

## Sources of Mineral Raw Materials for the Production of Building materials of the Republic of Sakha (Yakutia)

### ИСТОЧНИКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Саввинова Мария Евгеньевна

Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677890, Октябрьская 1, Якутск, Россия, канд. техн. наук, науч. сотр. E-mail: [maria-svv@yandex.ru](mailto:maria-svv@yandex.ru)

**Объект исследования:** мелкозернистые бетоны, полученные механоактивацией исходных ингредиентов бетонной смеси.

#### Исходное сырье:

- портландцемент ПЦ 400 ДО производства ОАО ПО «Якутцемент»;
- песок из поймы р. Лена
- цеолит Кемпендяйского месторождения РС(Я);
- глина Ой-Бесского месторождения;
- анортит – нанопорошок, синтезированный в ИХТТИМ СО РАН (г. Новосибирск)
- комплекс противоморозной добавки – нитрит натрия (НН) + ПФМ-НЛК

**Цель:** использование механоактивационных технологий переработки минерального сырья, применяющегося для изготовления бетонов различного назначения, для обеспечения повышенной эксплуатационной прочности и надежности конструкций в условиях Крайнего Севера.

#### Влияние механоактивации исходных компонентов бетонной смеси на структурные свойства мелкозернистого бетона

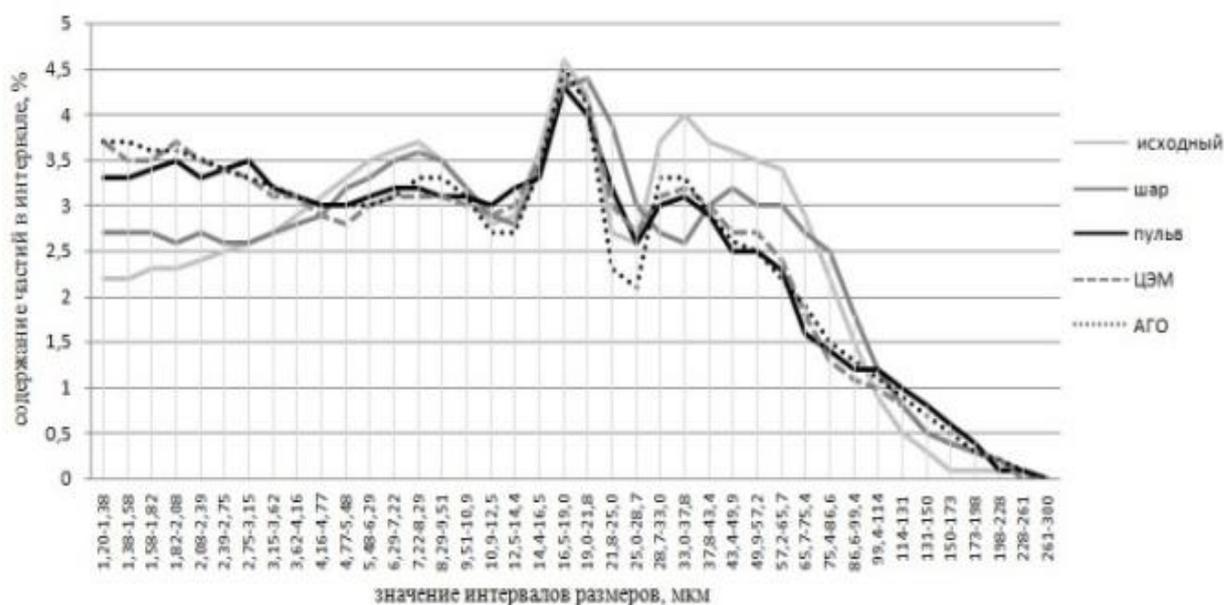


Рис.1. График распределения по размерам частиц цемента, механоактивированного на разнотипных аппаратах

График распределения частиц цемента имеет полифракционный состав, со смещением в сторону меньших значений. Все составы имеют несколько разных пиков содержания частиц и независимо от способа механоактивации один ярко выраженный общий в интервале 15-30 мкм. Механоактивация улучшает гранулометрию лежалого цемента до уровня свежего и даже несколько выше.

В настоящее время установлено, что измельчение цемента до удельной поверхности более чем  $6000 \text{ см}^2/\text{г}$  нерационально, так как при сверхтонком измельчении может произойти уменьшение прочности цементного камня вследствие перекристаллизации гидратных новообразований.

Разные фракции цементного порошка по-разному влияют на прочность цемента при твердении, а также на скорость твердения. В связи с этим необходимо характеризовать цементы не только по удельной поверхности порошка, но и по зерновому составу.

Отсюда можно сделать вывод, что чрезмерное измельчение продукта не всегда целесообразно, так как частички 1—3 мкм и даже 5 мкм быстро гидратируются при затворении цемента водой гидратируются и не участвуют в последующем его твердении.

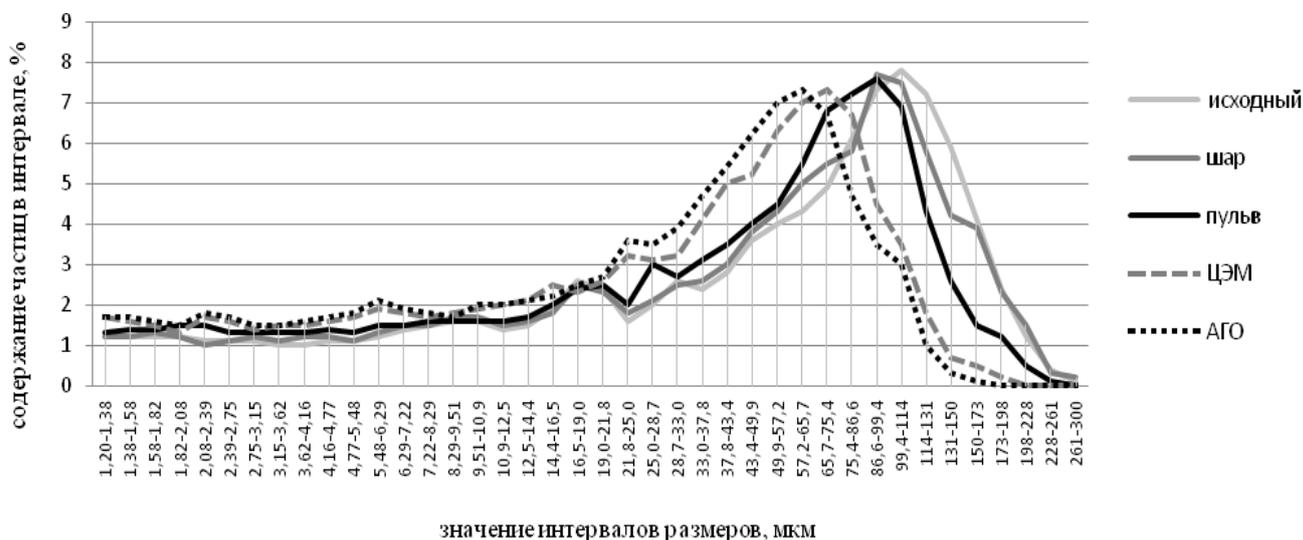


Рис.2. График распределения по размерам частиц песка, механоактивированного на разнотипных аппаратах

Различие в соотношении мелких и крупных частиц, вероятно, связано лишь со скоростью «раскрытия» одних дефектных зон по отношению к другим (рис.2). Наиболее лучшее диспергирование песка наблюдается при активации в планетарной мельнице АГО-2, также как и в случае с активацией цемента значительно уменьшается размер частиц и увеличивается содержание частиц более мелкой фракции (менее 5 мкм). Исследования гранулометрического состава коррелируют с результатами по удельной поверхности, полученными методом БЭТ, и подтверждают преимущество механоактивации в планетарной мельнице АГО-2. Так, удельная поверхность механоактивированного в течение 2 мин в планетарной мельнице АГО-2 песка увеличилась в 2,5 раза по сравнению с исходным песком – 2,299 м<sup>2</sup>/г против 0,886 м<sup>2</sup>/г.

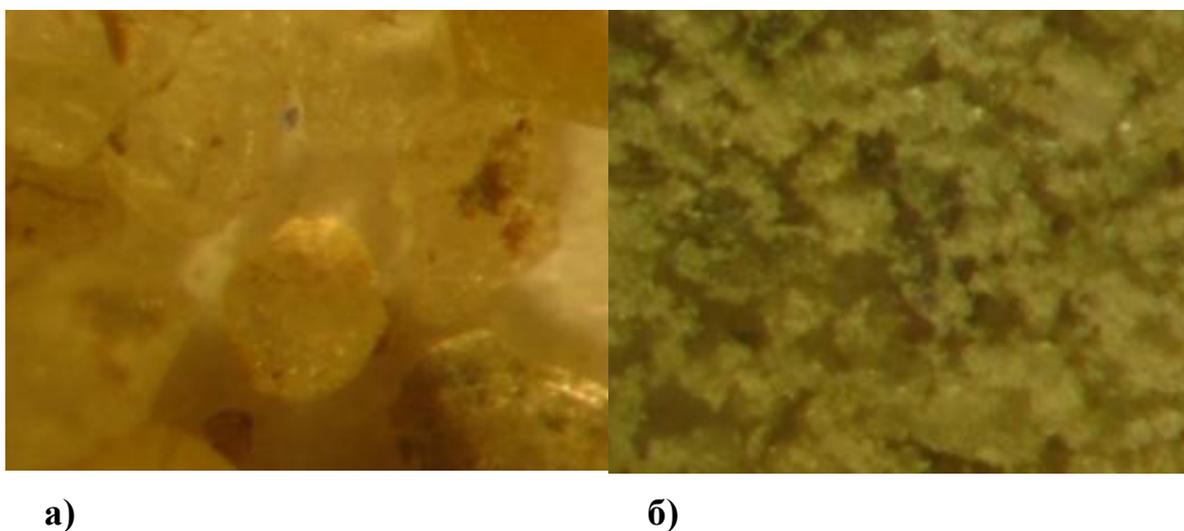


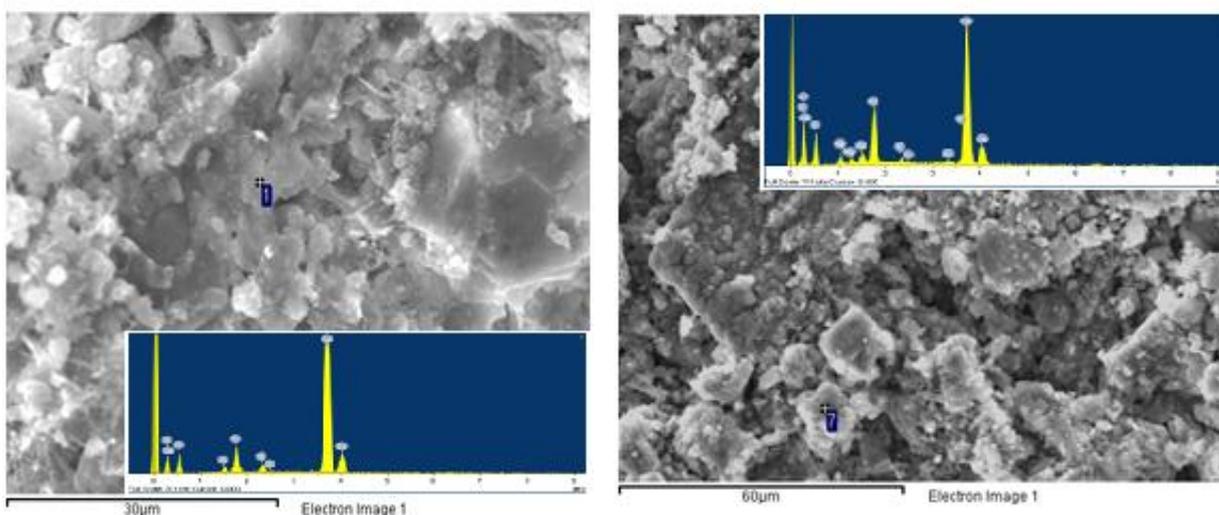
Рис. 3. Зерна речного песка до (а) и после механоактивации (б) х32 кратное увеличение на микроскопе МБС-10)

На рис.3 представлены микрофотографии зерен исходного и активированного в течение 2 мин в планетарной мельнице АГО-2 речного песка. На фотографиях (рис. 3.а, 3.б) хорошо виден характер изменения поверхности песка после механоактивации. Окатанные исходные гранулы

приобрели четкие угловатые очертания. Изменение цвета песка произошло вследствие очистки поверхности зерен от нежелательных образований. Изменился и характер поверхности, вместо блестящей и гладкой, она стала матовой и шероховатой. Кристаллы песка до механоактивации представляли собой окатанные зерна размерами от 10 до 20 мкм, после механоактивации его размеры уменьшились до 5 мкм.

Для определения прочностных характеристик были изготовлены бетонные образцы размером 7x7x7 см, Ц:П = 1:1,3 при В/Ц = 0,4 с разным содержанием (10, 20, 30 и 50 масс.%) песка, активированного в планетарной мельнице АГО-2 в течение 1, 2, 3 и 5 минут. Подвижность бетонной смеси поддерживалась постоянной П2, осадка конуса составляла 8 см.

Готовые бетонные образцы твердели в течение 28 суток в водной среде - 100% увлажнение при температуре воздуха 20°C и в условиях естественной сушки при температуре воздуха 20 ° С и влажности воздуха 50%.



а) б)

Рис. 4 Элементный состав малого участка исходного (а)

и модифицированного комплексной добавкой (б) мелкозернистого бетона

Электронно-микроскопические исследования элементного состава модифицированного бетона показали (рис.4), что атомы кальция равномерно распределены как по всей поверхности, так и в малом участке, что



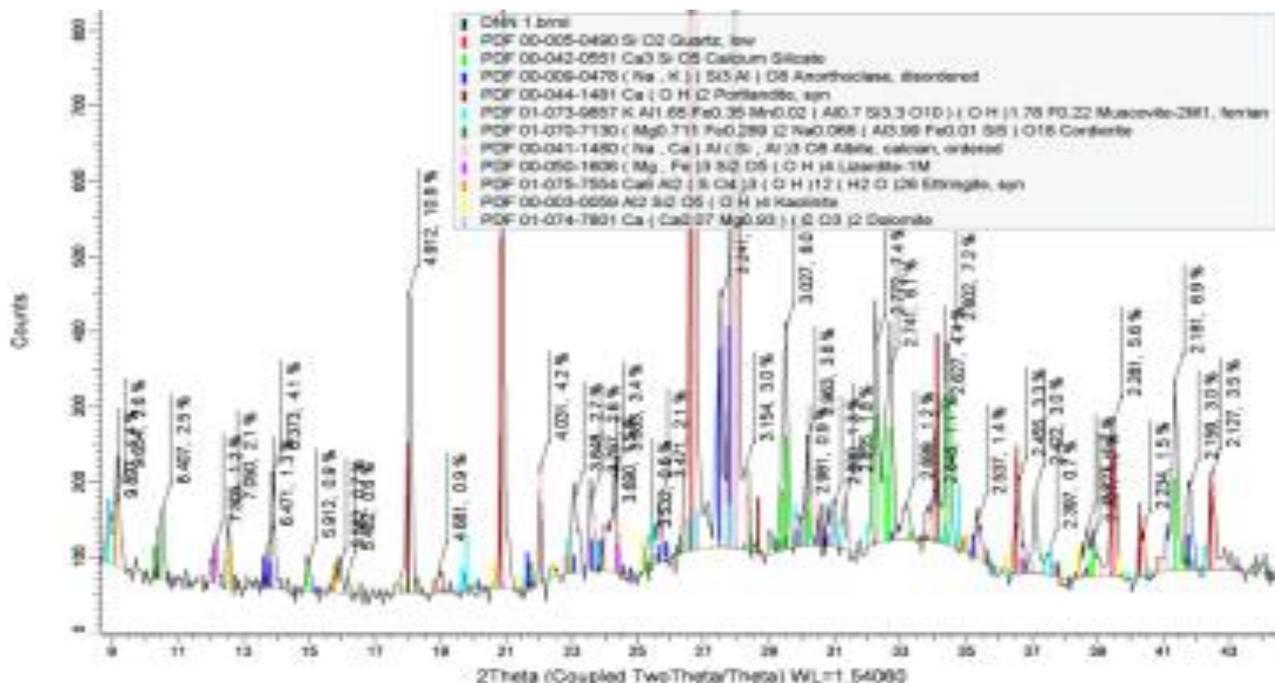


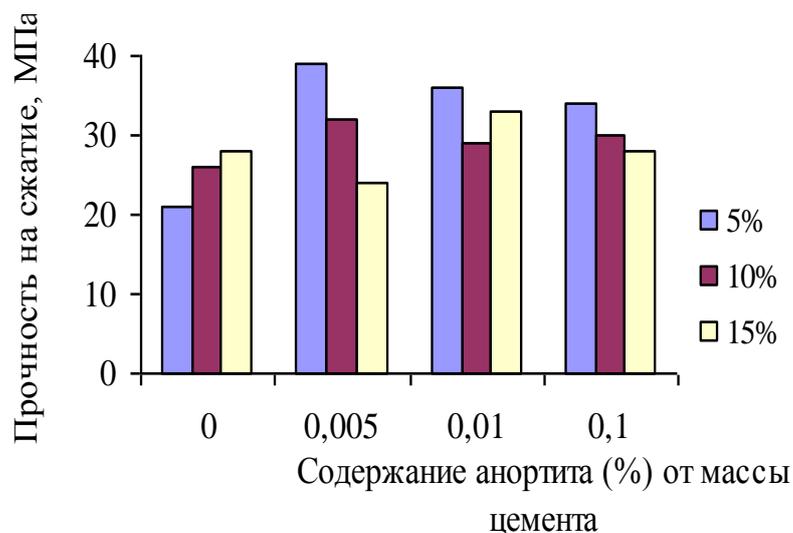
Рис. 6. Рентгенофазовый анализ модифицированных мелкозернистых бетонов, твердевших при отрицательных температурах

Рентгенофазовый анализ контрольной пробы (рис.6) показал наличие традиционных компонентов негидрированного цемента и продуктов его твердения, характерных для бездобавочных цементов и бетонов на его основе, а именно портландита, этtringита, гидросиликатов кальция, алюмосиликатов.

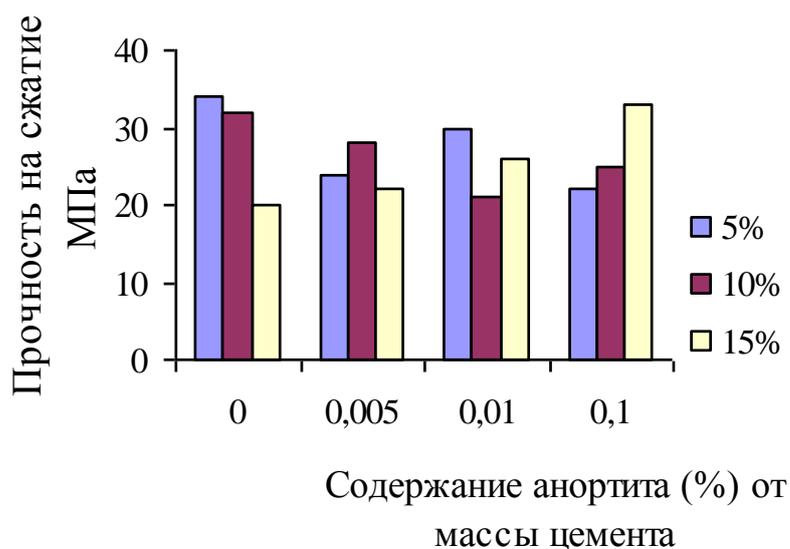
Исследования показали, что при действии низких температур на сформированный цементный камень фазовый состав гидратных образований изменяется незначительно. Основные изменения обусловлены сублимацией льда и превращениями гидратных соединений, например, этtringита ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ).

На рис.7 представлены зависимости прочности бетонов, модифицированных комплексным наполнителем: механоактивированной минеральной добавкой и нанопоршком анортита.

а)



б)



Установлено увеличение прочности при сжатии образцов, модифицированных комплексной добавкой. Причем максимальный эффект достигается при использовании механоактивированной глины - до 56 %. Использование цеолита в смеси с анортитом к положительному эффекту не приводит. Эффективность введения анортита в состав бетона, модифицированного глиной, можно объяснить его химической природой и

оптимальным содержанием кальция, отсутствующего в составе глины, необходимого для ускорения процессов гидратации и твердения бетона.

### **Заключение**

1. Показана высокая эффективность применения механоактивационных технологий для улучшения физико-механических свойств исходного сырья (цемент, песок) и мелкозернистых бетонов на их основе. Установлено, что все использованные в работе механоактивационные аппараты позволяют улучшать свойства цемента, в том числе лежалого, за счет увеличения его удельной поверхности и реакционной способности. Увеличение прочности при сжатии модифицированных механоактивированным речным песком бетонных образцов обусловлено формированием поверхностного слоя на зернах песка, в котором концентрируется «избыточная» энергия, за счет чего повышается его химическая активность при нормальных условиях. Наилучшие результаты получены при механоактивации исходного сырья на планетарной мельнице АГО-2.

2. Установлена эффективность применения механоактивированных добавок минерального происхождения (цеолитов и глин), заключающаяся в улучшении основных эксплуатационных свойств бетонов. Выбор добавок основан на химическом и кристаллическом родстве с цементным вяжущим. Применение механоактивированных цеолита и глины повышает прочность бетонов на 48 и 22 % соответственно.

3. Установлена возможность использования совместной активации части вяжущего и минеральных добавок для изготовления мелкозернистых бетонов с улучшенными прочностными свойствами. Разработаны оптимальные составы мелкозернистых бетонов, включающие механоактивированные минеральные добавки и часть вяжущего, обеспечивающие максимальное увеличение прочности при сжатии образцов.