

УДК 553.042.347

Исследование качества известняков с целью оптимизации отработки Родниковского месторождения

Рогаченко А. М.^{*}, Волкова Т. П.

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Поступила в редакцию 11.06.10, принята к печати 01.10.10.

Аннотация

Рассмотрено применение известняка в различных отраслях промышленности. Особое внимание уделено металлургии, где известняк используется в качестве флюса. Главной проблемой в этой области является уменьшение сырьевой базы качественного известняка для конверторного производства. Исследовано распределение качества известняков Родниковского месторождения Донецкой области. Установлены причины снижения их качества в соответствии с техническими требованиями промышленности. Сделаны рекомендации по дальнейшей послышной отработке Родниковского месторождения флюсовых известняков.

Ключевые слова: известняк, металлургическая промышленность, флюсы, качество, Родниковское месторождение, статистическая обработка, послышная отработка

Известняк весьма распространенная и довольно сложная по составу горная порода. Он встречается на всех материках, кроме Австралии. Мировая добыча известняков превышает 3 млрд. тонн. Украина до последнего времени полностью обеспечивала себя этим сырьем и удовлетворяла потребности металлургии России, Грузии, частично – Польши, Словакии. Основная часть запасов известняков расположена в Донецкой области и Автономной Республике Крым. Чистый известняк представляет собой химическое соединение кальция с кислородом (CaCO_3). Обычно он содержит различные примеси: магнезит, доломит, кварц, глину. Месторождения известняков представлены пластообразными толщами с простиранием до ста километров и мощностью до несколько тысяч метров. Продуктивная толща одного месторождения обычно состоит из отдельных пластов, различных по плотности, мощности, составу и качеству. Мощность отдельных слоев изменяется от нескольких сантиметров до нескольких метров (5–6 м и более) [1]. Известняк используют в металлургической, химической, строительной, сахарной отраслях промышленности и в сельском хозяйстве для очистки кислых дренажных вод, для десульфации потоков газа, для обработки грунтов и т. п.

В металлургической промышленности известняк необходим в качестве флюса. Флю́с (плавень) – это неорганическое вещество, которое добавляют к руде при выплавке металлов для снижения температуры плавления. При этом происходит связывание силикатов и алюминатов с превращением их в шлак, который уже легко отделяется от расплавленного металла. В сталеплавильном производстве известняк применяется для очистки металла от примесей и повышения его качества [2].

Выбор флюса зависит от рода плавки и от состава руд. Известковый или магнезиальный плавень используют в девяти из десяти металлургических заводов. Чтобы ввести в шихту 100 частей извести, надо 178,6 частей известняка. Предварительный химический анализ породы составляет главную часть исследований флюсового материала [3]. Для известняков определяющими показателями качества являются показатели CaO , MgO , SiO_2 , $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, S, P.

* Для переписки: geolog-sasha@mail.ru.

При этом они должны иметь в своем составе наибольшее количество оксида кальция и как можно меньше вредных (серы, фосфора) и балластных (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) примесей (табл. 1).

Табл. 1. Требования промышленности к качеству известнякового сырья

Качественные показатели известняков	ТУ для промышленности				
	Доменное производство	Металлургическая промышленность	Сталеплавильная, ферросплавная промышленность	Производство строительной извести	Производство цемента
CaO, %	52,7	50	CaO+ MgO 51,0	47,6	45
MgO, %	1,2	3,5		3,36	2,0-4,0
SiO ₂ , %	2,5	4,0		8,0	
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , %	0,47	3,0		3,0	
S·10 ⁻² , %	5,6	35			7-13,3
P·10 ⁻³ , %	3	6			20-44

Качество флюсового известняка определяется не только химическим составом, но и физико-механическими свойствами (крепостью, устойчивостью к стиранию и т. д.). Мелкозернистые, мощные, относительно пористые породы – наиболее применимы для изготовления флюсов [4]. Мел применяется редко. Dolomit, содержащий в среднем 60 % углекислого кальция и 40 % углекислого магния, находит также применение при плавке. Он дает более легкоплавкие шлаки, чем чистый известняк. В доменном производстве флюс применяется для связки кремнезема железной руды. Чем меньше сам известняк содержит кремнезема, тем лучше. Сера и фосфор в известняковых флюсах являются вредными примесями в металле, поэтому они строго нормируются. Кварцевые и другие породы, содержащие кремнезем (песчаники, роговые обманки, гранаты, полевые шпаты, базальты и т. д.), применяются для плавления руд, богатых основаниями.

Силикаты легче чистого кварца вступают в соединения и плавятся. Плавиновый шпат действует на шлаки чрезвычайно разжижающим образом. Температура плавления шлака при этом также сильно понижается. Дороговизна плавинового шпата и разъедание стенок печи мешают его постоянному применению. В доменной плавке шпат вводится в неординарных случаях. Глинистые сланцы, с большим содержанием алюмосиликатов, применяются в виде флюса для сильно известковистых руд. Железо присаживается при плавке свинцовых, сурьмяных, ртутных руд для разложения их на составляющие: $\text{PbS} + \text{Fe} = \text{Pb} + \text{FeS}$ [3].

В Украине, главным образом, известняк используют в металлургической промышленности. Внедрение новых технологических процессов в металлургии требуют повышения качества флюсового известняка по химическому составу и механической крепости [5]. Истощение запасов качественного сырья эксплуатируемых месторождений (Каракубское месторождение, Донецкая область) и закрытие карьеров в связи с обострением экологических проблем (Гасфортское месторождение, Крымский полуостров) потребовало экстренного ввода в эксплуатацию новых месторождений.

Главным районом разведанных запасов флюсовых известняков Украины, является зона сочленения юго-западной части Донецкой складчатой структуры с Приазовским блоком Украинского щита. Здесь сконцентрированы 38 % разведанных запасов флюсовых известняков и 20 % известняков доломитизированных. Продуктивной является моноклинально залегающая известняково-доломитная толща турнейского и визейского ярусов нижнего карбона мощностью до 500 м. Мощность карбонатной толщи колеблется от нескольких до 100 и больше метров.

Основным поставщиком известняка для конвертерного производства является Комсомольское рудоуправление. Его сырьевая база представлена Каракубским месторождением флюсовых известняков. Действующие карьеры – Северный, Южный, Жеголевский. Карьер Дальний полностью отработан и затоплен. Запасов Каракубского месторождения хватит до 2015 года при достигнутой мощности предприятия в 7 млн. тонн сырого известняка в год. Пополнение дефицита высококачественного флюсового сырья планируется за счет введения в эксплуатацию Родниковского месторождения.

В геолого-структурном отношении Родниковское месторождение известняков расположено в юго-западной части зоны сочленения складчатой структуры Донбасса с Приазовским мегаблоком Украинского щита. Оно приурочено к полосе распространения пород визейского и турнейского ярусов нижнего карбона, которые слагают южное крыло Кальмиус-Торецкой котловины. Продуктивными толщами также являются известняки турнейского и визейского яруса нижнего карбона. Мощность полезного ископаемого составляет 72,4 м на Восточном участке месторождения и 90,3 м – на Западном (подсчитаны запасы до горизонта –7 м). Отложения визейского яруса представлены, в основном, известняками. Турнейский ярус отличается чередованием слоев, главным образом, известняка, доломита, доломитизированных известняков с прослоями глинистых, кремненых известняков, сланцевых известняков. Карбонатные породы турнейского и визейского ярусов относятся к типу органогенных, преимущественно мелкодетритусовых, слабометаморфизованных пород. В них, как сингенетические образования, встречаются кремни разной формы. Это доказывает хомогенность процесса образования известняков. Большая роль химического процесса в образовании доломита подтверждается малым наличием и полным исчезновением ископаемой фауны в доломитизированных породах.

В зависимости от химического состава и содержания лимитирующих компонентов среди известняков Родниковского месторождения выделяются: ферросплавные, конверторные, доменные. При этом почти 70 % от всех запасов месторождения составляют конверторные известняки. Для контроля массовой доли SiO₂ карбонатные породы предварительно обжигаются в специальных обжигающих агрегатах с получением конверторного известняка. Запасы карбонатных пород Родниковского месторождения подсчитаны по данным предварительной разведки (табл. 2). Данные по состоянию запасов флюсовых известняков Родниковского месторождения предоставлены предприятием КП «Южургеология» Приазовская КГРЭ.

Табл. 2. Общие запасы флюсового сырья Родниковского месторождения.

Категория запасов	Всего запасов тыс.тонн	В том числе известняк:					
		Доменный		Конверторный		Ферросплавные	
		%	тыс.т	%	тыс.т	%	тыс.т
C ₁ +C ₂	249210,9		38160,6		195032,1		16018,2

Согласно проведенному подсчету запасов, большую часть месторождения составляют высококачественные конверторные известняки –195 млн. тонн. Доказана рентабельность отработки Родниковского месторождения.

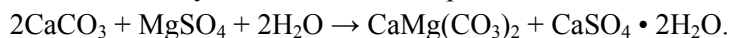
Высококачественный флюс должен иметь в своем составе наибольшее количество CaO и как можно меньше вредных (серы, фосфора) и балластных (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) примесей [6].

Для получения точных сведений о причинах и закономерностях изменчивости всех показателей качества известняков Родниковского месторождения, было проведено пространственно-статистическое исследование данных. Они представляют собой пространственно привязанные данные химических анализов секционных проб по пластопересечениям разведочных скважин. Выборка включает в себя 2270 секционных проб (при средней длине секции равной 2,0 м).

Содержание CaO является основным показателем качества известняков. По результатам проведенных анализов выявлено неоднородное распределение основного качественного показателя CaO в Родниковском месторождении (рис. 1).

Гистограммы изменчивости показателя CaO имеют ступенчатый одновершинный вид, что доказывает соответствие исследуемого признака зеркально-логнормальному закону распределения. Присутствие пустых интервалов свидетельствует о неоднородности геологической среды. Это связано со слоистым строением продуктивных толщ визейского и турнейского ярусов нижнего карбона, наличием карстовых пустот и разрывных нарушений. Размах между минимальным и максимальным значениями показателя CaO по пласту C_{1vb+c} составляет (рис. 1 а) 7,06, а по продуктивной толще в целом –19,32 (рис. 1 б). При осреднении данных происходит значительное снижение его значений. Такое отличие объясняется тем, что в продуктивной толще месторождения, представленной отложениями визейского и турнейского

ярусов, встречаются некондиционные прослои пород известняка с низким содержанием CaO и непродуктивные добавки в виде аргиллитов, алевролитов, песчаника. Самые высококачественные известняки встречаются в стратиграфических пластах C₁vb+c, C₁td, C₁tb. Распределение изменчивости качественного показателя MgO – зеркальнообратно изменчивости показателя CaO. Это вызвано зависимостью содержания MgO в толще известняков от интенсивности процессов доломитизации по следующей химической реакции:



При этом Mg²⁺ замещает Ca²⁺ в кристаллической решетке известняка CaCO₃.

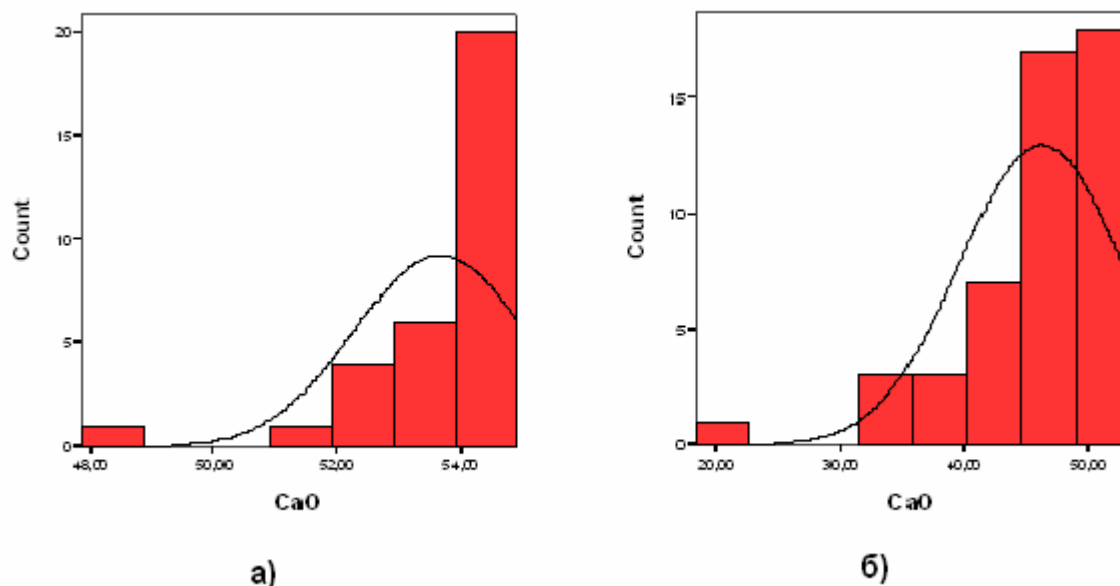


Рис. 1. Гистограмма изменчивости показателя CaO в Родниковском месторождении а) по пласту C₁vb+c; б) по всем слоям продуктивной толщи.

Изменение значения основного показателя качества (CaO+ MgO) на Родниковском месторождении находит объяснение не только в слоистом строении продуктивной толщи, но и в химизме протекающих процессов доломитизации, кремнения, кальцитизации и выщелачивания.

Наличие значимой отрицательной корреляционной связи между показателями CaO и MgO ($r = -0,6$, при уровне значимости $\alpha = 0,05$) объясняется замещением оксида кальция оксидом магния в процессе доломитизации породы. Основная часть доломитизированных пород образовалась на стадии седиментации карбонатных отложений и связана с процессами диагенетической доломитизации. Также имеет место эпигенетическая доломитизация, вызываемая действием подземных вод, обогащенных магнием. Она приурочена к трещиноватым известнякам и карстовым пустотам.

Отрицательная корреляционная связь CaO и SiO₂ ($r = -0,31$) объясняет ухудшение качества, связанное с кремнением известняков. В карбонатных породах, слагающих Родниковское месторождение, в виде сингенетических образований встречаются кремни разной формы. Причиной возникновения кремния в известняках являются химические реакции, происходящие на стадии седиментации известняков в карстовых пустотах, способствующих протеканию процесса кремнения. Карстовые пустоты возникли в результате размыва толщи грунтовыми и поверхностными водами, особенно вблизи тектонических нарушений. Карстовые полости, в зависимости от связи с поверхностью, могут быть заполнены рыхлыми песчано-глинистыми отложениями. Это объясняет наличие значимой отрицательной связи ($r = -0,3$) между CaO и вредными примесями Al₂O₃+Fe₂O₃.

Проведен пространственный анализ распределения качественного показателя CaO (рис. 2).

Значение показателя оксида кальция на востоке распространено крайне неравномерно. Поле карты распределения показателя CaO имеет сложное строение, что подтверждается наличием нескольких минимумов и максимумов, неравномерно размещенных на месторождении. Большую часть карты занимают известняки с процентным содержанием CaO равным 46–48 %,

которое ограничивает применение известняков в металлургической промышленности (табл. 1). В центре описываемой территории наблюдается чередование минимумов и максимумов содержания показателя. Минимальные значения показателя CaO (<35 %) приурочены к южной части Родниковского месторождения, что объясняется прохождением субгоризонтального тектонического разрывного нарушения и выходом на поверхность протерозойского гранитоидного массива. Максимальное значение CaO в центре исследованной территории подтверждается геологическим строением участка. Здесь расположены наиболее качественные известняки, имеющие большую мощность и малую долю примесей вредных компонентов (SiO₂, Al₂O₃+Fe₂O₃, S, P). Отсутствуют тектонические нарушения и карстовые пустоты.

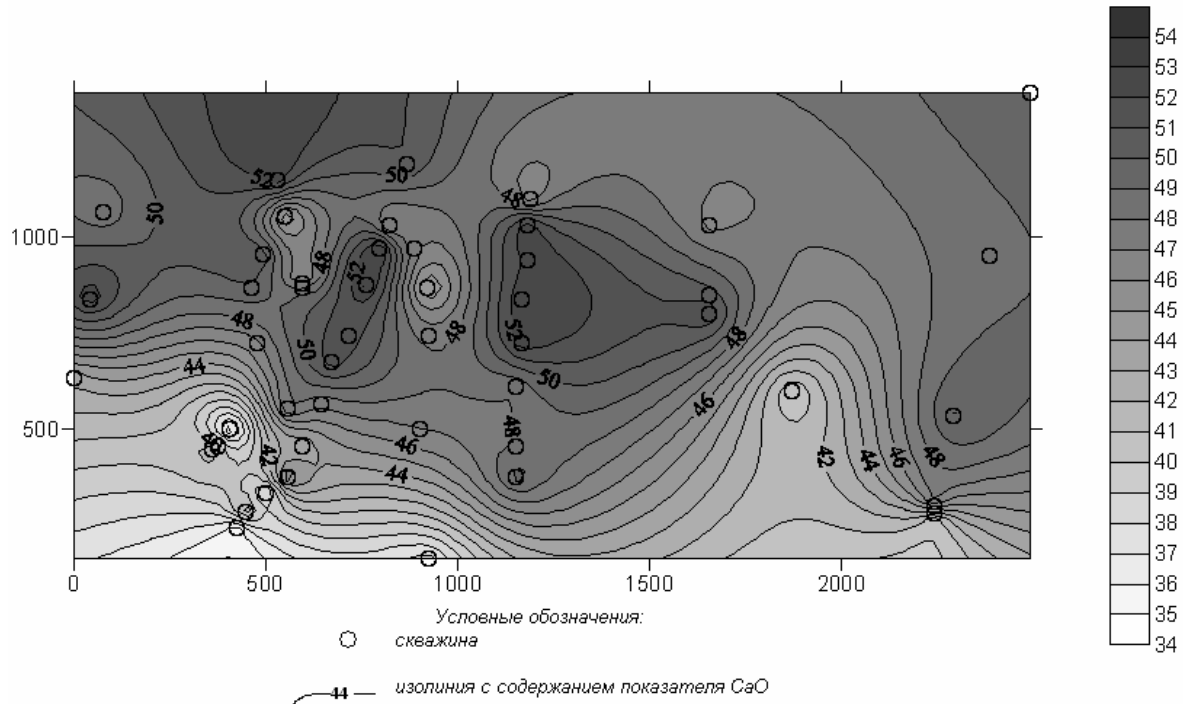


Рис. 2. План распределения показателя CaO в продуктивной толще восточного участка Родниковского месторождения.

Табл. 3. Значения качественных показателей известняков восточной части Родниковского месторождения.

Качественные показатели известняков	Среднее значение показателей качества по всей продуктивной толщ	Средние значения показателей качества по стратиграфическим пластам продуктивной толщ						
		C _{1vd}	C _{1vb+c}	C _{1va}	C _{1td}	C _{1tc}	C _{1tb}	C _{1ta}
CaO	46	50	54	48	52	49	52	43
MgO	3,9	0,9	0,8	1,85	1,7	4,7	10,9	6
SiO ₂	4,33	8,2	1,75	7	2,3	1,8	4	8,1
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	1,22	0,6	0,4	2,0	0,6	0,7	1,7	2,9
S·10 ⁻²	15	8	5	33	8	9	19	33
P·10 ⁻³	5	7	3	4	6	5	6	5

По результатам химического анализа послойно исследовано изменение качества известняков на месторождении. Выявлены слои с повышением и понижением качественных характеристик полезного ископаемого, исследованы причины их изменения. Для разработки рекомендаций по оптимальной отработке известняков Родниковского месторождения проведено сравнение послойного значения каждого из показателей качества с его осредненным на всю мощность толщ значением (табл. 3). Как видно из таблицы, при осреднении значений показателей на всю мощность продуктивной толщ месторождения происходит снижение

качества, в сравнении с послыными значениями: полезные компоненты (CaO и MgO) уменьшаются; вредные – увеличиваются.

Таким образом, установлено, что при отработке продуктивной толщи Родниковского месторождения на всю мощность происходит снижение качества полезного ископаемого (табл. 3). В связи с отличием требований к качеству, для различных отраслей промышленности по отдельным слоям пород месторождения, рекомендуется подсчитывать запасы для каждого конкретного потребителя отдельно. Такая технология селективной отработки толщи обоснована для месторождений нерудного сырья [7].

Отработку Родниковского месторождения следует проводить послыно с учетом различия строения стратиграфических пластов продуктивной толщи. В этом случае, сорт будет соответствовать техническим условиям определенной промышленности. Известняки возраста C_{1vb+c} соответствуют техническим условиям для доменного, металлургического, сталеплавильного производства. Известняки C_{1td} могут использоваться в качестве сырого материала для металлургии. Породы возраста C_{1vd} , C_{1tc} , C_{1tb} могут применяться в сталеплавильной, ферросплавной промышленности, производстве строительной извести и цемента.

Библиографический список

1. Ляхов, Г. М. Нерудные ископаемые – известняки, глины, обломочные горные породы./ Науч. ред. Г. М. Ляхов, Н. Д. Рождественский; Бюро технической информации.– М., 1948.– 116 с.
2. Салов, И. Н. Известняки Смоленской области./ Науч. ред. И. Н. Салов. – Смоленская область, 1952. – 56с.
3. Митинский, А. В. Флюс, в металлургии [Электронный ресурс]: Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург, 1890—1907 – Режим доступа: http://ru.wikisource.org/wiki/ЭСБЕ/Флюс_в_металлургии.. – Загл. с экрана.
4. Постникова, И. Е. Методы изучения карбонатных формаций платформенных областей./ Науч. ред. В. А. Крыжановский, И. Е. Постникова – М., 1988, – 205 с.
5. Михайлов, В. А. [Электронный ресурс]: электрон. ст. (1 файл 115,51 Кб) / В. А. Михайлов, М. М. Курило, Н. Ю. Галкина. // Определение зависимости между рентабельностью горнодобывающих предприятий и технико-экономическими характеристиками отечественных месторождений флюсового карбонатного сырья. – 2009. – Загл. с титул. экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. – http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/znpigns/2008_16/Mykhailov.pdf
6. Блоха Н. Т. Карбонатные породы производства строительной извести./ Науч. ред. В. С. Марков, Н. А. Быховер, Н. А. Хрущов, Н. Т. Блоха, В. И. Бирюкова, М. Б. Григорович, В. М. Гаврилова, В. И. Кольбах, Н. Д. Меркурьев, Н. И. Мирочников; М-во геол. СССР, АН СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т экономики минер. сырья и геол.-развед. работ.– М.: Недра, 1980. – 52 с.
7. Волкова Т. П. Методика геолого-технологического картирования месторождений каолинов./ Т. П. Волкова, А. С. Вершинин // Горный журнал. Известия 1393.6, 1993. - № 4. – С. 12-18.

© Рогаченко А. М., Волкова Т. П., 2011.

Анотація

Розглянуте застосування вапняку в різних галузях промисловості. Особлива увага приділена металургії, де вапняк використовується як флюс. Головною проблемою в цій області є зменшення сировинної бази якісного вапняку для конверторного виробництва. Досліджений розподіл якості вапняків Родниківського родовища Донецької області. Встановлені причини зниження їх якості відповідно до технічних вимог промисловості. Зроблені рекомендації щодо подальшого пошарового відробітка Родниківського родовища флюсових вапняків.

Ключові слова: вапняк, металургічна промисловість, флюси, якість, Родниківське родовище, статистична обробка, пошаровий відробіток.

Abstract

It's examined an application of the limestone in different branches of industries. Much prominence is given to the metallurgy, where limestone is used as a flux. The main problem in this area is the reduction of a raw-material base of qualitative limestone for the converter production. It's investigated a distribution of limestone quality of Rodnikovskoje deposit of Donetsk region. There were established the factors, decreasing their quality, according to the industry technical requirements. Recommendations are done on a further bench working of Rodnikovskoje deposit.

Keywords: limestone, metallurgy, flux, quality, Rodnikovskoje deposit, statistical treatment, bench working..