

**УДК 691.3**

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕПЕЛА МЕСТОРОЖДЕНИЯ «СТАЛЬНОЕ» В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТРЕПЕЛУ РОДОВИЩА «СТАЛЬНОЕ» В ЯКОСТІ СИРОВИНИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**THE ANALYSIS OF POSSIBILITY OF USE OF BERGMEAL OF THE STEEL FIELD AS RAW MATERIALS BY PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS**

**Семенюк С.Д., д.т.н. (Белорусско-Российский университет, г. Могилев),  
Михальков В.С., к.т.н. (Белорусско-Российский университет, г. Могилев)**

**Семенюк С.Д., д.т.н. (Білорусько-Російській університет, г. Могилев),  
Михальков В.С., к.т.н. (Білорусько-Російській університет, г. Могилев)**

**Semenyuk S.D., Dr.Sci.Tech. (Belarusian-Russian university, Mogilyov),  
Mikhalkov V. S., Cand.Tech.Sci. (Belarusian-Russian university, Mogilyov)**

**Приведены результаты исследования трепела месторождения «Стальное» в качестве сырья производстве строительных материалов**

**Наведені результати досліджень трепела родовища «Стальное» в якості сировини при виробництві будівельних матеріалів**

**Results of research of bergmeal of the Steel field are given as raw materials production of construction materials**

**Ключові слова:**

Трепел, цегла.

Трепел, кирпич.

Bergmeal, цегла.

**Введение.** В Республике Беларусь начато промышленное освоение северной части месторождения карбонатного трепела «Стальное» близ г.п. Хотимска Могилевской области. Трепел, диатомит, опока образуют особую группу кремнеземистых пород. Общим для всех этих пород является то, что они в значительной мере сложены опалом: органогенным, образующим скорлупки диатомей и опикулы кремневых губок, или зернистым

(глобулярным), происхождение которого не связано с органическими остатками. Трепел – порода осадочного происхождения, которая относится к категории невозобновляемых ресурсов, его основа – аморфный кремнезем. Хотимский трепел особый, он полиминеральный: содержит слюды, глины, включает значительное количество микрокристаллического кальцита, поэтому порода месторождения «Стальное» отнесена к известковым трепелам с повышенным содержанием цеолитов. По этим признакам наше местное полезное ископаемое отличается от большинства промышленных месторождений опок и трепелов других стран. Запасы трепела на двух участках месторождения, Северном и Южном, составляют около 70 млн. тонн.

В ходе геологической разведки месторождения «Стальное» было выявлено, что Хотимский трепел – полиминеральное образование, состоящее из 5-ти распределенных друг в друге опал-кристобалита, рентгеноаморфного опала, цеолита, кальцита и монтмориллонита.

Опал-кристобалит,  $\text{SiO}_2$  с примесью  $\text{H}_2\text{O}$  в опаловой части, это структурно неупорядоченная форма низкотемпературного кристобалита. Распределение опал-кристобалита в породе неравномерно и составляет 9,5 – 40 %. Рентгеноаморфный опал ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) дополняет опал-кристобалит в кремнеземной составляющей породы. Суммарное содержание кремнеземных минералов в породе изменяется от 23 % до 53 %. Цеолиты – постоянная составляющая пород месторождения, их содержание колеблется от 12,4 % до 20,2 %, распределены они достаточно равномерно.

Кальцит представлен мельчайшими кристалликами неправильной формы, микроагрегатными скоплениями размером от 1 до 20 микрон. Основная часть зерен кальцита – обломки и остатки скелетов известкового нанопланктона. Кальцит в породе присутствует постоянно, его содержание несколько варьирует: от 15 до 34 %. Глинистые минералы представлены монтмориллонитом с примесью хлорита, содержание от 8 до 20,2 %. Терригенный материал в породе – это, в основном, чешуйки слюд мусковита, глауконита, около 5 %, зерна кварца и полевого шпата, 1 – 2 %.

По своим характеристикам трепел оказался пригоден для производства комплексной кормовой добавки-адсорбента, по физико-химическим свойствам кормовая добавка может иметь двойное действие и соответственно, назначение. Кормовая добавка на основе Хотимского трепела служит источником минеральных элементов, то есть, быть собственно минеральной, и, параллельно, может использоваться как энтеросорбент. Было установлено, что образцы трепела обладают хорошими адсорбционными свойствами: активная площадь составляет  $42,1 \text{ м}^2/\text{г}$ , объем пор –  $0,104633 \text{ см}^3/\text{г}$ , средняя ширина пор –  $9,76488 \text{ нм}$ . Указанные характеристики объясняют многие особенности и свойства трепела, проявляемые *in vitro*, а также поведение трепела как энтеросорбента *in vivo*. Большая пористость и хорошие адсорбционные свойства позволяют

предположить эффект от применения трепела в качестве компонента комбикормов: наполнителя и антиоксиданта для премиксов, основы-носителя биологически активных веществ.

Однако наши исследования направлены на изучение возможности применения трепела в качестве сырья при производстве строительных материалов.

### **Состояние вопроса и задачи исследований.**

#### **1. Клинкерный кирпич на основе карбонатных пород**

Известно, что наличие в глиняном сырье карбонатной составляющей (мел, известь и т.п.) отрицательно сказывается на качестве производимой продукции. На стене из облицовочного кирпича появляются так называемые «высолы» – это признак наличия в сырье небольшого количества карбонатов. При увеличении карбонатной составляющей могут происходить сколы поверхности кирпича или могут появиться трещины, в худшем варианте происходит разрушение изделий. Такие факты хорошо знакомы изготовителям отделочных материалов, использующих керамзит в качестве легкого наполнителя – содержащийся в керамзите кальций вызывает появление сколов на поверхности изделий. Это результат взаимодействия кальция с атмосферным воздухом в присутствии воды, точнее взаимодействие кальция с углекислым газом, содержащимся в атмосфере.

Некоторые специалисты считают, что наличие соединений кальция в сырье – это плохо и с этим нужно бороться; однако существуют технологии, которые позволяют создать на основе кальция минералы относительно стойкие к атмосферным воздействиям – это производство силикатных изделий (производство силикатного кирпича или ячеистого автоклавного бетона). При производстве ячеистого автоклавного бетона кальций связывается с кремнием с образованием высокопрочного минерала «тоберморита». Реакция образования минерала происходит за 12 часов при температуре до 200 °С и давлении 10-12 ати в присутствии водяного пара в автоклаве. В качестве активного кремния используется тонко измельченный кварцевый песок. Продукция получается качественная – при плотности порядка 400-450 кг/м<sup>3</sup> прочность на сжатие составляет более 30 кг/см. Наличие автоклавного оборудования, а также неизбежное измельчение кварцевого песка делают это производство дорогостоящим. Помимо указанных требований для данной технологии существуют ограничения по сырью - кварцевый песок должен быть очень чистым (без глины), почти стекольного качества, да и известь нужна хорошая. Для производства силикатного кирпича проблемы остаются те же, но высоких требований к сырью не предъявляется.

К.т.н. Фашевский А.Б. (компания АФК Гростек, Россия), изучив химический состав трепела месторождения «Стальное», предложил технологию производства различных высокопрочных строительных материалов – аналогов клинкерного кирпича и керамогранита [1].

Кремний в трепеле месторождения «Стальное» находится в активном (аморфном) состоянии. В настоящее время подобное сырье практически не используется для производства строительных материалов. Геологи часто при проведении изысканий относят эти месторождения для сельскохозяйственного назначения – раскисление почв, добавки в корма и т.п. Основное отличие кремния в кварцевом песке от аморфного кремния в трепелах и опоках – соответственно наличие или отсутствие кристаллической решетки. Если кремний в кварцевом песке химически стоек, очень прочен, то аморфный кремний трепелов легко вступает в различные химические реакции и очень легко размалывается до мельчайших фракций.

Цепочка рассуждений Фащевского А.Б. проста – если для повышения активности и увеличения площади поверхности кварцевый песок размалывают с целью получения «тоберморита» при реакции с кальцием в автоклаве, то в трепелах и опоках кремний уже находится в активном (аморфном) виде. Остается определить условия протекания реакции взаимодействия соединений кальция и кремния.

Измельченный трепел смешивается с каустической содой, происходит реакция взаимодействия аморфного кремнезема с каустической содой, полученная шихта определенным образом обрабатывается, формируются изделия в виде кирпича, плитки, блоков и т.п., изделия обжигаются в печи при температуре около 1000 градусов и далее охлаждаются по стандартной технологии.

Характеристики получаемой продукции:

- прочность на сжатие – более  $600 \text{ кг/см}^2$ , что соответствует клинкерным изделиям (из карбонатного трепела месторождения «Стальное» -  $912 \text{ кг/см}^2$ );
- морозостойкость – не менее 300 циклов;
- водопоглощение за сутки – минимальное, до 0%.

Технология не имеет ограничений по форме выпускаемой продукции – от фигурной тротуарной плитки до пустотного облицовочного кирпича, а также не имеет ограничений по размерам выпускаемых изделий – от кирпича или брусчатки, до крупногабаритных блоков (например, фундаментных) или плит. При добавлении минеральных пигментов возможно получение изделий широкой цветовой гаммы.

Длительность технологического процесса от карьера до получения высококачественного кирпича или плитки составляет примерно 12 (двенадцать) часов (время обжига: 2 – 6 часов в зависимости от размеров изделий), что выгодно отличает предлагаемую технологию от традиционной технологии производства клинкерных изделий, где обжиг при гораздо более высоких температурах производится сутками, и это не считая времени на подготовку сырья.

2. Трепельные стеновые блоки на основе карбонатсодержащего трепела месторождения «Стальное» Республики Беларусь

Для проведения исследований по получению трепельных стеновых блоков и использованию в качестве поризующей добавки в производстве керамических поризованных блоков и блоков на основе трепела специалисты ГП «Институт НИИСМ» (г. Минск, Республика Беларусь) отобрали представительные пробы трепела «Стальное», по глубине заложения.

Естественная влажность представленных проб трепела «Стальное» составляет от 16,4% до 35,0%. В воздушно-сухом состоянии трепел представлял собой рыхлую слабосцементированную глинистым веществом кремнистую породу серого цвета землистой структуры. В дальнейшем пробы трепела были объединены по интервалу 4,0-20,0м в среднюю пробу.

Исследование представительной усреднённой пробы трепела проводилось в двух направлениях:

- установление возможности получения трепельных стеновых изделий;
- установление возможности замены выгорающих добавок в глинистой шихте при производстве керамических поризованных блоков.

Проведенные лабораторно-технологические испытания позволили сделать следующие выводы:

- исследуемые образцы проб сырья в естественном состоянии обладают удовлетворительными формовочными свойствами при влажности в интервале  $14 \div 28,5\%$ ;

- по чувствительности к сушке, определяемой по экспресс-методике А.Ф.Чижского и по методике З.А. Носовой, представленные пробы трепела месторождения «Стальное» являются малочувствительными к сушке;

- по степени и температуре спекания исследуемое сырьё относится к группе неспекающегося;

- воздушная линейная усадка образцов изменяется в пределах  $1,6 \div 4,8\%$ ;

- ожидаемая температура обжига составит 1000-1050 °С.

ГП «Институт НИИСМ» были разработаны и внедрены в производство на ряде предприятий, керамические поризованные блоки, где в качестве поризующей добавки используются древесные опилки. Однако, в связи с использованием опилок как топлива в производстве теплоэнергии возник их дефицит. В этой связи получение стеновых блоков с низкой теплопроводностью и заменой опилок на природное сырьё, которое бы в процессе термообработки создавало бы пористую структуру черепка с небольшим объёмным весом является весьма актуальным.

С этой целью были исследованы составы: тугоплавкая глина месторождения «Городное»-средняя проба трепела «Стальное», легкоплавкая глина «Лукомль»- средняя проба трепела «Стальное», а также древесные опилки с различным процентным содержанием компонентов.

Изготовление лабораторных образцов с формовочной влажностью 20-26,9% осуществлялось на экструдере шнековым лабораторном марки МД1-008 при разрежении 0,092-0,095МПа, давлении в головке пресса 0,4-0,6МПа. Общая продолжительность сушки образцов составляет 6 часов, при этом

значения воздушной усадки уменьшаются с увеличением содержания трепела «Стальное» от 9,8% до 8,7% для образцов на основе тугоплавкой глины и от 9,1% до 7,6% – на основе легкоплавкой. С введением трепела «Стальное» снижается чувствительность к сушке, определяемая по ускоренной методике А.Ф. Чижского.

Общая усадка образцов, обожженных при температурах 950°C, 1000°C и 1050°C составляет, соответственно, 7,9-10,5%, 8,0-10,9% и 8,6-11,0%. Ввод трепела «Стальное» приводит к снижению общей усадки для обоих типов глинистого сырья.

Анализируя полученные данные, значения объемной плотности образцов исследуемых составов видно, что с увеличением количества вводимого трепела до 60% объёмная плотность черепка в среднем снижается до 1,700 г/см<sup>3</sup> для образцов на основе глины «Городное» и до 1,590г/см<sup>3</sup> – для глины «Лукомль». При пустотности изделий 45-50% и плотности черепка 1,590г/см<sup>3</sup> может достигаться возможность получения пустотелых блоков с объёмной плотностью 800-850кг/м<sup>3</sup> и высокими теплозащитными свойствами.

Исследование прочностных характеристик показывает закономерность увеличения механической прочности исследуемых образцов, которая достигает максимальных значений при содержании в составе 50% трепела «Стальное», что вероятно обусловлено флюсующим действием СаО. Низкие значения прочности образцов при изгибе на основе глины «Городное» обуславливаются высокой чувствительностью к сушке и наличием дефектов структуры черепка обожженных образцов.

С целью уточнения полученных данных лабораторно-технологических исследований в полузаводских условиях проводился выпуск опытных партий изделий в натуральную величину, как из чистого трепела так и в смеси с глиной «Лукомль».

Учитывая возможное влияние карбонатов, имеющихся в трепеле, на черепок, подготовка сырьевых материалов велась в следующей последовательности. Высушенные пробы трепела первоначально измельчались на молотковой дробилке и усреднялись в одну среднюю пробу. Проба для формовки из чистого трепела увлажнялась из расчета получения формовочной влажности и дважды была переработана на прессе, оборудованном решеткой с ячейками  $\phi$ 10-12 мм.

Глина месторождения «Лукомль» измельчалась на вальцах тонкого помола с зазором между валками 1-3мм, а затем составлялась шихта путем перемешивания глины с порошком средней пробы трепела в соотношении 1:1 и дальнейшей ее переработкой на шнековом прессе, оснащённом решеткой. С целью усреднения по влажности подготовленные массы вылеживались в течение суток.

Формование пустотелых блоков размером (250×120×138)мм для обоих составов осуществлялось на вакуум-прессе RUR-20. При проведении процесса формования контролировалось значение формовочной влажности.

Для половины свежесформованных изделий обоих составов дальнейший технологический процесс сушки и обжига осуществлялся на линии производства лицевого кирпича Минского керамического завода ОАО «Керамин».

Большое содержание карбонатной породы в материале способствует уменьшению интервала спекания, и, как следствие, возрастает опасность возникновения деформации изделий.

Закономерности изменения физико-механических характеристик (прочности, водопоглощения объемной плотности) обожженных изделий составов Т, ТЛ-3 от температуры обжига приведены на рисунках 2, 3.

На основании полученных экспериментальных данных установлена оптимальная температура обжига – 1050°С, для состава при этом скорость подъема температуры – 45°С/ч с выдержкой при максимальной в течение 1 часа, общее время обжига без учета охлаждения составляет 24,3 часа.

Обожженные при данных условиях образцы трепельных блоков и с глиной «Лукомль» при пустотности 52% представлены на рисунках 3.

Исходя из полученных результатов исследований представленных проб трепела месторождения «Стальное» установлена возможность получения трепельных стеновых блоков с пустотностью 52% методом экструзии и соответствующих требованиями СТБ 1719-2007 «Блоки керамические поризованные пустотелые. Технические условия»:

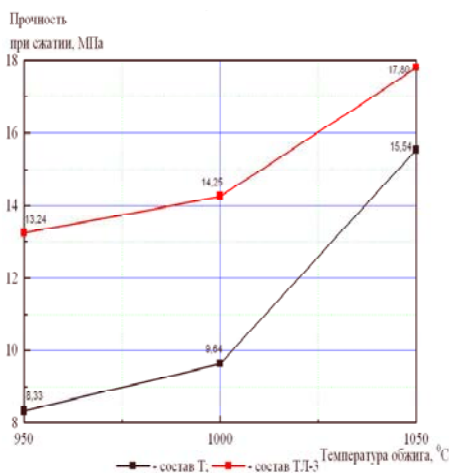


Рис. 2 – Зависимость изменения прочности при сжатии трепельных блоков пустотностью 34% от температуры обжига

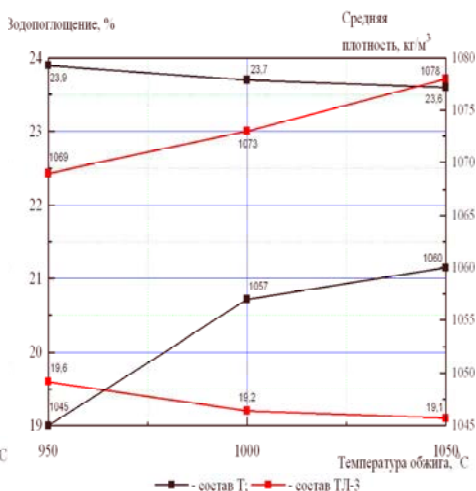
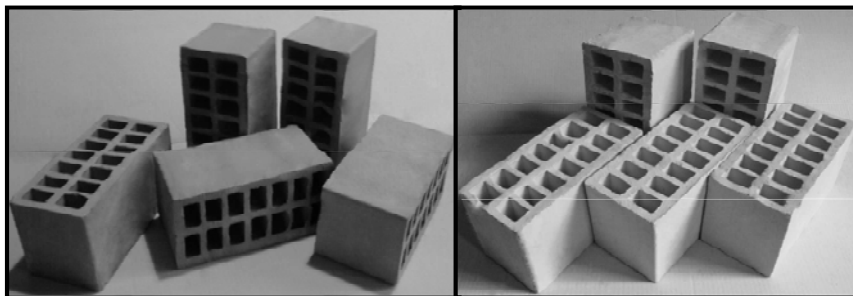


Рис. 3 – Зависимость изменения водопоглощения и объемной плотности трепельных блоков от температуры обжига



а) – состав Т (100% трепел «Стальное»)

б) – состав ТЛ-3 (50% трепел «Стальное»,  
50% глина «Лукомль»)

Рис. 3 – Образцы трепельных стеновых блоков, обожженных при температуре 1050 °С

- состав Т (100% трепел «Стальное») – блок керамический поризованный пустотелый размерами 250×120×138 мм, марки по прочности М50, марки по средней плотности D750, марки по морозостойкости F50 (КПП 250×120×138-50-750-50 СТБ 1719-2007).

А также поризованных пустотелых блоков на основе глин с добавкой трепела:

- состав ТЛ-3 (50% трепел «Стальное», 50% глина «Лукомль») – блок керамический поризованный пустотелый размерами 250×120×138 мм, марки по прочности М100, марки по средней плотности D800, марки по морозостойкости F50 (КПП 250×120×138-100-800-50 СТБ 1719-2007).

Обожженные в условиях Минского керамического завода ОАО «Керамин» образцы блоков обоих составов соответствуют требованиям СТБ 1719-2007.

**Выводы.** Разработка месторождения трепелов «Стальное» позволит организовать в Хотимском районе Могилёвской области производство строительных стеновых экологически чистых и долговечных материалов для строительной отрасли, а так же реализовывать трепел как сырьё для других производств индустрии республики и тем самым заменить привозные сырьевые материалы на местные.

1. [www.afk-intech.ru](http://www.afk-intech.ru). 2. Малиновский Г.Н. Стеновые блоки на основе карбонатсодержащего трепела месторождения Стальное Республики Беларусь/ Малиновский Г.Н., В.Ю.Мелешко, О.А.Сергиевич// Строительные материалы.- М. Изд. 2011.- №12.- С. 12-17.