

**Б.С. Баталин, М.Ф. Гайдай**

**B.S. Batalin, M.F. Gaidai**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm National Research Polytechnic University

## **ПРИМЕНЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОТХОДОВ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

### **APPLICATION OF WASTE OF THE COAL INDUSTRY IN CONSTRUCTION**

Описаны экологические проблемы угледобывающих районов. Рассмотрены существующие способы использования отходов угледобычи в промышленности. Высказана и доказана гипотеза о возможности переработки данных отходов в строительную керамику путем высокотемпературных технологических процессов.

**Ключевые слова:** терриконики, керамика, аглопорит, обжиг, кирпич.

The environmental problems of coal-mining areas are described. Existing ways of use of a waste of coal mining in the industry are considered. The hypothesis about possibility of processing of this waste in construction ceramics by a way of high-temperature technological processes is stated and proved.

**Keywords:** waste of coal mining, ceramics, agloporit, stoving, brick.

Серьезной экологической проблемой всех угледобывающих районов являются горелые (красные) и негорелые (черные) отвалы угольных шахт (терриконики). Кизеловский район Пермского края не исключение. Добыча угля в Кизеловском угольном бассейне велась с 1797 г. В 1960 г. был достигнут максимум добычи (12 млн т), после чего Кизеловский угольный бассейн начал приходить в упадок – в 1980 году добыча составила около 6 млн т, в 1990 г. – 3,2 млн т. Основной причиной сокращения добычи стала высокая себестоимость угля из-за сложных горно-геологических условий и невозможности разработки месторождений открытым способом из-за большой глубины залегания угленосных пластов. Окончательно добыча угля была прекращена в 2000 г. Угледобывающая промышленность была основой экономики данного региона, и после закрытия шахт остро встал ряд вопросов:

- необходимость в развитии новых производств,
- создание альтернативных предложений трудоустройства,

- обеспечение безопасности жилищно-промышленного фонда,
- опережающее выполнение защитных природоохранных мероприятий.

В Кизеле и окрестностях существует множество терриконигов, оставшихся после выработки шахт – более 27 млн т. По скромным подсчетам запасов терриконигов для производства керамического кирпича хватит на 150 лет. Породные отвалы в настоящее время рассматриваются как техногенные месторождения. Создание предприятий для комплексной разработки техногенных месторождений позволит решить ряд проблем шахтерских городов и районов: уменьшить нагрузку на местные рынки труда, увеличить объемы средств, поступающих в местные бюджеты, снизить экологическое загрязнение окружающей среды, вернуть в оборот земли, находящиеся в настоящий момент под террикониками, получить ценную продукцию, востребованную на рынке [1–3].

Терриконики являются источниками загрязнения окружающей среды, создающими вокруг себя зоны поражения, в сотни раз превышающие площади, которые сами занимают. Расположение отвалов по берегам рек приводит к их размыванию, особенно в паводковый период. Единственным способом решения данной экологической проблемы является утилизация терриконигов. Терриконики оказывают негативное воздействие на атмосферу, почвы, поверхностные и подземные водные источники. Во влажном воздухе сернистый ангидрид, который выделяется из терриконов, образует серную кислоту, которая вместе с дождями выпадает на землю. Когда в воздух попадает металлическая пыль, то образуются еще более ядовитые соли серной кислоты.

Многие из терриконигов горят, и это способствует значительному изменению состава атмосферного воздуха и выпадению кислотных дождей, так как из одного горящего отвала за сутки в среднем выделяется в атмосферу 4–5 т оксида углерода и от 600 до 1100 кг сернистого ангидрида, а также небольшое количество сероводорода, оксидов азота и других продуктов горения.

Подземные воды при взаимодействии с терриконами сильно обогащаются взвешенными частичками, из слабощелочных становятся кислыми (рН достигает 2–3), из пресных и солоноватых с минерализацией от 0,2 до 3 г/л превращаются в соленые с минерализацией 5–30 г/л и очень жесткие.

Несомненно, терриконики, оставшиеся после выработки шахт, загрязняют огромные территории. Эту проблему необходимо решать. На основе терриконигов различных угольных месторождений могут быть получены:

- щебень, песок из отсевов дробления, щебеночно-песчаные смеси, в том числе для дорожного строительства;
- тяжелые и легкие бетоны, ячеистые и мелкозернистые;

- активированные бесклинкерные тонкомолотые гидравлические вяжущие, обладающие повышенной коррозионной стойкостью;
- зернистые теплоизоляционные материалы (заменители керамзита);
- керамические материалы (изделия строительной, санитарно-технической и художественной керамики, огнеупоры);
- закладочные материалы для выполнения закладочных работ в выработанном шахтном пространстве.

Сейчас во всем мире стоит вопрос повышения комплексности использования не только продукции, но и отходов горнодобывающих отраслей, поэтому решению данной проблемы посвящены работы как отечественных, так и зарубежных ученых.

Часть ученых – Т.А. Хоружая, Б.С. Панов, О.А. Шевченко и др. – решают теоретические аспекты данного вопроса: разрабатывают классификации техногенных месторождений, специфику формирования, оценивают перспективы их разработки [4, 5].

Другие ученые – С.С. Потапов, Н.В. Паршина, Н.Г. Максимович и др. – рассматривают технологии, обеспечивающие комплексность разработки техногенных месторождений, предлагают новые малоотходные и безотходные технологии производства продукции из отходов горной промышленности [6, 7].

Еще одна группа ученых рассматривают последствия реструктуризации отдельных отраслей горной промышленности России и их влияние на социальную и экологическую обстановку в районах размещения горных предприятий – Б.Е. Шенфельд, А.З. Ощепкова, Е.А. Хайрулина и др. [8, 9].

По имеющимся в литературных источниках сведениям, за рубежом проводится большая работа по использованию вторичных минеральных ресурсов и отходов производства. Особенно это касается попутно получаемых пород. Так, основной частью программы по охране окружающей среды в Польше была переработка породы, поступающей из шахт и уже находящейся в отвалах.

Во Франции при сооружении дорог наносится слой толщиной около 30 см из извести, золы и шлака. Для подготовки дорог с движением тяжелого транспорта также применяется смесь извести с зольным уносом или композиция следующего состава: 12 % зольного уноса, 5 % извести и 85 % гравия. А Федеральное управление автострад Франции разрешило заменять в бетоне южного строительства до 30 % цемента с зольным уносом. В качестве основного сырья при получении кирпича используются каменноугольные сланцы.

Исследования, проводимые в Германии, позволили установить возможность получения строительных материалов (кирпича) высокого качества при использовании в качестве основного сырья отходов углеобогатительных фабрик. Менее целесообразным представляется использование в этих целях по-

родных отвалов в связи с их большой неоднородностью. Переработка горной массы по схеме, применявшейся на предприятиях угольной промышленности Польши, обеспечивала получение трех основных продуктов: материала для закладки выработанного пространства, товарного угля и сырья для производства строительных материалов.

Несмотря на обширный материал по рассматриваемому вопросу, проблема комплексной оценки использования техногенных месторождений, в том числе Кизеловского угольного бассейна, в настоящий момент не решена. Экологическая и социально-экономическая обстановка в шахтерских городах является достаточно тяжелой, что обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований [10–12].

В выпускной работе магистра ДонНТУ Н.В. Папуны [13] говорится о возможности переработки терриконов методом агломерации. При этом отходы угледобычи подвергаются дроблению до фракции 0–3 мм и усреднению. Затем они увлажняются водой и перемешиваются в барабанном или шнековом смесителе для получения подготовленной к спеканию шихты. После этого подвергаются агломерации – спеканию на агломерационной машине конвейерного типа. Углерод, содержащийся в породе, служит топливом в процессе спекания материалов. Готовый продукт спекания представляет собой агломерационный «пирог» – аглопорит. В зависимости от дальнейшего его использования он может подвергаться различным видам дробления и измельчения. Аглопорит может быть использован в строительстве дамб и плотин, производстве цемента, производстве шлакоблока и кирпича, строительстве автомобильных и железных дорог, производстве железобетонных изделий, производстве бетона, монолитном домостроении.

На территории России и Украины существует ряд предприятий, занимающихся выпуском щебня из терриконов. По своим химико-механическим свойствам продукция, произведенная из терриконов, отличается от аналогов природного происхождения тем, что природный щебень имеет марки от 800 и выше, а производимый из терриконов – от 400 до 800.

На сегодняшний день одним из наиболее крупных потребителей щебня, песка и щебеночно-песчаных смесей является дорожное строительство. Заполнители из породных масс шахтного отвала пригодны для устройства подстилающих и верхних слоев оснований и покрытий дорог от III до V категории включительно. Так, щебень фракции 10×20, 20×40 имеет марку М 800, а морозостойкость – не менее F100, материал является абсолютно радиационно безопасным. По мере накопления положительного опыта эксплуатации автодорог на материалах из горелых пород предполагается применение таких заполнителей в строительстве и ремонте автодорог более высоких категорий.

Большие возможности открывает химия в создании материалов из расплавленных горных пород и их шахтных отвалов без добавки в шихту соды

или сульфатов натрия. Эта развивающаяся промышленность носит название петругической.

Путем управления структурообразованием изготавливают материалы плотные, ячеистые и волокнистые различного назначения: плотные – для изделий и деталей, подверженных абразивному износу, влиянию кислот и щелочей; ячеистые (в виде щебня и изделий) – для утеплителей, волокнистые – для стойких тканей, арматуры в цементных бетонах, армопластиков.

Расплавляя породы соответствующего состава и выливая затем расплавленную массу в формы с последующей кристаллизацией, можно получить строительные литые изделия любой формы (каменное литье). При этом можно регулировать в некоторых пределах цвет изделия, его плотность и пористость.

Процесс производства литых каменных изделий заключается в следующем. Сырье расплавляют при температуре 1350–1500 °С. После некоторого охлаждения расплавленную массу выливают в формы, изготовленные из огнеупорной глины, формочной земли, или штампуют, трубы изготавливают центрифугированием. В расплавленную массу можно закладывать металлическую арматуру. Отлитые изделия подвергают термической обработке (кристаллизации) при температуре 900–950 °С в течение 1,5–2,5 ч, а затем медленно охлаждают.

В Восточноукраинском государственном университете терриконники угольных шахт рассматривались в качестве источника сырья для металлургии на примере алюминия, так как основным сырьем для его получения являются бокситы, запасы которых в Украине ограничены. Промежуточным продуктом при производстве алюминия является глинозем  $Al_2O_3$ . Известны промышленные кислотные и кислотно-щелочные способы получения глинозема из алюмосиликатов переводом оксида алюминия в растворимую алюминиевую соль минеральной кислоты с отделением нерастворимого остатка и очистной соли от примесей [14]. Алюмосиликаты отличаются высокой распространенностью. Недостаток способа – большой расход серной кислоты, поскольку в своих растворимых (нормальных) солях алюминий как трехвалентный металл связывает три одноосновные кислотные радикала, т.е. для удержания 1 кг  $Al_2O_3$ , в растворе требуется 2,9 кг вспомогательного реагента  $SO_4$ .

Применение пород терриконников позволяет удешевить промышленные кислотные и кислотно-щелочные способы получения глинозема в результате использования естественной серной кислоты, что исключает расходы на кислоту, получаемую промышленным путем. Производство глинозема по предлагаемому способу осуществляется следующим образом. В качестве сырья используется только выветрившаяся отвальная порода старых терриконников. Сернокислая кора выветривания, формирующаяся при окислении дисульфид-

дов (пирита) породы, только на таких отвалах доходит до аллитной фазы развития, характеризующейся отсутствием в продуктах выветривания соединений хлора, щелочных и щелочноземельных оснований, кремнезема силикатов и наличием подвижных полуторных оксидов железа и алюминия. На этой стадии серная кислота, образующаяся при окислении пирита отвальной породы, разрушает чрезвычайно прочную связь оксидов алюминия и кремнезема и переводит оксиды в растворимые соли серной кислоты.

Весьма эффективным способом решения задачи обеспечения нужд малоэтажного строительства низкомарочными цементами является использование местных материалов в сочетании с минеральными и химическими добавками. Имеющийся опыт использования для экономии цемента, зол, шлаков, горелых природных пород, некоторых других отходов промышленности и природных минералов позволяет утверждать, что круг пригодных для этой цели материалов может быть расширен с учетом конкретных местных возможностей. Одним из эффективных источников сырья для производства местных низкомарочных цемента могут быть старые перегоревшие шахтные терриконики.

Основанием для использования горелых горных пород из терриконики является их гидравлическая активность, их способность набухать при взаимодействии с известью с образованием гелеобразных соединений, склонных к последующей кристаллизации и отвердеванию. В основе возникновения активного состояния углистых горелых пород лежит изменение глинистого вещества при нагревании в процессе горения терриконики, сопровождаемое пироактивацией ряда минеральных примесей. Твердение горелых пород с известью и гипсом – комплексный процесс, зависящий не только от химического состава компонентов, но и от степени дисперсности и в значительной степени от физико-химической природы твердых тел, прошедших самообжиг.

Горелые породы, имея достаточную гидравлическую активность, обладают скрытыми гидравлическими свойствами, которые выявляются в смеси с известью, цементом, доменным шлаком и другими вяжущими веществами. Составные части этой смеси должны иметь высокую удельную активность, т.е. быть тонко измельчены, поскольку цементирующие новообразования получаются в результате коллоидно-адсорбционных явлений, обуславливающих схватывание и твердение, ускоряемое гидротермальной обработкой.

Физико-химические процессы, обеспечивающие твердение вяжущих из горелых пород и извести, протекают медленно. Для активизации этого процесса материалы, входящие в состав такого вяжущего, необходимо измельчать. Высокоэффективным помольным агрегатом являются вибромельницы, которые позволяют за короткие промежутки времени (10–15 мин) получать порошки с удельной поверхностью 2500–3500 см<sup>2</sup>/г. Горелые породы

легко поддаются измельчению, так как содержат много микротрещин, образовавшихся за счет термических напряжений при самопроизвольном нерегулируемом обжиге в террикониках. Ослабленная структура горелых пород является причиной их сравнительно легкого измельчения, поэтому их удельную поверхность можно было бы довести до 10–12 тыс. см<sup>2</sup>/г. Однако при очень тонком помоле частицы вяжущего имеют склонность группироваться в комки – флакулы (флакулируют) и вода взаимодействует не с отдельными зернами, а с поверхностями крупных флакул, которые значительно меньше суммы поверхностей составляющих их зерен. Для горелых пород оптимальная удельная поверхность не должна превышать 6000 см<sup>2</sup>/г, так как это может привести к снижению прочности вяжущего [15].

Исследования, проведенные авторами, показали следующее: поскольку в составе этих террикоников содержатся лещадные зерна и зерна слабых пород в количестве, превышающем допуски, установленные нормативными документами [16], использование их в качестве заполнителей нецелесообразно. Активированные вяжущие могут быть получены либо низкомарочные, либо требующие обязательной тепловлажностной обработки при использовании в растворах или бетонах.

Эксперименты показали, что наиболее реальный способ переработки террикоников – применение высокотемпературных технологических процессов. В качестве сырьевого материала для экспериментов были взяты черный, красный терриконик и глина. Материал дробился и измельчался до фракции 0,315, после чего перемешивался в определенных пропорциях. Влажность составляла 7 % сверх массы шихты. Затем формовались образцы-цилиндры под давлением 40 МПа, диаметром и высотой 2 см. После формования образцы обжигались в муфельной печи. Образцы не подвергались сушке, а сразу обжигались в печи, температура которой согласно документации составляет 1050 °С, в течение 8 ч. Испытание образцов велось по ГОСТ 530–2007. Средние значения прочности приведены в таблице.

Как видно из таблицы, четкой зависимости прочности образцов от сырьевого состава нет. Это обуславливается неоднородным составом шихты. Однако можно проследить незначительное увеличение прочности образцов при увеличении процентного содержания глины в составе шихты. Как уже было сказано, глина в составе образцов выполняет роль связующего вещества, данные результаты испытаний являются ожидаемыми и обоснованными. Также повышается прочность при увеличении содержания черного терриконика (рис. 1, 2).

Изменение прочности образцов в зависимости от состава сырьевой массы

Группа образцов	Состав сырьевой массы, мас. %			Прочность, МПа
	Черный терриконик	Красный терриконик	Глина	
1	40	53	7	18
2	40	53	7	19
3	40	53	7	20
				$R_{cp} = 19$
4	40	50	10	18
5	40	50	10	19
6	40	50	10	19
				$R_{cp} = 18,6$
7	40	47	13	21
8	40	47	13	22
9	40	47	13	22
				$R_{cp} = 21,6$
10	43	50	7	21
11	43	50	7	18
12	43	50	7	16
				$R_{cp} = 18,3$
13	43	47	10	20
14	43	47	10	19
15	43	47	10	19
				$R_{cp} = 19,3$
16	43	44	13	22
17	43	44	13	23
18	43	44	13	22
				$R_{cp} = 22,3$
19	46	47	7	18
20	46	47	7	20
21	46	47	7	19
				$R_{cp} = 19$
22	46	44	10	21
23	46	44	10	20
24	46	44	10	20
				$R_{cp} = 20,3$
25	46	41	13	23
26	46	41	13	22
27	46	41	13	24
				$R_{cp} = 23$



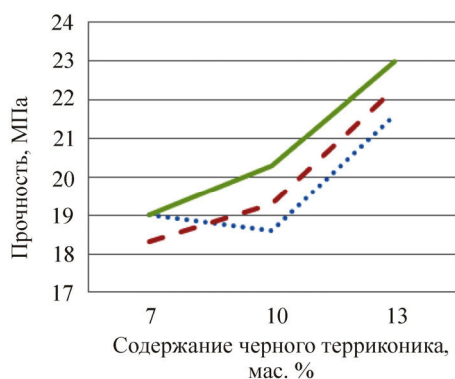


Рис. 1. Зависимость прочности образцов от содержания черного терриконика: ..... 40 мас. %; - - - 43 мас. %; — 46 мас. %;

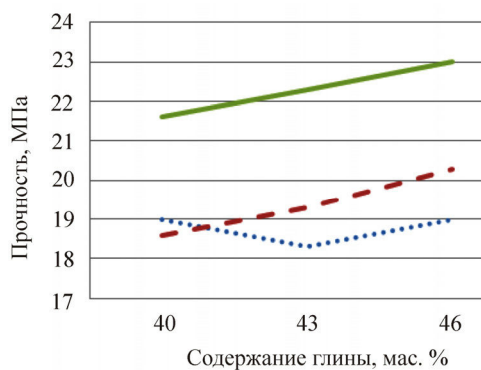


Рис. 2. Зависимость прочности образцов от содержания глины: ..... 7 мас. %; - - - 10 мас. %; — 13 мас. %

Таким образом, было теоретически и экспериментально доказано, что отходы угольной промышленности – терриконика, могут быть использованы для получения керамического кирпича марок 75–200 при использовании сухого прессования.

### Список литературы

1. Максимович Н.Г., Черемных Н.В., Хайрулина Е.А. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна // Географический вестник. – 2006. – № 2. – С. 128–134.
2. Максимович Н.Г. Инновационная составляющая природоохранных технологий на основе геохимических барьеров // Инновационный потенциал естественных наук: в 2 т. Т. II. Экология и рациональное природопользование. Управление инновационной деятельностью: тр. междунар. науч. конф. / Перм. ун-т; Естественнонауч. ин-т. – Пермь, 2006. – С. 54–59.
3. Wagner L.E., Jones M.M. The Attenuation of chemical element in acidic Leachates from coal mineral water by soils // Environ Geol Water Sci. – 1984. – Vol. 6, № 3. – P. 161–170.
4. Хоружая Т.А. Оценка экологической опасности. Обеспечение безопасности. Методы оценки рисков. Мониторинг. – М.: Книга сервис, 2002. – 203 с.
5. К геологии Донбасса / Б.С. Панов [и др.] // Проблемы экологии. – 1993. – № 1. – С. 17–25.
6. Потапов С.С., Паршина Н.В., Максимович Н. Г. Минералого-экологические исследования разработки угольных месторождений. Связь с геологическими условиями и способами добычи (на примере Челябинского и Кизе-

ловского бассейнов) // Восьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова. – Миасс: Имин УрО РАН, 2007. – С. 12–34.

7. Максимович Н.Г. Рост кристаллов другие процессы в гелеобразных средах при химическом загрязнении грунтов // Минералогия техногенеза. – Миасс, 2007. – С. 189–212.

8. Коняев В.П., Крючкова Л.А., Туманова Е.С. Техногенное минеральное сырье России и направление его использования: инф. сб. – М., 1994. – Вып. 1. – 42 с.

9. Опыт проведения комплексных инженерно-экологических изысканий объекта по уничтожению химического оружия / Н.Г. Максимович, Б.Е. Шенфельд, А.З. Ощепкова, Е.А. Хайрулина // Сергеевские чтения. Вып. 8: Материалы годич. сессии науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – М., 2006. – С. 40–44.

10. Баньковская В.М., Максимович Н.Г. Геохимические изменения природной среды в районах размещения отвалов угледобывающей промышленности // География и природные ресурсы. – 1989. – № 2. – С. 42–45.

11. Волков В.Н. Геология и охрана ресурсов ископаемых углей. – Л.: Недра, 1985. – 216 с.

12. Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Андрейчук В.Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1990. – 44 с.

13. Переработка терриконов методом агломерации [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2008/fizmet/papuna/diss/index.htm>.

14. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство глинозема / под ред. А.А. Аграновского. – М.: Металлургия, 1970. – 318 с.

15. Еворенко Г.И. Местные низкомарочные цементы на основе горных пород шахтных терриконов [Электронный ресурс] // Современные строй-материалы: сб. науч.-техн. статей. – URL: [http://www.sovstroyamat.ru/2001\\_09\\_04.php](http://www.sovstroyamat.ru/2001_09_04.php).

16. ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ [Электронный ресурс]. – URL: [www.vsegost.com/Catalog/72/7299.shtml](http://www.vsegost.com/Catalog/72/7299.shtml).

Получено 05.12.2012

**Баталин Борис Семенович** – доктор технических наук, профессор, ПНИПУ, СТФ, e-mail: bobata@list.ru.

**Гайдай Максим Федорович** – магистрант, ПНИПУ, СТФ, ПСК-11-1мо, e-mail: gaidaimaxim@yandex.ru.