

УДК54-165.2 + 624.139

МАНАНКОВ АНАТОЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, докт. геол.-мин. наук, профессор,
mav.39@mail.ru

ГАСАНОВА ЭЛЬГЮЛ РАЗИМ КЫЗЫ, аспирант,
elgyul91@mail.ru

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

ПЕТРОСИТАЛЛЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ ИНФРАСТРУКТУР КРАЙНЕГО СЕВЕРА И АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Представлены теоретические и экспериментальные обоснования метода оптимизации состава шихты для метасиликатных ситаллов – петроситалла нового класса сикамов, основанного на кристаллохимическом подходе.

Расчет состава шихты на стехиометрические коэффициенты в формуле твердого раствора клинопироксенов и слагаемых его изоморфных серий производится с позиции структурной кристаллохимии. Метод обеспечивает необходимую степень мономинеральности и высокие физико-химические свойства материала.

Петроситаллы и основанные на них композитные материалы являются инновационным эффективным материалом для производства свайно-эстакадной дорожной конструкции и строительства на ее основе транспортной инфраструктуры, промышленных и гражданских объектов в условиях вечной мерзлоты и арктического шельфа.

Ключевые слова: петроситаллы; метасиликаты; сикам; мономинеральность, кристаллохимический подход, стехиометрические коэффициенты, горные породы Полярного Урала; свайно-эстакадная дорожная конструкция; транспортная, промысловая гражданская инфраструктура.

ANATOLII V. MANANKOV, DSc, Professor,
mav.39@mail.ru

EL'GYUL RAZIM GASANOVA, KYZY, Research Assistant,
elgyul91@mail.ru

Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

ROCK GLASS-CERAMICS FOR TRANSPORT FACILITIES IN THE ARCTIC AND THE ARCTIC SHELF

The paper presents theoretical and experimental justifications for the crystal-chemical approach-based method of optimizing the mixture composition for rock glass ceramics. The analysis of the mixture composition with regard to stoichiometric coefficients used in the equation of the solid solution of clinopyroxenes and its isomorphic sets is performed in terms of the structural crystal chemistry. This method provides the required degree of monominerality and high physicochemical properties of material. Rock glass ceramics and composite materials produced therefrom are the advanced materials used for the production of pile trestle road structure and transport facilities constructed on its basis as well as industrial and civil buildings under permafrost conditions in the Arctic shelf.

Keywords: rock glass ceramics; mono-minerality; crystal-chemical approach; stoichiometric coefficient; the Polar Urals rocks; pile trestle road structure; transport; commercial; civil infrastructure.

Недра российского Севера и арктического шельфа хранят $\frac{9}{10}$ запасов природного газа, около $\frac{2}{3}$ запасов нефти, почти все апатитовые руды, золото, алмазы, включая уникальные импактные сверхпрочные алмазы Папигайского месторождения, платиноиды и редкоземельные металлы, олово, антрациты Таймыра. Освоение полезных ископаемых происходит в условиях полного бездорожья и поэтому требует высоких затрат на создание транспортно-производственной и гражданской инфраструктуры, обустройство Севморпути, создание его сухопутного дублера – Северного широтного хода от Салехарда на Игарку – Хатангу – Тикси, включая строительство плотин как мостовых переходов Игарской ГЭС и Нижне-Ленской ГЭС.

В особых суровых условиях Сибири и Заполярья требуется необходимость применения высокопрочных и высокоэффективных строительных конструкций обширного диапазона для промышленного, транспортного и гражданского строительства. Неотложна потребность в таких высокопрочных строительных конструкциях, и дорогостоящая их доставка с «материка», в свою очередь, требует организации их производства на месте использования местного сырья и дешевых энергоносителей для значительного снижения их себестоимости.

Петроситаллы – это ситаллы из горных пород, а из промышленных отходов – шлакоситаллы. Стеклокристаллические материалы, получаемые из смесей химически чистых оксидов, – это технические ситаллы. В числе последних термостойкие сподуменовые, кордиеритовые, а также специальные высококремнеземистые, свинецсодержащие, поглощающие тепловые нейтроны и т. п.

Важным свойством петро- и шлакоситаллов является уникальное сочетание химической, термической стойкости и высокой сопротивляемости механическому истиранию. Это позволяет использовать их в качестве эффективного материала в технологических узлах со специфическими условиями работы. Высокая прочность и сопротивляемость истиранию, огне- и атмосферостойкость, химическая устойчивость делают этот материал долговечным.

Исходное сырье для петро- и шлакоситаллов может быть различным: 1) магматические горные породы преимущественно с дефицитом в составе кремнезема (ультраосновные, основные интрузивные и эффузивные породы); 2) метаморфические и осадочно-метаморфические горные породы класса силикатов и карбонатов; 3) разнообразные силикатсодержащие промышленные отходы добычи, обогащения и переработки практически любых полезных ископаемых (рудных, нерудных, энергетических каменных углей и т. п.) после извлечения из них дефицитных металлов – от черных и цветных до редких элементов, лантаноидов и актиноидов. По нашим подсчетам, в первом приближении такая стратегия использования минеральных ресурсов позволит сократить на 25 % добычу первичных полезных ископаемых [1].

Освоение Крайнего Севера, выход на шельфы арктических морей, невозможность использования классических морских буровых платформ требуют применения инновационных прорывных технологий добычи нефти и газа с искусственных островов и подводных сооружений на шельфе. Но такие технологии требуют совершенно новых строительных материалов и конструкций, обладающих огромной прочностью, долговечностью, износоустойчивостью,

кислотоустойчивостью и другими многофункциональными параметрами при высокой стоимости нержавеющей стальных конструкций. По этой причине авторами предлагается взамен классических стальных железобетонных конструкций совершенно новый материал – петроситалл, отвечающий особым условиям Арктики и возможностью его производства из местного сырья (рис. 1).



Рис. 1. Дорожные условия: тундра Ямала летом

В Томской научной школе минералогии под руководством профессора А.В. Мананкова сотрудниками трех университетов (НИ ТГУ, НИ ТПУ и ТГАСУ) по результатам фундаментальных исследований в области физической геохимии создан новый класс многофункциональных стеклокристаллических материалов класса сикамов и технологий их производства (товарный знак 92355) на основе недефицитного природного сырья и промышленных отходов. Появление этих материалов оказалось востребованным многими отраслями и новой техникой. Важно подчеркнуть, что стала возможной разработка (НИР и ОКР) новых малозатратных и высокоэффективных технологий производства новых конструкций, обладающих особенно высокой прочностью и надежностью в экстремальных природных условиях Арктики.

Исследование авторами горных пород золоторудных месторождений Полярного Урала по Программе «Урал Полярный – Урал Промышленный», начатое в 2011 г., Новогоднее-Монто, Петропавловского, Амфиболитового показало, что эти породы по минерало-геохимическому составу максимально соответствуют требованиям по качеству и объемам для производства петроситалловых дорожных и строительных конструкций и подробно описано авторами в работах [1–7].

А вот для производства вспененного петроситалла – пеносикама, высокоэффективного теплоизоляционного стенового материала, в качестве исходного сырья подходят местные суглинки и пылеватые пески, распространенные по долинам великой сибирской реки Оби и ее многочисленных притоков по всей Западно-Сибирской низменности.

Само производство новых строительных материалов и конструкций, обладающих особенно высокой прочностью, обеспечивается разработанной авторами автоматизированной технологией управляемого синтеза фрактальной сферолитовой структуры петроситалла.

Автоматизация управляемого синтеза петроситалла заключается в разработке кристаллохимической формулы для расчета состава шихты на моно-

минеральный метасиликатный состав с позиции выявленных пределов изоморфизма [2, 5]. Объектами исследования стали полиморфные модификации цепочечных метасиликатов, формирующихся в неравновесных условиях аттрактора кристаллизации – точек бифуркации.

Предметом исследований как более детализированной характеристикой объекта послужили изо- и гетероморфные замещения в пироксенах открытого нами класса ситаллов, которые могут количественно характеризовать с помощью предлагаемого нами понятия «модуль кислотности» состава метасиликатного твердого раствора для минералого-химической системы объектов.

Исходные породы и теоретические расчеты петроситаллов

Присутствие местного природного сырья значительно удешевляет производственные расходы. Это связано с тем, что сырьевые материалы в удельном весе цены петруггического продукта захватывают никак не меньше 48 %. Совместно с этим при обустройстве, к примеру, нефтегазовых месторождений и постройке путей в обстоятельствах многолетнемерзлых пород наиболее дорогостоящая доля их стоимости приходится на использованные строительные материалы. На один километр дороги III категории цена использованных материалов составляет 45 млн руб.

В табл. 1 представлены химические составы исходных пород Полярного Урала из трех месторождений. Авторами выполнены в центре «Плазма» минерало-петрографические, геохимические и опытные изучения данных горных пород с целью получения из них петроситаллов.

Таблица 1

Химический состав базитов Полярного Урала

Оксиды	Базальт	Основной пикробазальт	Низкощелочной андезит (метаморфизованный базальт)	Высокощелочной андезит (амфиболизированный базальт)
SiO ₂	48,67	45,08	62,30	57,66
TiO ₂	0,37	0,59	1,05	0,79
Al ₂ O ₃	16,93	14,85	11,98	15,14
Fe ₂ O ₃	5,01	8,54	3,73	2,82
FeO	6,34	7,69	5,51	4,27
MgO + MnO	5,80	7,73	3,05	3,36
CaO	11,84	9,95	5,96	5,11
Na ₂ O	2,00	1,40	1,43	2,93
K ₂ O	0,12	0,17	2,33	2,20
P ₂ O ₅	0,02	0,07	0,12	0,31
H ₂ O	0,28	0,30	0,17	0,38
П.п.п.	2,31	2,74	1,26	4,21
Сумма	99,69	99,11	98,89	99,18

Примечание. Анализы выполнены с помощью масс-спектрального метода с индуктивно связанной плазмой в химико-аналитическом центре «Плазма» (специалист-экспериментатор 1 группы А.Н. Маковенко).

Результаты химических анализов являются базой для теоретического конструирования сырьевых композиций ситаллов согласно формуле «модуля кислотности СКС» [8]. Для минералов пироксеновой категории вычисление проводится в 6 атомах кислорода с учетом границ изоморфных замещений в 3 подрешетках пироксенов M_2 , M_1 и R (табл. 2). Полученные мономинеральные метасиликаты с обширным полем изоморфных замещений являются наиболее перспективными, поскольку в структуре стекла возникают когерентные наноструктуры, которые энергетически связаны друг с другом гармоничными отношениями.

Таблица 2

Кристаллохимические формулы петроситаллов

№ пробы	Подрешетки в формуле пироксенов		
	M_2	M_1	R
1	$(Ca_{0,86} \cdot Na_{0,13} \cdot K_{0,01})$	$(Ca_{0,06} Mg_{0,29} Fe^{+2}_{0,18} Fe^{+3}_{0,13} Al_{0,34})$	$(Si_{1,65} \cdot Ti_{0,01} \cdot Al_{0,34})O_6$
2	$(Ca_{0,9} \cdot Na_{0,09} \cdot K_{0,01})$	$Mg_{0,4} \cdot Fe^{+2}_{0,22} \cdot Fe^{+3}_{0,22} \cdot Al_{0,20}$	$(Si_{1,57} \cdot Ti_{0,02} \cdot Al_{0,41})O_6$
3	$(Ca_{0,83} \cdot Na_{0,08} \cdot K_{0,09})$	$(Ca_{0,4} Mg_{0,13} Fe^{+2}_{0,13} Fe^{+3}_{0,08} Al_{0,25})$	$(Si_{1,81} \cdot Ti_{0,02} \cdot Al_{0,16})O_6$
4	$(Ca_{0,74} \cdot Na_{0,18} \cdot K_{0,09})$	$(Ca_{0,29} Mg_{0,16} Fe^{+2}_{0,11} \cdot Fe^{+3}_{0,07} \cdot Al_{0,38})$	$(Si_{1,79} \cdot Ti_{0,02} \cdot Al_{0,18} \cdot P_{0,01})O_6$

Опытные изучения обстоятельств плавления шихт и получения гомогенных стекол

В соответствии с расчетами были подготовлены начальные шихты. В качестве нуклеаторов кристаллизации основных силикатных фаз применено соединение хрома. Плавку совершали в алундовых тиглях в силитовой печи. Оптимальные технологические параметры: температура плавления 1360–1400 °С, время плавления 1,5–2,0 ч. Уже после закаливания и отжига гомогенные стекла подверглись исследованию с поддержкой разных физико-химических способов с целью установления научно-технических характеристик ситаллизации.

Физико-химические методы определения температурных интервалов зародышеобразования и роста кристаллов

Примеры стекол изучены в лаборатории ЦКП аналитического центра ГПС ТГУ с поддержкой дифференциально-термического способа (ДТА) в устройстве NETZSCH STA 409 PC/PG в промежутке 20–1100 °С. Получены термограммы с отчетливо проявленными эндоэффектами (T_1), соответствующими температурам образования зародышей главной фазы, и еще больше контрастными экзоэффектами (T_2), отвечающими за увеличение кристаллов (табл. 3).

Таблица 3

Результаты ДТА стекол на основе базитов Полярного Урала

№ пробы	T_1 , °С	E_1 , мВт/мг	T_2 , °С	E_2 , мВт/мг
1	723	0,391	905	0,494
2	711	0,423	897	0,812
3	742	0,321	951	0,591
4	727	0,360	964	0,686

Примечание. E_1 – энергия активации зародышеобразования; E_2 – энергия роста кристаллов (аналитик – Е.М. Асочакова). Номера 1–4 соответствуют номерам в табл. № 2.

Для каждого состава проведены кинетические эксперименты для выбора временных технологических параметров. Модифицировали период изотермического нагрева на этапе T_1 и T_2 , а кроме того, быстроты нагрева от T_1 до T_2 . Период изотермического нагрева на T_1 модифицировали от 15 до 75 мин и на этапе увеличения кристаллов от 15 до 60 мин. С абсолютно всех продуктов экспериментов были изготовлены бесцветные и гладкие шлифы с целью исследования структурно-текстурных качеств (рис. 2). Анализ итогов исследований выявил, что наилучший период изотермического нагрева в ступеньках T_1 и T_2 должен быть никак не меньше 45 мин. В аншлифах с помощью алмазной пирамидки и микроскопа ПМТ-3 проведено определение микротвердости.

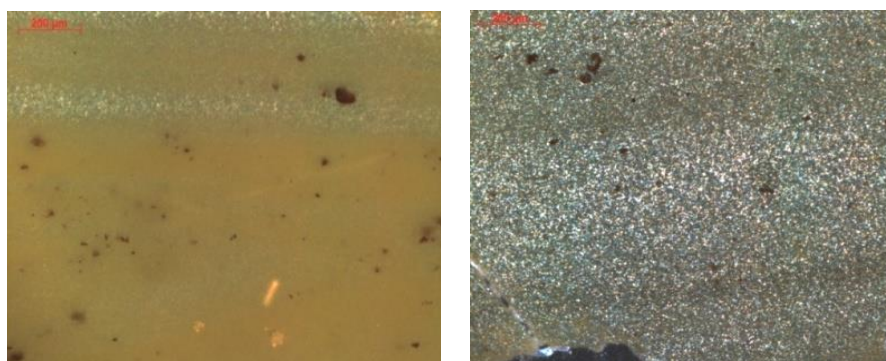


Рис. 2. Воздействие периода изотермического нагрева на ступенях T_1 и T_2 на степень кристаллизации: слева – 15 мин; справа – 50 мин

По результатам анализа полученных физико-химических свойств определены оптимальные условия синтеза. Во-первых, закристаллизованные согласно оптимальным режимам плитки были правильной геометрической фигуры, гомогенной структуры и тона и с отсутствием заметной деформации. Во-вторых, под микроскопом наноструктура гомогенная, умеренный объем кристаллов 5–8 мкм, отсутствуют «порфиновые» образования. Используя оптимальные температурно-временные параметры, получили плиты следующих размеров (в мм): 100×50×8, 150×150×15. Из них изготовили образцы с целью исследования микроструктуры, физико-химических свойств, а кроме того, пробы для рентгенофазового анализа.

Минеральный состав, структуры, текстуры и физико-химические свойства петроситаллов

Итоги рентгенофазового анализа (РФА) сопоставлялись с табличными сведениями АСТМ (Crystallographica Search-Match).

Получены доказательства оптимальности исходных составов и научно-технических характеристик. Определено, что синтезированные петроситаллы соответствуют классу сикамов, т. к. они обладают мономинеральной метасиликатной структурой. Согласно результатам РФА, они отвечают либо твердому раствору состава моноклинные пироксены – β -волластонит с субмикроструктурными структурами, либо чистому диопсиду ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), либо твердым

растворам моноклинных пироксенов диопсид-геденбергитового ряда (рис. 3), что и обуславливает в конечном счете их высокие эксплуатационные свойства.

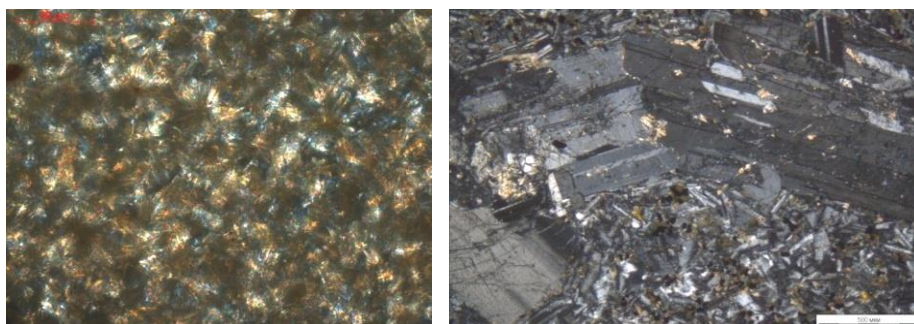


Рис. 3. Сферолитовая субмикроструктура ситалла, полученная при оптимальных технологических параметрах (слева), в сравнении с исходной горной породой – порфировой структурой габбро-порфирита (справа)

По физико-химическим свойствам полученные петроситаллы могут найти широкое применение в новой технике, в различных сферах производственных процессов нефтегазовой и других отраслей. Уникальное сочетание значительной износостойкости и химической стойкости делает их эффективными в качестве футеровочного использованного материала для различных трубопроводов, лотков цепных транспортеров, желобов и т. п.

Рентгенограмма петроситалла из пробы № 1 представлена на рис. 4.

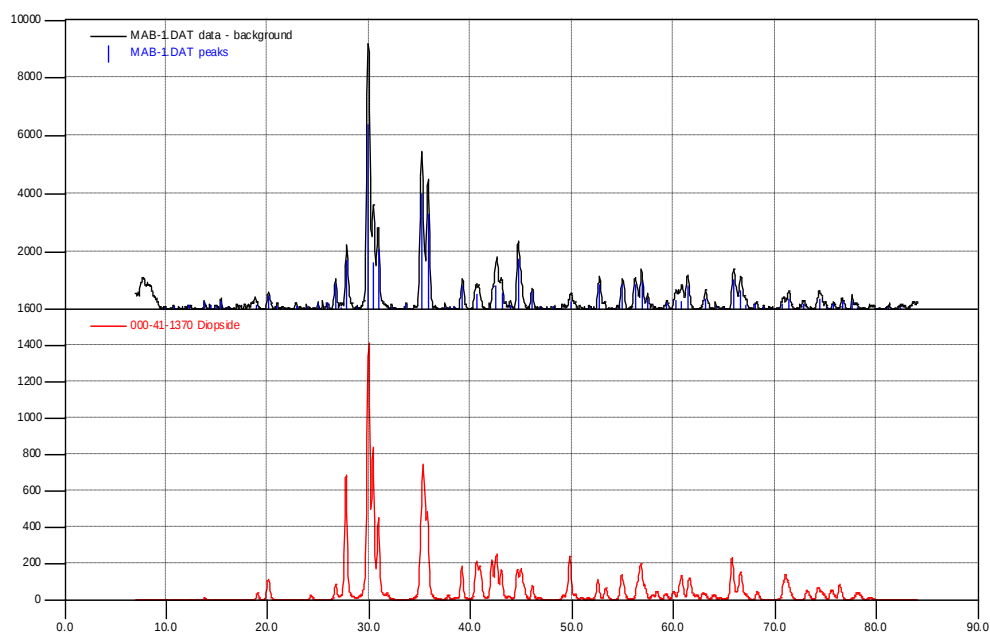


Рис. 4. Рентгенограмма петроситалла из пробы № 1 (вверху) и эталонный диопсид № 000-41-1370 (внизу)

Выполненные НИР по отработке технологии производства петроситалла из местного сырья в ЯНАО позволяют перейти к следующей стадии ОКР: проектирование строительства опытного производства чисто петроситалловых изделий (бордюры, кольца, тротуарные, облицовочные плитки, подшивники, медицинские имплантаты и др.) и отработки композитных петроситалловых конструкций (балки, колонны, ригели, плиты, сферические и цилиндрические тьюбинги, а также множество других конструкций). Особый сорт составят петроситалловые конструкции сверхвысокой ударной прочности с дисперсной фиброармированной структурой.

Варианты инженерно-технологических строительных конструкций (на основе петроситаллов) различной топологии (плоских, цилиндрических и сферических) для монтажа линейных и производственных объектов [4, 5]:

- автомобильные сборно-разборные дороги промышленного, военного и гражданского назначения в свайно-эстакадном исполнении, как более дешевые и долговечные;

- железные дороги, в том числе скоростные трассы, в инноваторском безбалластном свайно-плитном исполнении;

- фундаменты и основания зданий и сооружений промышленного и гражданского исполнения на винтовых криосваях и с системой высокоэнергетического геотермального отопления на тепловых насосах и др.

В ТГАСУ Б.С. Страховым и др. была разработана и запатентована свайно-эстакадная путевая система, позволяющая стремительно и по оптимальной цене оборудовать высококласной автотранспортной инфраструктурой: автодороги, железные пути, аэродромы, причалы, кустики бурения и карьеры, искусственные острова в регионах нефтегазодобычи и добычи иных полезных ископаемых [6].

Главным отличием от традиционной дорожной, железнодорожной или аэродромной конструкции является принцип опирания свайно-эстакадной конструкции как на винтовые сваи, так и на земляную насыпь на плоскость дорожного полотна через демпфирующий и разгрузочный слой из пенополимера или пеноторфосиликатобетона, который принимает на себя колебания, вибрации. В этом случае вся нагрузка самого тяжелого автопоезда, поезда, самолета равномерно распределяется по поверхности грунта. Регулирующее устройство на оголовнике винтовой сваи позволяет обеспечивать идеальную ровность рабочей поверхности.

В основе свайно-эстакадной дорожной конструкции лежат два элемента: усиленная дорожно-аэродромно-мостовая плита двух типоразмеров и винтовая криосвая. Использование автомобильных, железнодорожных и аэродромных усиленных плит из петроситалла с прочностью на изгиб 33,0 т винтовых криосвай и термосифонов позволяет наморозить основание до максимально низких температур и исключить оттаивание и деформацию оснований в летний период.

Усиленная дорожная плита УДП 2×4 и УДП 2×6 по сравнению со стандартными плитами ПДН и ПАГ представляет композитную сталежелезобетонную или сталепетроситалловую конструкцию, обладающую более высокой прочностью и удобствами быстрого монтажа.

Винтовая криосвая, являясь опорой для дорожных плит, еще выполняет функцию упрочняющего замораживания основания под дорогой, фундаментами зданий. При этом винтовые криосваи при подключении к ним теплового насоса позволяют извлекать геотермальную энергию и дополнительно экономить до 70 % тепла для отопления придорожных зданий или трубопроводов. Эффект дешевого отопления за счет замораживания вечной мерзлоты основан на большей в три раза теплоемкости и теплопроводности грунта высокой льдистости (70–80 %), чем у сухого грунта.

Так как расчеты эффективности проводятся за весь период действия инновационных технологий, т. е. 5–10 лет, то все значения показателей будущих периодов дисконтируются к настоящему времени. Коэффициент дисконтирования учитывает банковскую ставку и инфляцию.

Рассмотрим, что дает повышение качества готовой продукции на примере разработки и внедрения новых видов строительных материалов и конструкций. Разработанная в ТГУ и ТГАСУ технология производства петроситалла из различных видов местного сырья, энергоносителей позволяет осуществлять последующее изготовление из них композитных петроситалловых конструкций широкого спектра и областей применения. Основой технико-экономического обоснования производства и применения петроситалловых конструкций являются принципы функционально-стоимостного анализа и управления качеством с выходом на интегральный показатель цена – качество.

Цель инновации – снижение цены и повышение качества конструкции транспортной инфраструктуры. В ЯНАО цена – сметная стоимость 1 км дороги 3-й категории Г8 в среднем колеблется (в зависимости от конкретных условий трассы) в пределах 80–150 млн руб. с традиционными низкими показателями качества.

Качество дороги 3-й категории с твердым покрытием как сводный показатель включает такие основные показатели, как гарантийный срок безремонтного периода 1–3 года, динамическая грузоподъемность (колесная нагрузка на автомобильную ось) не более 10 т, максимальная скорость движения 90 км/ч, ровность поверхности практически не регламентируется (просадки, выбоины, келейность и вспучения асфальтового покрытия – это известный всем водителям атрибут российских дорог 3-й и 4-й категории). Это показатели резкого снижения качества дорожной одежды на северных и полярных дорогах, происходящего под воздействием морозного пучения зимой и просадки летом.

В нашем варианте строительства транспортной инфраструктуры с применением петроситалловых дорожных плит появляются дополнительные показатели качества нового материала – петроситалла: температура начала размягчения 950–1100 °С, сопротивление истиранию 0,015–0,04 г/см², прочность при изгибе 100–188 МПа и сжатии 707–910 МПа, химическая стойкость: к кислотам 98–99 % и щелочам 95–99 %.

Расчет стоимости 1 м³ петроситалла при массовом производстве взят исходя из технико-экономических параметров традиционных стеклокристаллических материалов, близких по составу. Структура себестоимости 1 м³ петроситалла при массовом производстве включает в себя, %:

сырье и материалы.....	40
зарплату	30
энергию.....	14
амортизацию	8
прочие расходы.....	8

В случае размещения завода по производству петроситалла в п. Харп ЯНАО стоимость природного газа 3 тыс. руб./тыс. куб. м или 50 долл. за тысячу кубов. Расход газа на тепловые процессы около 400 куб. м на производство одного кубометра петроситалла или 1200 рублей. Исходя из удельных затрат на энергетику примерная себестоимость одного кубометра петроситалла будет равна 8570 руб. Из этого следует, что петроситаллы, которые по прочности на изгиб и сжатие сравнимы с чугуном, но при этом легче по весу в три раза, совсем не подвержены коррозии и, самое главное, – дешевле в 12 раз.

Выводы

Получены петроситаллы из отвалных пород базитового состава трех золоторудных месторождений Полярного Урала.

Теоретически рассчитаны и экспериментально уточнены химические и минеральные составы исходного сырья, отвечающие метасиликатам, структурным моноклинным пироксенам группы диопсида, обеспечивающим создание качественных многофункциональных конструктивных материалов.

Проведены серии кинетических экспериментов с целью расплавления шихт, получения из них однородных стекол и определения с помощью комплекса физических аналитических методов и оптической микроскопии оптимальных температурных и временных параметров ситаллизации, включающих процессы зародышеобразования и роста кристаллов метасиликатов.

Исследование физико-химических свойств полученных петроситаллов показало, что они соответствуют ожидаемым результатам и отвечают требованиям современной промышленности.

Петроситалловые и пеносикамовые конструкции в виде свай, плит, блоков, тюбингов и купольных сборных элементов в несколько раз дешевле, прочнее и долговечнее, чем из бетона и металла.

Предложенное технологическое решение может обеспечить эффективное развитие инфраструктур нефтегазовой отрасли в условиях Крайнего Севера и арктического шельфа, а также решить проблему утилизации отходов горнодобывающей отрасли региона, обладающего крайне низким экологическим потенциалом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мананков, А.В. Волластонитовые, пироксеновые и другие материалы из промышленных отходов и недефицитного природного сырья / А.В. Мананков, Е.Я. Горюхин, А.А. Локтюшин. – Томск : ТГУ, 2002. – 168 с.
2. Мананков, А.В. Физико-химические основы наноструктурной минералогии в получении современных материалов / А.В. Мананков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 2. – С. 120–136.
3. Бычков, Д.А. Минералогические и петро-геохимические исследования горного сырья Полярного Урала для производства петроситаллов / Д.А. Бычков, А.В. Мананков,

- Б.С. Страхов // Россия в Арктике : материалы I Всероссийской молодежной конференции. – Томск : Том. политехнический ун-т, 2012. – С. 42–43.
4. Бычков, Д.А. Мониторинг окружающей среды с многолетнемерзлыми породами для обоснования технических решений экологической безопасности / Д.А. Бычков, А.В. Мананков, Б.С. Страхов // Россия в Арктике : материалы I Всероссийской молодежной конференции. – Томск : Том. политехнический ун-т, 2012. – С. 75–76.
 5. Мананков, А.В. Высокопрочные петроситалловые конструкции для работы в особых условиях Арктики / А.В. Мананков, В.М. Владимиров, Б.С. Страхов // Вестник Томского государственного университета. – 2014. – № 385. – С. 223–232.
 6. Пат. 88359 Российская Федерация, МПК E01C 9/00 (2006.01) E01C 3/00 (2001.01). Свайно-эстакадная дорожная конструкция / Б.С. Страхов, В.Н. Лукашевич, Б.Г. Акимов. – Оpubл. 10.11.2009, Бюл. 31.
 7. Гасанова, Э.Р. К решению проблем бездорожья при добыче полезных ископаемых в особых условиях / Э.Р. Гасанова, А.В. Мананков // Избранные материалы 63-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых (УНТК-2017) / Том. гос. архит.-строит. ун-т. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2017. – С. 236–239.
 8. Гасанова, Э.Р. Петроситалловые строительные конструкции для обеспечения нефтегазодобычи в особых условиях Арктики / Э.Р. Гасанова, А.В. Мананков // Здоровая окружающая среда – основа безопасности регионов : материалы Первого рязанского международного Экологического форума РГУ им. С.А. Есенина. – Рязань, 2017. – С. 124–136.
 9. Гасанова, Э.Р. Количественный состав шихтовых смесей для ситаллов и пересчет на кристаллохимическую формулу / Э.Р. Гасанова, А.В. Мананков // Общие и региональные проблемы минералогии. – Томск : Томский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2017. – Вып. 3. – С. 148–159.

REFERENCES

1. Manankov A.V., Goryukhin Ye.Ya., Loktyushin A.A. Vollastonitovyie, piroksenovyie i drugiye materialy iz promyshlennykh otkhodov i nedefitsitnogo prirodnogo syr'ya [Wollastonite, pyroxene and other materials from industrial waste and non-deficient natural raw materials]. Tomsk: TSU Publ., 2002. 168 p. (rus)
2. Manankov A.V. Fiziko-khimicheskiye osnovy nanostrukturnoy mineralogii v poluchenii sovremennykh materialov [Physicochemical basis for nanostructured mineralogy in advanced material production]. Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. 2012. No. 2. Pp. 120–136. (rus)
3. Bychkov D.A., Manankov A.V., Strakhov B.S. Mineralogicheskiye i petro-geokhimicheskiye issledovaniya gornogo syr'ya Polyarnogo Urala dlya proizvodstva petrositallov [Mineralogical and petro-geochemical studies of rock raw materials of the Polar Urals for rock glass ceramics production]. Proc. 1st All-Rus. Conf. 'Russia in the Arctic'. Tomsk: TPU Publ., 2012. Pp. 42–43. (rus)
4. Bychkov D.A., Manankov A.V., Strakhov B.S. Monitoring okruzhayushchey sredy s mnogoletnemerzlyimi porodami dlya obosnovaniya tekhnicheskikh resheniy ekologicheskoy bezopasnosti [Environmental monitoring of permafrost rock for justification of engineering solutions of environmental safety]. Proc. 1st All-Rus. Conf. 'Russia in the Arctic'. Tomsk: TPU Publ., 2012. Pp. 75–76. (rus)
5. Manankov A.V., Vladimirov V.M., Strakhov B.S. Vysokoprochnyye petrositallovyye konstruktssii dlya raboty v osobykh usloviyakh Arktiki [High-strength rock glass ceramic structures used in the Arctic conditions]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. No. 385. Pp. 223–232 (rus)
6. Strakhov B.S., Lukashevich V.N., Akimov B.G. Svaino-estakadnaya dorozhnaya konstruktsiya [Pile trestle road structure]. Pat. Rus. Fed. N 88359, 2009. (rus)
7. Gasanova E.R., Manankov A.V. K resheniyu problem bezdorozh'ya pri dobyche poleznykh iskopayemykh v osobykh usloviyakh [Off-road problems in mining operations under special

conditions]. *Selected Papers of 63th University Sci. Conf. (UNTK-2017)*. Tomsk: TSUAB Publ., 2017 Pp. 236–239. (rus)

8. Gasanova E.R., Manankov A.V. Petrositallovyye stroitel'nyye konstruksii dlya obespecheniya nefte-gazodobychi v osobykh usloviyakh Arktiki [Rock glass ceramic building structures for oil and gas production in the Arctic]. *Proc. 1st Int. Forum 'Healthy Environment as a Basis for Regional Security'*. Ryazan', 2017. Pp. 124–136. (rus)
9. Gasanova E.R., Manankov A.V. Kolichestvennyy sostav shikhtovykh smesey dlya sitallov i pereschet na kristallokhimicheskuyu formula [Quantitative mixture composition for rock glass ceramics and recalculation in crystal-chemical formula]. *Obshchiye i regional'nyye problemy mineralogii*. 2017. No. 3. Pp. 148–159. (rus)