

УДК 622.3:502.17

**Е. А. ЕРМОЛОВИЧ, И. А. ШОК** (НИУ «БелГУ»)  
**К. А. ИЗМЕСТЬЕВ** (ООО НТЦ «НОВОТЭК»)  
**О. В. ЕРМОЛОВИЧ** (ООО «ГеоСтройМониторинг БелГУ»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛЕЖАЛЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ И СОЗДАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ ЗАКЛАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ\*



**Е. А. ЕРМОЛОВИЧ,**  
профессор,  
д-р техн. наук



**К. А. ИЗМЕСТЬЕВ,**  
главный специалист,  
канд. техн. наук



**О. В. ЕРМОЛОВИЧ,**  
инженер-экономист



**И. А. ШОК,**  
доцент,  
канд. техн. наук

Ежегодно масса отходов в хвостохранилищах горных предприятий КМА увеличивается на 70 млн т. В настоящее время только текущие хвосты обогащения комбината «КМАруда» складываются в подземном выработанном пространстве, а остальные накопленные в хвостохранилищах отходы по-прежнему не используются.

Учитывая, что 60–90 % запасов эксплуатируемых месторождений КМА подлежат отработке комбинированным или подземным способом [1], в перспективе представляется целесообразным в качестве компонента закладочных смесей вводить лежалые хвосты обогащения. Вместе с тем следует учитывать, что в результате хранения их физико-химические свойства претерпели значительные изменения, поэтому для эффективного использования лежалых хвостов вышеуказанным способом необходимо их предварительное исследование.

Методами лазерной дифракции установлено, что в состав лежалых хвостов обогащения железистых кварцитов, помимо магнетита, гематита, кварца, доломита, входят суглинки, характеризующиеся высокой концентрацией поверхностных активных

Приведены результаты исследования физико-химических свойств лежалых отходов обогащения железистых кварцитов КМА. Предложены составы бесцементного и малоцементного закладочных композитов с пределом прочности при сжатии 5,5–7 МПа. Указаны условия и параметры технологического процесса подготовки лежалых отходов обогащения и других техногенных отходов к использованию в составе бесцементного закладочного композита.

**Ключевые слова:** Курская магнитная аномалия, закладка выработанного пространства, лежалые отходы обогащения железистых кварцитов, химическое картирование, активные центры Бренстеда и Льюиса.

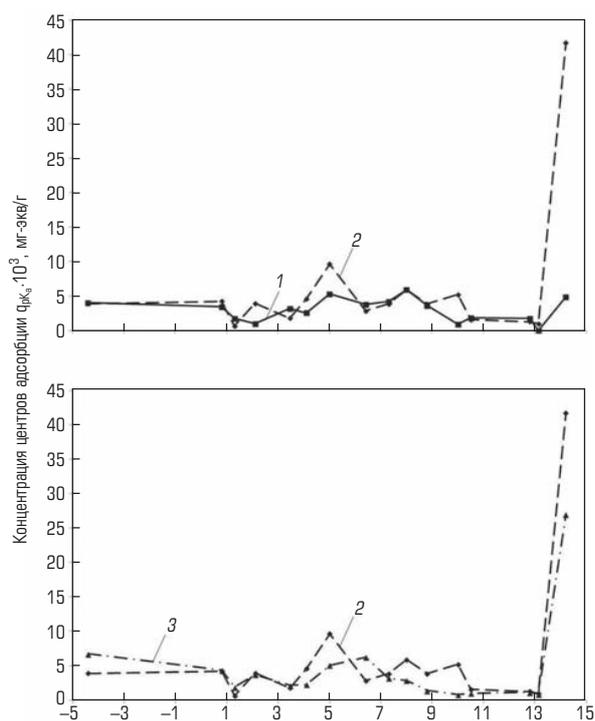
**DOI:** <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.05.13>

центров [2]. В сравнении с текущими хвостами и природным песком Большемаячкинского месторождения, который применяется в качестве компонента закладочной смеси на Яковлевском руднике, на поверхности лежалых отходов установлено повышенное содержание активных центров (оснований по Льюису и кислот по Бренстеду), влияющих на гидратационную активность ( $pK_a$  от –4 до 7), а также позволяющих (по сравнению с природным песком) получить закладочные композиты более высокой механической прочности [3]; основных центров по Бренстеду, влияющих на нормальную плотность цементного теста ( $pK_a$  от 7 до 13), и кислотных центров по Льюису, отвечающих за структурообразование на ранней стадии твердения и пластическую прочность ( $pK_a > 13$ ) (рис. 1).

Химическое картирование поверхности лежалых отходов железистых кварцитов методом сканирующей электронной микроскопии показало, что распределение химических элементов по поверхности неравномерно вследствие несовершенства применяемых ранее схем измельчения (рис. 2). Это связано с большим размером частиц и недостаточным раскрытием минеральных сростков, и носит преимущественно очаговое распространение.

Для увеличения равномерности и однородности распределения элементов и, соответственно, повышения их активности целесообразно дополнительное измельчение складированных

\* Исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием НИУ «БелГУ» «Диагностика структуры и свойств наноматериалов».



**Рис. 1. Сравнение концентрации центров адсорбции природного песка Большемайякинского месторождения (1), лежалых отходов (2), текущих хвостов обогащения (3)**

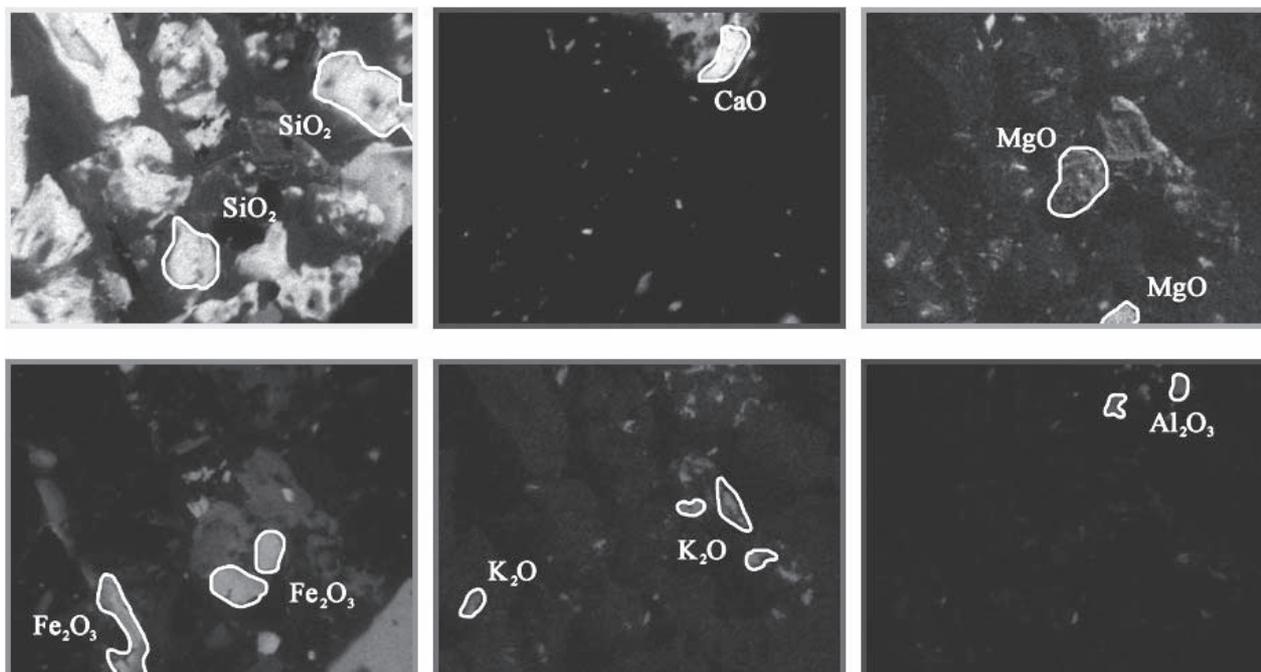
отходов. В этом случае лежалые хвосты можно будет вводить в закладочные композиты не только в качестве заполнителя, но и как компонент комплексного вяжущего, что позволит экономить традиционные вяжущие материалы.

На основе результатов исследований разработаны составы бесцементного\*\* [4] и малоцементного твердеющих закладочных композитов, которые позволяют утилизировать лежалые отходы обогащения и попутно лежалые конвертерный шлак и доменный гранулированный шлак (см. таблицу).

Естественная влажность лежалых отходов — 8–15 %, что позволяет обходиться без их сгущения и предварительной сушки. Условия и параметры технологического процесса подготовки лежалых хвостов и других техногенных отходов к использованию в составе бесцементного закладочного композита приведены ниже.

Требуемое количество воды, л/т	220
Сушка материалов	Не требуется
Совместный помол	Требуется
Способ помола вяжущего	Мокрый
Степень измельчения вяжущего, мкм	До 30

Использование предлагаемых композитов для закладки выработанного пространства значительно улучшит экологическую обстановку в районе горных и металлургических предприятий КМА.



**Рис. 2. Химическое картирование поверхности лежалых отходов обогащения железистых кварцитов**

\*\* Разработанный бесцементный композит в составе коллективной экспозиции закладочных материалов награжден серебряной медалью на Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2013» (Прим. — авт.).

**Состав закладочных материалов на основе лежалых отходов обогащения железистых кварцитов КМА и других техногенных отходов**

Состав композита	Количество компонентов, %	Расход при изготовлении смеси, %	Предел прочности на сжатие, МПа	Объем утилизируемых отходов на сухое вещество, %
<i>Бесцементный</i>				
<b>Вяжущее</b> совместно молотые: доменный шлак лежалые отходы обогащения суперпластификатор СП-1	49,7 49,7 0,6	22,65	7	85
<b>Заполнитель</b> лежалые отходы обогащения	100	55,35		
<b>Вода</b>	100	22		
<i>Малоцементный</i>				
<b>Вяжущее</b> портландцемент суперпластификатор СП-1	99,3 07	8,08	5,5	89,56
<b>Заполнитель</b> лежалые отходы обогащения лежалый конвертерный шлак	81,7 18,3	69,64		
<b>Вода</b>	100	22,58		

*Библиографический список*

1. Лейзерович С. Г., Помельников И. И., Сидорчук В. В., Томаев В. К. Ресурсовоспроизводящая безотходная геотехнология комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии / под ред. Д. Р. Каплунова. — М. : Горная книга, 2012. — 547 с.
2. Нечипоренко А. П., Кудряшова А. И. Функция кислотности поверхности твердых оксидов // Известия СПбГУНИИПТ. 2007. № 3. С. 14–24.
3. Шангина Н. Н. Прогнозирование физико-механических характеристик бетонов с учетом донорно-акцепторных свойств поверхности наполнителей и заполнителей : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — СПб., 1998. — 29 с.
4. Пат. RU 2455493 С1. «Твердеющая закладочная смесь» / Е. А. Ермолович, О. В. Ермолович, А. В. Ермолович, К. А. Измestьев, А. А. Филимонов. **ИЖ**

*Ермолович Елена Ахмедовна,  
e-mail: ermolovich@bsu.edu.ru  
Измestьев Константин Александрович,  
e-mail: izmestiyev\_k@mail.ru  
Ермолович Олег Вячеславович,  
e-mail: oleg.ermolovich@mail.ru  
Шок Ирина Ахмедовна,  
e-mail: schok@bsu.edu.ru*

«GORNYY ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2015, № 5, pp. 63–66

<b>Title</b>	<b>Analysis of properties of old ferruginous quartzite tailings and production of backfilling materials</b>
<b>DOI</b>	<b><a href="http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.05.13">http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.05.13</a></b>
<b>Author 1</b>	Name & Surname: <b>Ermolovich E. A.</b>
	Company: <b>Belgorod National Research University (Belgorod, Russia)</b>
	Work Position: <b>Professor, Applied Geology and Mining Department</b>
	Scientific Degree: <b>Doctor of Engineering Sciences</b>
	Contacts: <b>ermolovich@bsu.edu.ru</b>
<b>Author 2</b>	Name & Surname: <b>Izmestiev K. A.</b>
	Company: <b>NOVOTEK LTD (Belgorod, Russia)</b>
	Work Position: <b>Chief Specialist</b>
	Scientific Degree: <b>Candidate of Engineering Sciences</b>
<b>Author 3</b>	Name & Surname: <b>Ermolovich O. V.</b>
	Company: <b>GeoStroyMonitoring BelGU LTD (Belgorod, Russia)</b>
	Work Position: <b>Engineer-Economist</b>

Author 4	Name & Surname: <b>Shok I. A.</b>
	Company: <b>Belgorod National Research University (Belgorod, Russia)</b>
	Work Position: <b>Assistant Professor</b>
	Scientific Degree: <b>Candidate of Engineering Sciences</b>
Abstract	<p>The authors describe the research findings on the physicochemical properties of old ferruginous quartzite tailings of the Kursk Magnetic Anomaly using the methods of the laser diffraction, spectrophotometry for tracing distribution of adsorption centers and the scanning electron microscopy. It has been found that the surface of old tailings features higher total content of active centers that influence strength, density and hydration capacity of cement as against natural quartz sand, conventionally included in backfilling composites, and the current ferruginous quartzite tailings. The chemical mapping has proved that additional milling is required to improve uniformity and homogeneity of distribution of elements on the surface of tailings as well to intensify their activity as a component of a composite binder. The article offers compositions of cement-free and low-cement backfill composites with the ultimate compression strength of 5.5–7 MPa. The conditions and parameters of the procedure for preparation of old tailings and other kind mineral waste for introduction to the cement-free backfilling composite mixture are described.</p> <p>The research has been implemented using equipment of the Shared Use Center for Diagnostics of Structure and Properties of Nanomaterials at the Belgorod National Research University.</p>
Keywords	Kursk Magnetic Anomaly, backfilling, old ferruginous quartzite tailings, chemical mapping, Bronsted and Lewis acid centers.
References	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Leyzerovich S. G., Pomelnikov I. I., Sidorchuk V. V., Tomaev V. K. <i>Resursovoisproizvodyashchaya bezotkhodnaya geotekhnologiya kompleksnogo osvoeniya mestorozhdeniy Kurskoy magnitnoy anomalii</i> (Resource-reproduction wasteless geotechnology of complex processing of Kursk Magnetic Anomaly deposits). Under the editorship of D. R. Kaplunov. Moscow : Gornaya kniga, 2012. 547 p.</li> <li>2. Nechiporenko A. P., Kudryashova A. I. <i>Funktsiya kislotnosti poverkhnosti tverdykh oksidov</i> (Acidity function of solid oxides' surface). <i>Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologiy = Bulletin of Saint Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering</i>. 2007. No. 3. pp. 14–24.</li> <li>3. Shangina N. N. <i>Prognozirovaniye fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik betonov s uchetom donorno-akseptornykh svoystv poverkhnosti napolniteley i zapolniteley : avtoreferat dissertatsii ... doktora tekhnicheskikh nauk</i> (Forecasting of physical-mathematic characteristics of concretes taking into account donor-acceptor properties of charging and inert materials' surface : thesis of inauguration of Dissertation ... of Doctor of Engineering Sciences). Saint Petersburg, 1998. 29 p.</li> <li>4. Ermolovich E. A., Ermolovich O. V., Ermolovich A. V., Izmestev K. A., Filimonov A. A. <i>Tverdeyushchaya zakladochnaya smes</i> (Solidifying filling mixture). Patent RU 2455493 C1.</li> </ol>

## Издательский дом «Руда и Металлы»

**WWW.RUDMET.RU**

Москва, Ленинский проспект, д. 6, корп. 1; тел.: (495) 955-01-23; эл. почта: rim@rudmet.ru



Реклама

горное дело · цветная металлургия · черная металлургия · обогащение руд