

УДК 666.942.31

# ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МЕСТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ



А. Д. ЕГОРОВА,  
доцент-исследователь,  
канд. техн. наук,  
eg\_anastasy2004@mail.ru



А. Е. МЕСТНИКОВ,  
зав. кафедрой,  
проф.,  
д-р техн. наук



П. С. АБРАМОВА,  
доцент,  
канд. техн. наук

Северо-Восточный федеральный университет  
им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

## Введение

Северные регионы России (так называемый Крайний Север, далее — Север) занимают практически 1/3 часть территории страны. Из них в промышленном отношении наиболее развита европейская часть Севера, затем по уровню освоения и развития идут северные территории, относящиеся к Западной Сибири. А наименее развитой территорией Севера является его северо-восточная часть, к которой относятся Республика Саха (Якутия) и Чукотский автономный округ.

В настоящее время в связи с глобальным изменением геополитической обстановки Правительство РФ уделяет пристальное внимание северным территориям. Положение дел на Севере постепенно идет к развитию промышленности и жизнедеятельности человека на Севере, это в первую очередь реконструкция и полноценное функционирование морских портов и аэродромов, создание рабочих мест и др., что неизбежно приводит к разрыванию ширококомасштабного строительства больших и малых объектов различного назначения. На сегодня ясно, что Арктику нельзя освоить и развивать вахтовым способом, нужен капитальный подход.

Схема доставки строительных материалов с «материка», в первую очередь цемента, была и остается сезонной и дорогой. Поэтому необходимо развивать промышленность местных строительных материалов с учетом их транспортной доступности и энергетической обеспеченности. Кроме множества полезных ископаемых, например золота, вольфрама, олова, угля и др., северо-восточные регионы обладают огромными запасами минерального сырья для производства строительных материалов.

*Обоснованы возможные пути рационального использования местных минеральных сырьевых ресурсов северо-востока России для производства строительных материалов. Представлены результаты исследований кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций СВФУ.*

**Ключевые слова:** арктические районы, механохимическая активация, минеральное сырье, активные минеральные добавки, пластификаторы, портландцемент, сухие строительные смеси.

**DOI:** dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.13

Рациональное использование этих ресурсов позволит обеспечить строительный рынок местными материалами низкой себестоимости, что может решить не только проблему обеспечения жизнедеятельности человека на Севере, но и важнейшую стратегическую задачу страны по хозяйственному освоению арктических территорий.

## Обоснование возможности использования минерального сырья северных территорий для производства строительных материалов

Северные территории Республики Саха (Якутия) располагают значительными источниками минерального сырья для производства строительных материалов. Основными видами минерально-сырьевых ресурсов являются [1]:

- карбонатное сырье для производства извести (месторождения Бутовое Анабарского района; Булунканское Булунского района; Депутатское Усть-Янского района; проявления Известковое на левом берегу р. Индигирка в 10 км от пос. Ожогоино; Догодинское в 180 км к юго-востоку от пос. Батагай; Таба-Бастахское в 110 км к северо-западу от пос. Тикси; Тиряхтахское в 120–140 км к востоку от пос. Батагай);
- строительные камни, пригодные для производства бутового камня и щебня (месторождения Снегирь Усть-Янского района; Хара-Тааское Аллаиховского района; Петушки Нижнеколымского района);
- строительный песок для производства бетона, силикатных изделий, штукатурно-кладочных растворов (месторождения Иргичанское Усть-Янского района, Петушки);
- песчано-гравийные смеси (месторождения Иргичанское Усть-Янского района; Ул. Кюгерийское, Сергеевское Усть-Янского района);

- глины, суглинки кирпичные (месторождения Снегирь, Филиповка, Петушки, Родинка, Конзабойское Нижнеколымского района; Батагайское и Березовое Верхоянского района;
- сырье для производства легких заполнителей из керамзита (месторождения Верхнеколымское вблизи пос. Зырянка; Похвальное на правом берегу р. Индигирка в 140 км от пос. Чокурдах; Родинка вблизи пос. Черский; Снегирь вблизи пос. Депутатский; участки Березовый вблизи пос. Эсе-Хая; № 1 и 3 вблизи пос. Тикси; проявления Известковое, Сохатинское в 70 км к юго-востоку от пос. Депутатский; Таба-Бастахское, Тиряхтяхское.

Помимо природных минерально-сырьевых ресурсов на Севере имеются техногенные минеральные объекты (отходы от добычи полезных ископаемых, шлаковые отвалы тепловых электростанций и др.), пригодные для производства строительных материалов.

Строительство в Восточной Арктике велось практически полностью из привозных материалов. Основу жилищного строительства по канадской технологии составляли малоэтажные каркасные здания, которые в советское время признавались временным жильем и строились в основном для вахтовых поселков нефтяников и газовиков. Капитальные каменные дома возводили в советское время из крупных блоков и панелей из керамзитобетона (пос. Тикси, города Певек и Анадырь); в данное время эти некогда добротные здания устарели морально и физически, а их ограждающие конструкции не отвечают современным требованиям по тепловой защите зданий (СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий). Для производства керамзитобетона основные компоненты привозили с «материка» водным транспортом — это цемент и керамзит.

Проблема состояла в том, что керамзит — дорогостоящий теплоизоляционный насыпной материал при перевозке занимал большой объем и приводил к немалым транспортным расходам. Цемент же доставляли в плановом порядке в таких больших объемах, что основная его часть не использовалась в срок в короткий летний период и на следующий год становилась не пригодной к применению. С годами образовывались целые горы из мешков с затвердевшим (лежалым) цементом.

Исходя из изложенного, основной целью данного исследования стала разработка наиболее востребованного вяжущего вещества — портландцемента из привозного клинкера с активными минеральными добавками из местного сырья для районов широкомасштабного строительства в условиях Восточной Арктики.

В настоящее время портландцемент является одним из широко используемых гидравлических вяжущих. Существенный недостаток его состоит в потере активности при длительном хранении. В процессе перевозки в отдаленные районы Якутии водным транспортом и последующего складирования происходит частичная гидратация и слеживаемость цемента. Общеизвестно, что чем дольше цемент лежит на складах, тем более глубокие его слои теряют активность вследствие гидролиза и гидратации составляющих их минералов по широко известным реакциям. Наряду с этим многочисленными исследованиями российских ученых было установлено, что из лежалых клинкеров можно получать цементы с высокими свойствами, в отличие от лежалых цементов, поверхность зе-

рен которых значительно превышает поверхность зерен клинкера. Портландцементный клинкер представляет собой спекшиеся гранулы, что позволяет его длительно хранить без потери гидравлических свойств в суровых климатических условиях Севера.

Эффективным и энергосберегающим способом производства цемента, получившим распространение во всем мире, признан совместный помол цементного клинкера с вводимыми минеральными добавками в виде пуццолановых пород, зол и шлаков. В России разработана инновационная технология производства наноцементов — механохимически активированных сухих смесей СМС-90, СМС-75 и СМС-50 с содержанием клинкера, соответственно, 90, 75 и 50 % [2, 3], однако она не нашла широкомасштабного освоения. В связи с изложенным, весьма перспективным представляется производство высококачественного цемента в отдаленных районах северных (арктических) регионов страны с использованием привозного портландцементного клинкера и совместным его помолом с местными активными минеральными добавками (кварцевым песком, туфами, шлаками и др.).

В результате механохимической активации выбранных исходных компонентов появляется возможность получения высококачественного быстротвердеющего цемента (БТЦ) и сухих строительных смесей (ССС) различного назначения на месте строительства в труднодоступных районах Севера. Эти продукты позволяют производить основные строительные материалы (железобетон, легкие и ячеистые бетоны, изоляционные и отделочные материалы) из местного сырья и существенно снизить стоимость строительства за счет значительного сокращения энергоемкости производства и транспортных расходов. Массовое применение СССР стало общемировой тенденцией развития строительного дела на пороге XXI века. Вместо традиционной смеси песка с цементом или известью, приготовленной прямо на месте проведения работ, строители предпочитают готовые смеси, произведенные в промышленных условиях. Западные специалисты подсчитали, что использование таких материалов повышает эффективность строительных и отделочных работ на 200–500 %, в зависимости от степени их механизации.

Производство и применение БТЦ, аналогичного по свойствам портландцементу марки ЦЕМ I 42,5Б, выпускаемому предприятием «Якутцемент» (100 км от г. Якутска), может быть одним из весьма актуальных решений в рамках программы создания доступного жилья для отдаленных районов Крайнего Севера со слабой инфраструктурой. Для реализации технологии производства БТЦ и конкурентоспособных строительных материалов следует в промышленных (районных) центрах организовать региональные помольные цеха мощностью 50–350 тыс. т цемента в год. С учетом экономии на транспортировании цемента окупаемость капитальных вложений в такие цеха составит, в зависимости от объема производства, от двух до четырех лет.

Для подтверждения эффективности создания БТЦ на основе местного сырья авторами статьи осуществлен совместный помол (механическая активация) портландцементного клинкера ОАО «Якутцемент» в смеси с карьерным (кварцевым) песком Кильдямского месторождения, цеолитсодержащей породой месторожде-

ния Хонгуруу (цеолитом Хонгуруу) и гипсовым камнем Олёкминского месторождения. В испытаниях минеральные добавки с высоким содержанием оксида кремния  $\text{SiO}_2$  (кварцевый песок — 65,7 %, цеолит — 65,2 %) вводили в количестве 5, 7 и 10 % массы клинкера. Установлено, что прочность образцов цементных камней на основе БТЦ соответствует прочностным характеристикам контрольных образцов, изготовленных на портландцементе марки ЦЕМ I 42,5Б.

Известно, что цеолиты — это каркасные водные алюмосиликаты, имеющие особую «пористую» структуру, возникновение которой объясняется замещением  $\text{Si}^{4+}$  на  $\text{Al}^{3+}$ . Наличие в кристаллической решетке окон, полостей и каналов, обуславливает уникальность их свойств: молекулярно-ситовой эффект, высокие ионообменные, сорбционные и каталитические свойства. Эти свойства природных цеолитов позволят создавать на их основе наномодифицирующие добавки комплексного действия с использованием методов механохимической активации, что может резко сократить в составах сухих смесей, растворов и бетонов количество применяемых полимерных, в основном импортных, модификаторов, а также не потребует больших капитальных вложений и не приведет к повышению себестоимости конечной продукции [4–8].

Огромные возможности применения природных цеолитов в Якутии связано с освоением месторождения Хонгуруу. Его цеолиты, в отличие от сырья других известных в СНГ месторождений подобного типа, характеризуются высоким содержанием минералов клиноптилолит-гейландитового ряда (70–98 %) и химическим составом с преобладанием алюмосиликата натриево-кальциевой формы [9, 10].

Возможности применения уникальных свойств природных цеолитов в производстве различных строительных материалов активно изучали в Алтайском ГТУ им. И. И. Ползунова и Институте геологии и геофизики СО РАН [4]. Эффективность изготовления строительных материалов на основе природных цеолитов просматривается в следующих основных направлениях: безобжиговые технологии — это обширный класс смешанных вяжущих, бетонов, безавтоклавных силикатных изделий, золоцеолитовых композиций и т. д.; обжиговые технологии — это высокотемпературные (1100–1200 °С) искусственные пористые заполнители, пеностекло, керамические материалы широкого спектра назначений, а также алюмосиликатный компонент при получении портландцементного клинкера. Особенно ценным свойством цеолитсодержащих пород является пуццолановая активность, зависящая от содержания цеолитов в породе, их пористого строения и, соответственно, генетического типа, минералогического и химического состава, кремнистости (отношения  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и позволяющая создавать новые разновидности бесцементных и цементных систем вяжущих веществ.

Дальнейшие исследования в данной области направлены на модернизацию технологии малоклинкерного наноцемента [3] и адаптацию ее к местным условиям северо-востока России с учетом наличия сырьевых ресурсов, рациональных модификаторов и технико-экономических показателей размещения производства. Разработанные технологические решения при механохимической

активации исходных компонентов позволят производить помол клинкера на местах потребления в смеси с минеральными добавками в виде кварцевого песка, пуццолановых пород, шлака, золы, получая при этом из одной тонны клинкера 1,5–2 т высококачественного цемента и различные виды бетонов на его основе, в том числе энергоэффективные пенобетоны неавтоклавного твердения. Это приведет также к улучшению качества и удешевлению сухих строительных смесей, предназначенных преимущественно для систем фасадной теплоизоляции (кладки стен из ячеистых бетонов, приклеивания утеплителя и создания штукатурного армированного слоя) в условиях сурового климата северо-востока России.

В процессе экспериментальных исследований был разработан состав полимерцементного вяжущего (ПЦВ) и шпаклевки для отделки ячеистых стеновых материалов, отличающийся улучшенными характеристиками по отношению к аналогам по жизнеспособности, адгезионной прочности, морозостойкости [11]; подана заявка на патент РФ «Сухая строительная смесь» (Е. А. Рубан, А. Д. Егорова, А. Е. Местников; заявл. 21.11.2013).

На основе полученного БТЦ были исследованы образцы пенобетонов, изготовленных в лабораторных, заводских и построечных условиях. Среднестатистические показатели пенобетонов неавтоклавного твердения на основе БТЦ и портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Б отвечают требованиям ГОСТ 5742-76. Изделия из ячеистых бетонов теплоизоляционные (1995) и ГОСТ 21520-89. Блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие (2003). Были использованы следующие марки пенобетонов неавтоклавного твердения: теплоизоляционные — D300 B0,25; конструкционно-теплоизоляционные — D600 B1,5 и D700 B2 для малоэтажного строительства энергоэффективных жилых зданий [12].

Следует отметить, что Мирнинский район Республики Саха (Якутия), крупная алмазонская провинция России, в последние годы закупает в ОАО «Якутцемент» только клинкер и производит в своих помольных цехах цементы обширной номенклатуры (от сульфатостойких до высокопрочных) для собственных нужд, добавляя в привозной клинкер местные минеральные добавки [13]. По мнению авторов статьи, также помольные цеха в первую очередь следует установить в пос. Тикси, находящемся в центре стратегически важного северо-восточного Арктического региона страны, в городах Вилюйск и Ленск, находящихся на важных водно-транспортных артериях республики.

### Заключение

Предложенные технологические решения по созданию быстротвердеющего цемента с использованием активированного портландцементного клинкера, местных минеральных добавок и органического модификатора значительно усовершенствуют известную технологию производства наноцемента [3]. Улучшаются эксплуатационные характеристики сухих строительных смесей [14]. Рекомендуемый состав смесей и быстротвердеющего цемента позволит производить строительные материалы из местного сырья и значительно снизить стоимость строительства в условиях северо-востока России за счет значительного сокращения энергозатрат и транспортных расходов.

**Библиографический список**

1. Пояснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Якутской АССР масштаба 1:2 500 000. Т. 1 и 2. — М.: Объединение «Союзгеолфонд», 1988.
2. Бикбау М. Я. Инновационная нанотехнология цемента // *Время инноваций*. URL: <http://time-innov.ru/page/jurnal/2013-2/rubric/2/article/16> (дата обращения: 29.08.2016).
3. Патент WO 2014148944 A1. Способ производства наноцемента и наноцемент / Бикбау М. Я.; заявл. 17.10.2013; опубл. 25.09.2014.
4. Овчаренко Г. И., Свиридов В. Л., Францен В. Б., Казанцева Л. К. Природные цеолиты — новый вид сырья для производства стройматериалов // *Архитектура и строительство Сибири*. 2002. № 6.
5. Пальшина Ю. Возможности применения цеолитсодержащих пород в строительной индустрии. URL: [nauka.beluno.ru/assets/files/conf/20\\_ceolit.docx](http://nauka.beluno.ru/assets/files/conf/20_ceolit.docx) (дата обращения: 29.08.2016).
6. Rimer J. D., Kumar M., Li R., Lupulescu A. I., Oleksiak M. D. Tailoring the physicochemical properties of zeolite catalysts // *Catalysis Science & Technology*. 2014. No. 4. P. 3762–3771.
7. García R. A., Serrano D. P., Vicente G., Otero D., Linares M. Catalytic activity of the beta zeolite with enhanced textural properties in the Friedel-Crafts acylation of aromatic compounds // *Zeolites and Related Materials: Trends, Targets and Challenges: proceed. of 4th International FEZA Conference*. 2008. Vol. 174. P. 1091–1094.

8. Nik Ahmad Nizam Nik Malek, Alias Mohd Yusof. Removal of Cr(III) from aqueous solutions using zeolite NaY prepared from rice husk ash // *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 2007. Vol. 11. No 1. P. 76–83.
9. Перспективы применения цеолитных пород месторождения Хонгуруу: сб. научных тр. — Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1993. — 87 с.
10. Колодезников К. Е. Цеолитносные провинции востока Сибирской платформы. — Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003.
11. Решетова Е. А., Егорова А. Д., Местников А. Е. Тонкошовный кладочный раствор с применением цеолитсодержащих пород Якутии для суровых климатических условий // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 8. Ч. 3. С. 128–129. *International Journal of Applied and Fundamental Research*
12. Mestnikov A. E. Thermal highly porous insulation materials made of mineral raw materials // *TSUAB2014 IOP Publishing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015. Vol. 71. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/71/1/012014> (дата обращения: 29.08.2016).
13. Fedorova G. D., Alexandrov G. N., Yakovlev G. I., Polyanskikh I. S., Pudov I. A. Fine grain portland cement concrete with complex nanodisperse admixture for structure rehabilitating // *Advanced Materials Research*. Vol.: *Proceedings of the Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings (CRRB 2014)*. — Brno: WTA CZ, 2014. P. 105.
14. Патент 2184098 РФ, С1, С 04 В 28/02. Сухая строительная смесь; заявл. 30.11.2000; опубл. 27.06.2002. **ГЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 9, pp. 65–68  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.13>

**Production of construction materials from local minerals for the north-eastern Arctic areas of Russia**

**Information about authors**

**A. D. Egorova**<sup>1</sup>, Associate Professor—Researcher, Candidate of Engineering Sciences, [eg\\_anastasy2004@mail.ru](mailto:eg_anastasy2004@mail.ru)

**A. E. Mestnikov**<sup>1</sup>, Head of a Chair, Professor, Doctor of Engineering Sciences

**P. S. Abramova**<sup>1</sup>, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

<sup>1</sup> Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

**Abstract**

The vast Arctic areas in Russia should be destined not for the rotational-base operation but for peopling and development. The circuit of delivery of construction materials from the inland was and remains seasonal and expensive. Therefore it is necessary to develop local manufacturing of construction materials. Northern territories of the Republic of Sakha (Yakutia) possess considerable sources of mineral stock for production of construction materials.

Now Portland cement is one of the widely used hydraulic binders. As a result of the long-term water transport to remote areas of the Republic of Sakha (Yakutia) and the extended storage later on, partial hydration and consolidation of cement takes place. In the meanwhile, many Russian researchers have found that cement with best properties can be produced from old clinker. Portland cement clinker is sintered grains, which conditions its capability for long-term storage without loss of hydraulic properties in severe climatic conditions of the North.

Major goal of these studies is production of Portland cement from imported clinker with active mineral additives made of local raw materials. As a result of mechanochemical activation of selected initial components, it is feasible to produce various-purpose high-quality quick-hardening cement (QHC) and dry construction blends (DCB) on a construction site in hard-to-reach areas in the North. The recommended and experimentally evaluated cement mixtures and blends will enable production of construction materials (reinforced concrete, light concrete, foamed concrete, insulations and furnishing materials) from the local minerals, and allows considerable cost-saving of construction owing to great cut-back of energy input and transport costs.

**Keywords:** Arctic areas, mechanochemical activation, mineral raw materials, active mineral additives, plastifiers, Portland cement, dry construction blends.

**References**

1. Explanatory note to the general deposit map of construction materials of Yakutia ASSR with a scale of 1:2 500 000. Moscow: «Soyuzgeolfond» Association, 1988. 421 p. (in Russian)
2. Bikbau M. Ya. Innovation nanotechnology of cement. *Vremya innovatsiy*. Available at: <http://time-innov.ru/page/jurnal/2013-2/rubric/2/article/16> (accessed: 29.08.2016).
3. Bikbau M. Ya. *Method of nanocement production and nanocement*. Patent WO, No. 2014148944 A1. Applied: 17.10.2013. Published: 25.09.2014.
4. Ovcharenko G. I., Sviridov V. L., Frantsen V. B., Kazantseva L. K. Natural zeolites — a new type of raw materials for the production of construction materials. *Arkhitektura i stroitelstvo Sibiri*. 2002. No. 6.
5. Palshina Yu. Possibilities of application of zeolite-bearing rocks in construction industry. Available at: [nauka.beluno.ru/assets/files/conf/20\\_ceolit.docx](http://nauka.beluno.ru/assets/files/conf/20_ceolit.docx) (accessed: 29.08.2016).
6. Rimer J. D., Kumar M., Li R., Lupulescu A. I., Oleksiak M. D. Tailoring the physicochemical properties of zeolite catalysts. *Catalysis Science & Technology*. 2014. No. 4. pp. 3762–3771.
7. García R. A., Serrano D. P., Vicente G., Otero D., Linares M. Catalytic activity of the beta zeolite with enhanced textural properties in the Friedel-Crafts acylation of aromatic compounds. *Zeolites and Related Materials: Trends, Targets and Challenges: proceed. of 4th International FEZA Conference*. 2008. Vol. 174. pp. 1091–1094.
8. Nik Ahmad Nizam Nik Malek, Alias Mohd Yusof. Removal of Cr(III) from aqueous solutions using zeolite NaY prepared from rice husk ash. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 2007. Vol. 11, No 1. pp. 76–83.
9. *Prospects of application of zeolite rocks of the Honguruu deposit: collection of scientific proceedings*. Yakutsk: Yakutia Scientific Center of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 1993. 87 p. (in Russian)
10. Kolodeznikov K. E. Zeolite-bearing provinces of the Siberian platform east. Yakutsk: Yakutsk Subsidiary of the Publishing House of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 2003.
11. Reshetova E. A., Egorova A. D., Mestnikov A. E. Thin-seam masonry mortar with application of zeolite-bearing rocks of Yakutia for the severe climatic conditions. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy*. 2013. No. 8, Part 3. pp. 128–129.
12. Mestnikov A. E. Thermal highly porous insulation materials made of mineral raw materials. *TSUAB2014 IOP Publishing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015. Vol. 71. Available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/71/1/012014> (accessed: 29.08.2016).
13. Fedorova G. D., Alexandrov G. N., Yakovlev G. I., Polyanskikh I. S., Pudov I. A. Fine grain portland cement concrete with complex nanodisperse admixture for structure rehabilitating. *Advanced Materials Research*. Vol.: *Proceedings of the Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings (CRRB 2014)*. Brno: WTA CZ, 2014. p. 105.
14. *Dry pack mortar*. Patent RF, No. 2184098, S1, S 04 V 28/02. Applied: 30.11.2000. Published: 27.06.2002. (in Russian)