

УДК 622. 831.24.001

О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко

## ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ КАМНЕСАМОЦВЕТНОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ НЕДР

Государственное ВУЗ «НГУ»,  
49005 г. Днепр, пр. Дмитрия Яворницкого, 19.

*Цель работы – разработать эффективные технологии добычи самоцветов с учетом энергетической нарушенности недр. Основными методами выполнения исследований являются методы статистической обработки, анализа и синтеза данных и экономико-математического анализа. В результате разработана классификация месторождений Украины, содержащих камнесамоцветное сырье. Обоснована классификация систем разработки по критерию энергозатрат при добыче. Определена себестоимость добычи самоцветов, учитывающая затраты энергии на разработку месторождений.*

**Ключевые слова:** камнесамоцветное сырье, классификация месторождений, система разработки, себестоимость добычи.

### Введение

Многие объекты недр Украины содержат полезные ископаемые, которые могут рассматриваться в качестве камнесамоцветного сырья (далее КСС). Однако отработка основного сырья зачастую происходит без учета сопутствующих ценных минералов. Это характерно для карьеров и шахт по добыче железных руд, содержащих декоративные джеспилиты; для карьеров по добыче керамических и графитовых пегматитов – письменный пегмтит; для гранитных карьеров по добыче щебня – эпидозиты и цветной кварц; для базальтовых карьеров – агаты; для карьеров по добыче мраморов на щебень – цветной мрамор и т.д. Зачастую у владельцев предприятий нет информации об эффективном использовании разных видов полезных ископаемых в качестве КСС. Современные рыночные условия диктуют заинтересованность в максимально доходном использовании недр и в комплексной оценке запасов [1].

### 1. Общая часть

Геологическая оценка сводится к определению объемов КСС, форм и условий залегания продуктивных залежей. Решение этой задачи возможно после выявления декоративных разновидностей КСС, которые могут пополняться

по мере изучения объекта и даже в процессе разработки. Наиболее эффективным является определение прогнозных ресурсов по генетическим типам декоративных разновидностей, т.е. по происхождению декоративных разновидностей КСС возможно определить масштабы и проявления геологических процессов – объемы сырья, характерные для геологических процессов (табл. 1).

Таблица 1

**Классификация месторождений Украины,  
содержащих камнесамоцветное сырье**

Класс	Способ разработки	Наименование месторождения	Самоцвет
Естественные	Открытый	Ровенско-Волынский бассейн	Янтарь
		Осиновское, Донцовское, Хворостянское, Веселовское, Конкское, Григорьевское, Каракубское	Дерево окаменелое
Разведанные		Залиманское, Новопокское	
Разрабатываемые		Биук-Янкойское	Мрамор цветной
		Горишнеплавненское	Джеспилит
		Балка Большого лагеря	Пегматит письменный, кварц цветной
	Подземный	Криворожский бассейн	Джеспилит, кварцит, глаз тигровый и соколиный
		Южно-Белозерское	Кварцит желтополосчатый
Отработанные (законсервированные)	Открытый	Елисеевское, Токовское	Кварц цветной
		Тритузненское	Эпидозит
		Криворожский бассейн	Джеспилит, кварцит, глаз тигровый и соколиный

Добыча сырья основывается на использовании предложенных систем разработки с выбором из всего многообразия существующих способов разработки КСС более экономичных. Основными классификационными признаками для систем разработки КСС являются: состояние исходного массива

(разрушенное, естественное, искусственное), метод отделения (ручной, механический, клинощелевой, буровой), способ отделения (погрузочными средствами, гидромолотами, расширителями) и вспомогательные средства (клинья, пробки, пасты, растворы, топливо). Условием выбора и применения более эффективных технологий разработки является рыночная цена добытого сырья, что определяет рациональные границы применения классов, групп и видов систем разработки, которые регулируются в соответствии с объемами потерь и уровнем качества добываемого сырья. Понижение энергоемкости добычи, снижение потерь и повышение качества самоцветов решаются с помощью получения заданных размеров и формы монолитов, снижения технологической трещиноватости и управления другими параметрами качества под соответствующие технологии добычи [2].

Стоимостная оценка сырья показывает, что простая разведка запасов какого-либо вида полезного ископаемого и постановка его на баланс без дальнейшей отработки означает консервацию денежных средств. Большинство разновидностей отечественных самоцветов не является ни стратегическим, ни высокодоходным видом сырья вследствие своей специфики как полезного ископаемого. Гораздо больший доход от коммерческой деятельности получают изготовители и реализаторы, которые выполняют добычу сырья и изготовление изделий. Поэтому собственника интересует комплексная информация о том виде сырья, в разработку месторождения которого он планирует инвестировать средства: от запасов и горно-геологических условий добычи до конкурентов на рынке готовых изделий. Составление бизнес-плана – достаточно сложный и дорогостоящий процесс, который требует анализа большого объема информации и разработки конкретных действий [3].

## **2. Классификация систем разработки КСС**

Анализ существующих классификаций систем открытой и подземной разработки месторождений позволил сделать вывод, что на сегодняшний день, в принципе, не существует классификаций систем разработки КСС. Классифицирование систем разработки является основой энергосберегающей добычи камнесамоцветного сырья. Выполненная авторами классификация отражает современное состояние и перспективы развития в этой области, служит базой для создания единой терминологии, способствует эффективному выбору способа, вида, метода разработки и типа механизации для конкретных условий. Способ добычи КСС в большей мере зависит от того, в каком энергетическом состоянии оно находится (естественном, нарушенном, разрушенном), что позволило составить классификацию существующих систем разработки КСС, которая основывалась на признаке энергетического состояния массива на момент добычи, что позволяет определить объем используемой энергии при разработке [4]. Составленная классификация позволит охватить весь диапазон применяемых вариантов систем разработки, существующих в практике на сегодняшний день (табл. 2).

**Классификация систем разработки  
по добыче камнесамоцветного сырья**

Класс (по состоянию массива)	Группа (по методу отделения)	Вариант (по способу отделения)	Механизм	Вещества, компоненты, инструменты
Разрушенные	Селективные	Ручная	Ручной инструмент	Реагенты
		Механи- зированная	Спецтехника	Приспособле- ния
Естественные	Щелевые	Клино- щелевая	Гидро-, пневмо- электромолотки	Клинья, пики-лопатки
			Расширители	Пробки
		Химико- щелевая	Зарядные установки	Растворы
		Крио- генно- щелевая	Замораживаю- щие установки	
Гидро- щелевая	Нагнетательные установки			
Искусственные	Буровые	Буровая	Буровые уста- новки керно- вого бурения	Керновые коронки
		Буро- клиновья	Буровые установки	Клинья, пробки
			Гидромолоты	
			Расширители	
		Буро- взрывная	Буровые установки	Взрывчатые вещества
		Бурохими- ческая	Буровые и за- рядные уста- новки	Пасты
	Буро- криоген- ная	Буровые и за- мораживающие установки	Растворы	
	Огневая	Буровые уста- новки	Топливо	
	Пильные	Дисковая	Дисковые пилы	Диски
		Канатная	Канатные пилы	Канаты
Шпичевая		Шпичевые пилы	Шпичицы	
	Абразив			

Для деления систем на классы использовался признак «энергетическое состояние массива в момент разработки», что позволило объединить все системы в три класса. В свою очередь классы подразделяются на группы, основным признаком которых является метод отделения материала от массива. По способу отделения КСС группы подразделяются на варианты, которые уточняются с учетом применяемых механизмов, веществ, компонентов и инструментов. Анализ существующих постоянных и переменных горно-геологических факторов, влияющих на выбор самой энергосберегающей системы разработки, позволил установить основные факторы, которые предоставляют возможность выбора системы разработки для добычи КСС. К ним относятся трещиноватость и гранулометрический состав. Анализ существующих постоянных и переменных горно-геологических факторов, влияющих на выбор самой энергосберегающей системы разработки, позволил установить основные факторы, которые предоставляют возможность выбора системы разработки для добычи КСС. К ним относятся трещиноватость и гранулометрический состав [5].

Трещиноватость оценивается по акустическому показателю трещиноватости

$$A_I = \left( \frac{C_p}{C_{po}} \right)^2, \quad (1)$$

где  $C_p$  – скорость распространения продольных упругих волн в массиве, определенная сейсмоакустическим методом, м/с;  $C_{po}$  – скорость распространения продольных упругих волн в образцах (отдельностях) из массива, определенная ультразвуковым методом, м/с. Условия применения разных групп систем разработки КСС при любой трещиноватости горных пород представлены в табл. 3.

Гранулометрический состав является основным показателем физических свойств и структуры естественного или искусственного материала. Общепринятой классификации по данным гранулометрического состава не существует, что связано с различием целей и объектов, для которых производится определение гранулометрического состава. Поэтому гранулометрический состав отбитого КСС предлагается выражать через кусковатость (крупность куска). Крупность кусков, имеющих неправильную форму, принято выражать средним размером по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Условия применения групп систем разработки в зависимости от кусковатости КСС представлены в табл. 4.

Таблица 3

**Условия применения систем разработки  
в зависимости от трещиноватости массива**

Категория трещиноватости	Степень трещиноватости массивов	Акустический показатель трещиноватости $A_1$	Приемлемые группы систем разработки КСС
I	Весьма трещиноватые (мелкоблочные)	$< 0,10$	Селективная
II	Сильнотрещиноватые (среднеблочные)	$0,10 - 0,25$	Селективная, щелевая
III	Среднетрещиноватые (крупноблочные)	$0,25 - 0,40$	Щелевая
IV	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	$0,40 - 0,60$	Буровая
V	Практически монолитные (только крупноблочные)	$0,60 - 1,00$	Пильная

Таблица 4

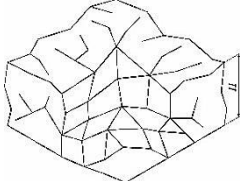
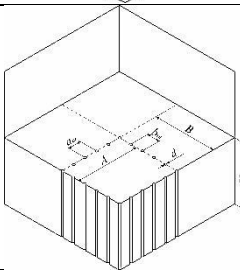
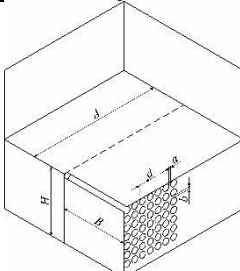
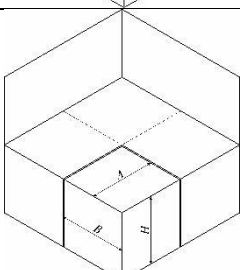
**Условия применения систем разработки в зависимости от кусковатости**

Кусковатость КСС	Размер куска, м	Приемлемые группы систем разработки КСС
Мелочь	$< 0,1$	Селективная
Средней крупности	$0,1 - 0,3$	Селективная, щелевая
Крупнокусковая	$0,3 - 0,6$	Буровая
Весьма крупнокусковая	$0,6 - 1,5$	Буровая, пильная

Используя соответствие показателей акустической трещиноватости и размера добываемого куска принципам управления энергетическим состоянием массива, которые соответствуют предложенным авторами вариантам систем разработки, можно оценить относительный объем используемой (затрачиваемой) энергии в процессе добычи запасов КСС. Так как системы разработки КСС являются ничем иным как очистными работами, к которым применимы только принципы уравнивания, содействия, устранения и противодействия с соответствующим объемом используемой энергии массива. Показатель соотношения используемых объемов энергии является относительной величиной, показывающей соотношение ее затрат для различных систем разработки с косвенным учетом энергонасыщенности массива по его трещиноватости (табл. 5) [6].

Таблица 5

**Соотношение затрат энергии  
для вариантов систем разработки камнесамоцветного сырья**

Название групп систем разработки	Изометрия системы разработки	Акустический показатель трещиноватости $A_1$	Размер добываемого куска, м	Объем энергозатрат при добыче, %
Селективная	-	0 – 0,25	< 0,1	0
Щелевая с клиновым отделением материала		0,25 – 0,40	0,1 – 0,3	1,0
Буровая с буроклиновым отделением материала		0,40 – 0,50	0,3 – 0,6	10,0
Буровая с буровым отделением материала		0,50 – 0,60	0,3 – 0,6	50,0
Пильная с дисковым отделением материала		0,60 – 1,00	0,6 – 1,5	100,0

Выполненная оценка объектов недр, содержащих КСС, позволила составить классификацию месторождений Украины, содержащих КСС. В полученной классификации систем разработки по способу и виду добычи КСС вы-

полнено деление систем на классы с использованием признака «энергетическое состояние массива в момент разработки». На основе анализа постоянных и переменных горно-геологических и техногенных факторов разработана методика выбора систем разработки КСС методом исключений, которая включает отбор возможных групп систем разработки, выбор из них систем разработки трех наиболее эффективных и проведение технико-экономического сравнения двух систем разработки для получения оптимального варианта с точки зрения энергосбережения при добыче [7].

### 3. Себестоимость добычи запасов камнесамоцветного сырья

Для определения основных ТЭП по системам разработки выполнен расчет участковой себестоимости по четырем системам. Основными исходными данными для расчета участковой себестоимости по системам разработки являются: размеры добываемых монолитных блоков, плотность горного массива, применяемые инструменты. В предложенной классификации систем разработки запасов КСС Украины заложен принцип, в котором возрастающий порядковый номер систем соответствует возрастающим затратам на их добычу. Благодаря чему при помощи аппроксимации значений себестоимости добычи от селективной (№ 1) и щелевой (№ 4) до буровой (№ 8) и пыльной (№ 16), которые являются типовыми в своих группах, была установлена степенная зависимость изменения себестоимости добычи для всех 18 систем разработки. Определение ориентировочной себестоимости добычи 1 кг КСС выполнено по системам разработки №№ 1, 4, 8, 16, что позволило установить зависимость себестоимости добычи 1 кг сырья от системы разработки и объема энергозатрат на добычу [8] (рис. 1).

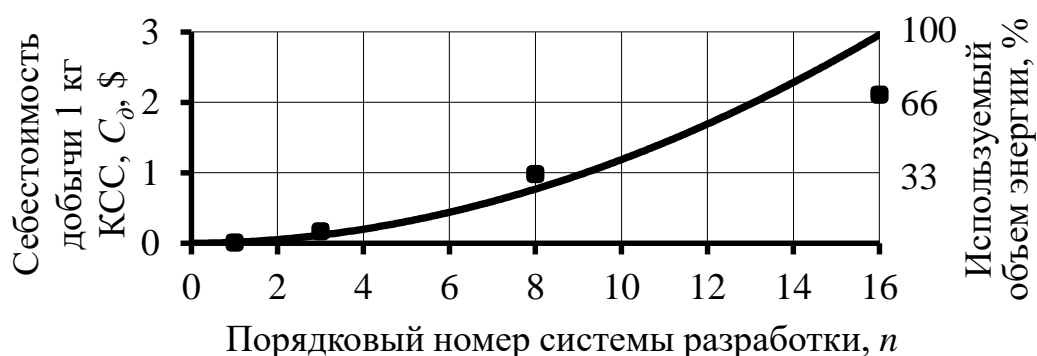


Рис. 1. Себестоимость добычи 1 кг КСС по вариантам систем разработки

Проведя аппроксимацию значений себестоимости, получаем уравнение зависимости ориентировочной себестоимости добычи 1 кг сырья от порядкового номера систем разработки. Для вариантов систем разработки КСС, зависимость себестоимости имеет вид



$$C_d = 0,015n^2, \$, \quad (2)$$

где  $n$  – порядковый номер системы разработки (табл. 6).

Таблица 6

**Себестоимость добычи  
камнесамоцветного сырья по видам систем разработки**

№ п/п	Название системы разработки	Себестоимость добычи, \$	Объем энергозатрат при добыче, %	
1	Селективная с ручным отделением материала от массива	0,01 – 0,015	0	
2	с механизированным отделением материала от массива	0,05 – 0,06	1	
3	Щелевая с клино-щелевым отделением материала от массива	0,10 – 0,20	4	
4		0,20 – 0,25	7	
5		с химико-щелевым отделением материала от массива	0,30 – 0,35	10
6		с криогенно-щелевым отделением материала от массива	0,40 – 0,50	17
7		с гидро-щелевым отделением материала от массива	0,55 – 0,65	20
8	Буловая с буровым отделением материала от массива	0,80 – 1,15	28	
9		с буроклиновым отделением материала от массива	1,00 – 1,20	36
10		с буроклиновым отделением материала от массива	1,20 – 1,40	40
11		с буроклиновым отделением материала от массива	1,40 – 1,70	49
12		с буровзрывным отделением материала от массива	1,70 – 2,00	58
13		с бурохимическим отделением материала от массива	1,95 – 2,40	67
14		с бурокриогенным отделением материала от массива	2,25 – 2,75	78
15		с огневым отделением материала от массива	2,55 – 3,10	85
16	Пилочная с дисковым отделением материала от массива	2,25 – 3,00	95	
17		с канатным отделением материала от массива	3,20 – 3,80	98

18	со шпичевым отделением материала от массива	3,60 – 4,10	100
----	---	-------------	-----

С целью привязки к стоимости оборудования, цены на которое в долларовом эквиваленте не изменялись последние 20 лет, расчет ориентировочной себестоимости добычи 1 кг КСС по системам разработки выполнен в условных единицах. Статья затрат «стоимость оборудования» в калькуляции себестоимости добычи является доминирующей для систем разработки с механической отбойкой, ввиду чего себестоимость определена с 10 % интервалом, который соответствует уровню колебания цен на добычное оборудование от разных производителей.

### Выводы

1. Разработка технологий добычи камнесамоцветного сырья Украины в условиях энергетической нарушенности недр основывалась на классификации месторождений самоцветов и систем разработки по классификационному признаку «энергетическое состояние массива на момент разработки», который определяет методы отделения материала от массива.

2. Выбор рациональной системы разработки самоцветов основывался на учете постоянных и переменных горно-геологических и техногенных факторов, учет которых позволяет снизить себестоимость добычи сырья и затрачиваемое количество энергии на разработку месторождения КСС.

3. Себестоимость добычи 1 кг самоцветов, которая соответствует порядковому номеру системы разработки в классификации, возрастает по степенной зависимости до 4,1 \$ и сопровождается увеличением относительного количества затрачиваемой энергии до 65,5 % на разработку месторождения КСС.

1. *Бондаренко В.И., Колоколов О.В., Хоменко О.Е., Нетеча М.В.* Перспективы добычи крупноблочного облицовочного и художественно-декоративного сырья в Криворожском железорудном бассейне. Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – Кривий Ріг: КТУ, 2004. – С. 27 – 31.
2. *Колоколов О.В., Хоменко О.Е., Нетеча М.В.* Технологія видобування джеспіліту на шахтах Криворізького залізрудного басейну. Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 7. – С. 3 – 7.
3. *Баранов П.Н., Шевченко С.В., Хоменко О.Е., Рузина М.В., Матюшкина О.П.* К вопросу о комплексной оценке объектов недр, содержащих камнесамоцветное сырье. Наукові засади геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази України та світу: міжнар. наук. конфер. – Київ, 2011. – С. 41 – 42.
4. *Хоменко О.Е.* Геоэнергетика подземной разработки рудных месторождений: монография. Д.: ДВНЗ «НГУ». 2016. – 242 с.
5. *Хоменко О.Е., Кононенко М.Н.* Самоцветы Украины: месторождения, технологии и себестоимость добычи. Геомеханічні аспекти та екологічні наслідки

- відпрацювання рудних покладів: наук.-техн. зб. – Кривий Ріг: НДГРІ ДВНЗ «КНУ», 2012. – С. 107 – 110.
6. *Khomenko O.Ye., Sudakov A.K., Malanchuk Z.R., Malanchuk Ye.Z.* Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits // Scientific bulletin of National Mining University, 2017. – № 2, С. 35 – 43.
  7. *Netecha M.V., Shevchenko S.V., Strilets O.P.* Jaspilites and other gemstones of post-jaspilite genesis: mining, treatment, and enhancement // Scientific bulletin of National Mining University, 2017. – № 2, С. 28 – 33.
  8. *Проскураков О., Баранов П., Шевченко С., Матюшкина О.* Закономерности наращивания и развития минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья Украины // Коштовне та декоративне каміння. – Київ: ДГЦУ, 2013. – № 3. – С. 25 – 29.

*О.Е. Хоменко, М.Н. Кононенко*

### **ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУВАННЯ КАМЕНЕСАМОЦВІТНОЇ СИРОВИНИ В УМОВАХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОРУШЕННЯ НЕДР**

Мета роботи – розробити ефективні технології видобування самоцвітів з урахуванням енергетичної порушеності надр. Основними методами виконання досліджень є методи статистичної обробки, аналізу і синтезу даних і економіко-математичного аналізу. В результаті розроблена класифікація родовищ України, що містять камнесамоцвітну сировину. Обґрунтовано класифікацію систем розробки за критерієм енерговитрат при видобуванні. Визначено собівартість видобутку самоцвітів, що враховує витрати енергії на розробку родовищ.

**Ключові слова:** камнесамоцвітна сировина, класифікація родовищ, система розробки, собівартість видобутку.

*О. Khomenko, М. Kononenko*

### **TECHNOLOGIES OF EXTRACTION OF SEMIPRECIOUS STONES RAW MATERIALS IN THE CONDITIONS OF ENERGY FAILURE OF MINERAL RESOURCES**

The work purpose is to develop effective technologies of extraction of semiprecious stones with taking into account energy failures of mineral resources. The main methods of research conducting are methods of statistical processing, analysis and synthesis of data and economic-and-mathematical analysis. Classification of deposits of Ukraine that containing semiprecious stones raw materials is developed as a result. Classification of mining methods by criterion of energy consumption during mining is substantiated. The cost of extraction of semiprecious stones considering energy costs of deposits mining is defined.

**Keywords:** semiprecious stones raw materials, classification of deposits, mining method, prime-cost of extraction.