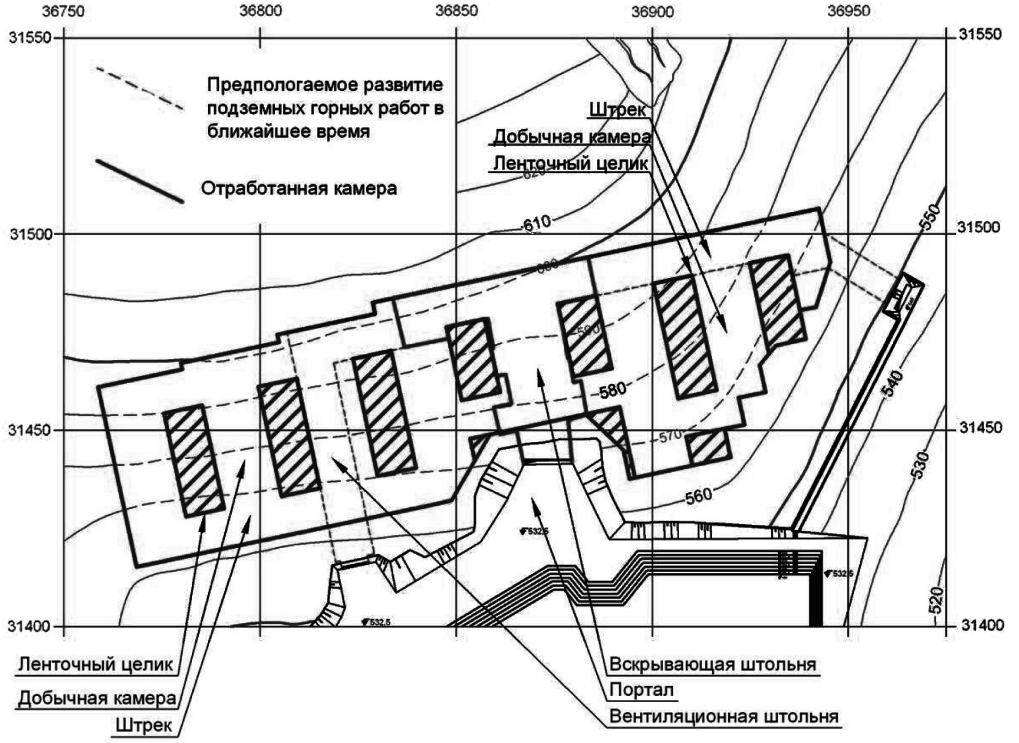

Рис. 3. План первого этажа подземной разработки рудника «Доверие»

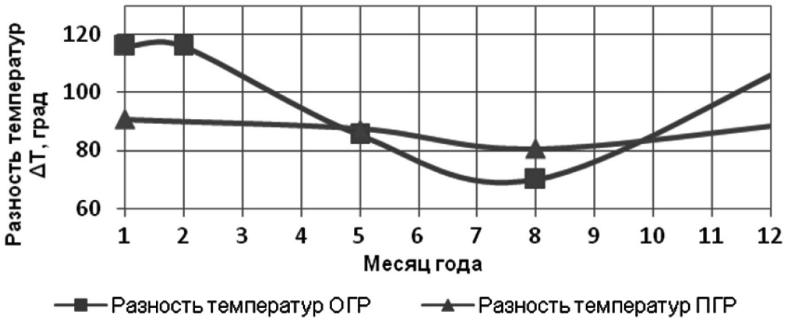

Рис. 4. Временная динамика разности температур

добычи мрамора. Ведение горных работ сразу на нескольких уступах будет возможно при проходке еще одной вскрывающей штольни и развития их в глубину массива для нарезки штреков (рис. 3).

Для расчета пролетов камер и параметров целиков использовались методики отечественных ученых М.М. Протодьяконов, В.Д. Слесарев, Л.Д. Шевяков, Г.Л. Фисенко, А.А. Борисов, М.А. Иофис, С.В. Ветров и др. для обоснования параметров подземных работ, учитывающих физико-механические свойства горных пород и условия работы кровли камер.

Для обоснования рациональной продолжительности сезона работы карьера выполнены исследования применительно к условиям Кибик-Кордонского месторождения [1, 10, 11]. При этом проанализированы данные десятилетних метеонаблюдений, статистические данные по выходу блоков и временная динамика напряжений.

В результате обобщения этих данных доказано, что продолжительность сезона открытых горных работ следует ограничивать 6—7 месяцами (апрель-октябрь) (рис. 4).

Анализируя данные графика, напрашивается вывод, что только в это время наиболее целесообразно вести горные работы в карьере. Данное обстоятельство и предопределяет необходимость комбинированной разработки Кибик-Кордонского месторождения.

Разработанная методика может быть успешно использована при обосновании продолжительности сезона для условий любого мраморного месторождения.

На основе анализа условий саморазрушения мрамора обоснованы варианты организации работы карьера и шахты при комбинированной разработке мраморного месторождения [11]. Их оценка показала, что наиболее рациональным является вариант круглогодичной работы шахты и сезонной — карьера.

В период межсезонья оборудование и персонал из карьера задействуют в шахте. Это позволит увеличить объемы добычи блоков, задействовать персонал и снизить затраты на производство блоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Косолапов А.И., Кадеров М.Ю.* Исследование влияния изменения температуры на формирование напряжений в мраморе Кибик-Кордонского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 4. — С. 349—352.

2. *Борисов А.А.* Механика горных пород и массивов. — М.: Недра, 1980. — 360 с.

3. *Мухтаров Т.М.* Комбинированный способ разработки месторождений полезных ископаемых. — М.: Наука, 1988. — 231 с.

4. *Ржевский В.В.*, *Ямщиков В.С.* Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве. — М.: Наука, 1973. — 223 с.
5. *Francioni M., Salvini R., Stead D., Litrico S.* A case study integrating remote sensing and distinct element analysis to quarry slope stability assessment in the Monte Altissimo area, Italy Engineering Geology, Vol. 183, 9 December 2014, pp. 290—302.
6. *Дмитриев А.П.*, *Гончаров С.А.* Термодинамическое и комбинированное разрушение горных пород. — М.: Недра, 1978. — 304 с.
7. *Юматов Б.П.* Технология открытых горных работ при комбинированной разработке рудных месторождений. — М.: Недра, 1967. — 148 с.
8. *Claudio O., Pierpaolo O.* Underground Quarrying for Marble: Stability assessment through modelling and monitoring. International Journal of Mining Science (IJMS) Vol. 1, Issue 1, June 2015, pp. 35—42.
9. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. — М.: Госстрой России, 2003.
10. Shane McCarthy // Queensland Roads Technical Journal, March 2011, pp. 29—39.
11. *Кадеров М.Ю.*, *Косолапов А.И.*, *Косолапова С.А.* Технология комбинированной разработки мраморных месторождений в суровых климатических условиях // Горный журнал, 2016. — № 3 — С. 33—37.
12. *Ferrero A.M., Migliazza M., Segalini A., Gullì D.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 60, June 2013, pp. 103—113. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Косолапов Александр Иннокентьевич[1] — доктор технических наук,
профессор, зав. кафедрой,
e-mail: kosolapov1953@mail.ru,
Кадеров Михаил Юрьевич[1] — кандидат технических наук,
доцент, e-mail: kaderov@list.ru,
[1] Сибирский федеральный университет,
Институт горного дела, геологии и геотехнологий.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 2, pp. 27–33.

A.I. Kosolapov, M.Yu. Kaderov

APPLICATION OF HYBRID MINING TECHNOLOGY AT MARBLE DEPOSITS IN RUSSIA

Efficiency of marble production under severe climate conditions mostly depends on a mining method. One of determinants of mineral mining is climate which can be classified as moderate, severe and extreme.

Climate in 8 basic stone-producing regions in Russia is analyzed. It is substantiated that it is expedient to use the hybrid mining method in these regions if open pit mines are set in seasonal operation. To that end, in terms of Kibik-Kordon deposit, the data of weather observations, production output of natural stone blocks and on seasonal dynamics in stress state are examined.

The results show that the length of the open pit mining season should be from April to October. The further research yields the empirical relations between marble surface temperature and air temperature in spring and autumn. These relations support the successful application of the developed procedure to the validation of an operating season duration in any specific conditions of a marble-producing region.

Key words: technology, hybrid mining method, marble production, marble temperature difference, seasonal open pit mine operation, mining under severe conditions.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-27-33

AUTHORS

Kosolapov A.I.[1], Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of Chair,
e-mail: kosolapov1953@mail.ru,
Kaderov M.Yu.[1], Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: kaderov@list.ru,
[1] Siberian Federal University,
Institute of Mining, Geology and Geotechnologies,
660025, Krasnoyarsk, Russia.

REFERENCES

1. Kosolapov A.I., Kaderov M.Yu. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008. no 4, pp. 349—352.

2. Borisov A.A. *Mekhanika gornykh porod i massivov* (Mechanics of rocks and rock masses), Moscow, Nedra, 1980, 360 p.

3. Mukhtarov T.M. *Kombinirovannyy sposob razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* (Hybrid mineral mining method), Moscow, Nauka, 1988, 231 p.

4. Rzhevskiy V.V., Yamshchikov V.S. *Akusticheskie metody issledovaniya i kontrolya gornykh porod v massive* (Acoustic methods of rock mass surveying and control), Moscow, Nauka, 1973, 223 p.

5. Francioni M., Salvini R., Stead D., Litrico S. A case study integrating remote sensing and distinct element analysis to quarry slope stability assessment in the Monte Altissimo area, *Italy Engineering Geology*, Vol. 183, 9 December 2014, pp. 290—302.

6. Dmitriev A.P., Goncharov S.A. *Termodinamicheskoe i kombinirovannoe razrushenie gornykh porod* (Thermodynamic and combination destruction of rocks), Moscow, Nedra, 1978, 304 p.

7. Yumatov B.P. *Tekhnologiya otkrytykh gornykh rabot pri kombinirovannoy razrabotke rudnykh mestorozhdeniy* (Open pit technology in hybrid ore mining), Moscow, Nedra, 1967, 148 p.

8. Claudio O., Pierpaolo O. Underground Quarrying for Marble: Stability assessment through modelling and monitoring. *International Journal of Mining Science* (IJMS) Vol. 1, Issue 1, June 2015, pp. 35—42.

9. *Stroitel'naya klimatologiya. SNiP 23-01-99* (Construction climatology. Construction norms and regulations SNiP 23-01-99), Moscow, Gosstroy Rossii, 2003.

10. Shane McCarthy. *Queensland Roads Technical Journal*, March 2011, pp. 29—39.

11. Kaderov M.Yu., Kosolapov A.I., Kosolapova S.A. *Gornyy zhurnal*, 2016, no 3, pp. 33—37.

12. Ferrero A.M., Migliazza M., Segalini A., Gullì D. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 60, June 2013, pp. 103—113.

FIGURES

Fig. 1. View of an excavation in Doverie marble mine, Kibik-Kordon deposit.

Fig. 2. Room-and-pillar method design: 1 — floor pillar; 2 — interchamber pillar; 3 — drift; 4 — side pillar; 5 — production room; 6 — interchamber pillar; 7 — drift; 8 — open pit mine.

Fig. 3. Plan view of the first level in Doverie mine.

Fig. 4. History of temperature difference.

TABLES

Table 1. Characteristic of climatic zones.

Table 2. Climate conditions in basic stone-producing regions of Russia.