

А.В. Мананков, В.М. Владимиров, Б.С. Страхов

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ПЕТРОСИТАЛЛОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ РАБОТЫ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Изучены минеральный, химический состав и геохимия вулканитов основного состава и метаморфических пород трех золоторудных месторождений в восточной части Полярного Урала. Методами физической геохимии на основе этих пород разработаны четыре состава петроситаллов класса «сикам». Установлена величина золотой пропорции для структурной гармонии ситаллов метасиликатного состава из класса «сикам». Ситаллы и созданные на их основе композитные конструкции являются перспективными для строительства дорог и промышленных объектов по добыче углеводородного сырья в условиях многолетнемерзлых пород Заполярья и арктического шельфа.

Ключевые слова: петроситаллы; сикамы; субсолидусная ликвация; термограммы; энергии активации зародышеобразования и роста кристаллов; фрактальность кристаллических структур; величина золотой пропорции для сикамов; свайно-эстакадная дорожная конструкция; купол Фуллера.

Масштабы добычи нефти и газа в Западной Сибири породили целый ряд серьезнейших технологических и социально-экологических проблем. Их решение в значительной степени связано с привлечением новых идей материаловедения на основе местного сырья, что существенно удешевляет производственные затраты.

Исторически производство ситаллов основано на достижениях в промышленности базальтового литья, научные истоки которого связаны с экспериментами Д. Аризеля в 1777 г. во Франции. Стеклокристаллические материалы (СКМ) этого типа в нашей стране возникли в результате широкомасштабных исследований по созданию отечественной минеральной сырьевой базы для производства стекла (Д.И. Соколов, А.П. Карпинский, П.В. Еремеев, И.И. Китайгородский, Д.С. Белякин и др.), а также в ответ на требования новой техники [1]. Под руководством академика Ф.Ю. Левинсон-Лессинга и профессора А.С. Гинзбурга в 1926 г. в Санкт-Петербургском политехническом институте была создана солидная школа по изучению минерального состава и физико-химических свойств горных пород с целью их использования в петрургии для получения технического камня [2]. Эффективность конструкционных синтетических материалов доказана созданием целой отрасли страны, в которой производили промышленную продукцию восемь заводов. Они обеспечивали развивающуюся промышленность лишь на 40% [3, 4].

Внедрение новых структурночувствительных методов (РФА, ДТА, ИКС, ЭПР и др.) и электронной микроскопии в середине XX в. в науку, в частности в техническую минералогию, способствовало ускоренному росту теоретических и технологических достижений в проблеме получения новых, более совершенных типов минеральных структур и принципиально новых материалов из кристаллизующегося стекла. Специфика химического состава и возможности контролируемой кристаллизации позволили получать материалы с наносубмикроструктурами, обеспечивающими уникальный неповторимый в материаловедении комплекс физико-технических, термомеханических и химических свойств. Управление составом и свойствами само по себе представляет инновационным подходом в материаловедении, потенциальный ресурс которого еще долго будет востребован.

Разработанные в бывшем СССР субмикрозернистые СКМ по предложению И.И. Китайгородского

получили название «ситаллы». Но этот термин не стал международным маргиналом. В США они называются «пирокерамы», в Германии – «витрокерам», в Венгрии – «минельбит», Чехии – «крисстон» и т.д. [1]. В значительной степени этот спектр терминов объясним особенностями научных подходов, а также минеральным составом исходного силикатного сырья и конечных продуктов синтеза.

С начала второй половины XX в. наметились три четко обособленных направления в проблеме синтеза ситаллов, различающихся по исходному сырью. Представители одного из них на основе смесей чистых оксидов разрабатывают **технические ситаллы** типа пирокерамов и фотоситаллов, например сподуменовые, кордиритовые и т.п. Именно технические ситаллы обеспечили стремительное развитие всех отраслей промышленности, новой техники, включая ракетную и ядерную, а также восстановительной медицины [5]. Второе направление специализируется на **петроситаллах** из горных пород базитового ряда. Третье – под влиянием осознания экологических проблем в качестве исходного сырья направлено на изучение возможностей безотходного комплексного и экологически чистого использования многотоннажных промышленных отходов, количество которых возрастало по экспоненте и превратилось в реальный фактор глобального экологического кризиса. Начатые в РХТУ (МХТИ) с 1959 г. исследования позволили впервые в мировой практике разработать производственные технологии получения листового **шлако-ситалла** белого и серого цветов методом непрерывной прокатки и прессования [6].

В Томском государственном университете фундаментальные и прикладные исследования в области физической геохимии силикатных систем и фазовых переходов в базитовых расплавах и магмах начаты в 1972 г. по инициативе профессоров И.К. Баженова и М.П. Кортусова. Исследованы механизм и кинетика фазовых превращений под воздействием основных внутренних и внешних факторов [7–9]. Разработана теория субсолидусной ликвации с образованием ряда когерентных структур, на ее основе с позиции кристаллофизики (а не исходного сырья) открыт новый класс СКМ «сикамы» (товарный знак № 92355 от 07.02.1990 г.), существенно отличающийся от известных **мировых аналогов** по энергетическим, экономическим и экологическим показателям. Эти преимущества закладываются на стадии теоретического расчета

их мономинерального состава с учетом пределов изоморфизма и относительной устойчивости полиморфных модификаций в изучаемых системах при неравновесных условиях, а также в качественных и количественных особенностях кристаллических структур. Последнее заключается в оптимальном сочетании фрактальных наноструктур и субмикроструктур [10–12]. Новизна подтверждена патентами (более 30) и созданием ресурсосберегающих технологических линий опытно-заводского и промышленного масштаба. Часть патентов оказалась среди победителей конкурсов разного уровня – от Администрации Томской области, ВДНХ (две серебряные и бронзовые медали) до Международной выставки, где отмечены Золотой медалью. Более 10 тыс. м² фасонных и плиточных изделий получено для нужд строительства, топливной, нефтедобывающей, машиностроительной отраслей и ВПК в Томске, Москве (НПО «Салют»), Ачинском глиноземном комбинате, Красноярском ХМЗ, Волгоградском ОАО «Химпром», Подольске, Барнауле, Новосибирске, Коканде, Иркутске и др. [13].

В настоящее время намечается возрождение интереса к российским разработкам, необходимым для обеспечения модернизации, повышения эффективности и экологической приемлемости в первую очередь базовых отраслей экономики. Формируются научно-технические программы и крупные корпорации, например «Урал Промышленный – Урал Полярный». В рамках последней по заданию Автономного учреждения Ямало-Ненецкого автономного округа (АУ ЯНАО) «Окружной технологический парк «ЯМАЛ»» нами с 2011 г. проводятся исследования по получению перспективных искусственных материалов класса сикамов, необходимых для повышения эффективности технологических решений добычи углеводородов, обеспечения модернизации и экологической безопасности производства.

Исходные породы и теоретические расчеты петроситаллов. Наличие местного природного сырья существенно удешевляет производственные затраты. Это связано с тем, что сырье в удельном весе стоимости петругигической продукции занимает не менее 48%. Вместе с тем при обустройстве, например,

нефтегазовых месторождений и строительстве дорог в условиях многолетнемерзлых пород самая затратная часть их стоимости – это строительные материалы. На один километр дороги III категории стоимость материалов составляет 15 млн руб. Из них стоимость металла для свайно-эстакадных дорожных и иных конструкций – 4 млн руб.

В восточной части Полярного Урала, в районе пос. Харп, были отобраны представительные пробы из карьеров трех месторождений. С месторождения Новогоднее были взяты пробы базальта и диабазы, с месторождения Амфиболитовое – образцы амфиболитов, а также известняки с месторождения Новогоднее II. Месторождение Новогоднее расположено в пределах Малоуральского краевого вулканоплутонического пояса (ВПП), прорванного интрузивными образованиями собского и конгорского комплексов. Месторождение Амфиболитовое локализовано в пределах распространения ханмейхойской свиты нижнего протерозоя.

С целью выяснения геодинамической истории вулканитов нами проанализировано (с помощью масс-спектрального метода) распределение редкоземельных элементов (РЗЭ), а также несовместимых высокозарядных элементов (Th, Nb, Zr, Ta, Hf) и микроэлементов с крупными ионными радиусами (Rb, Ba, Sr и др.). С помощью спайдер-диаграмм элементов, нормированных на примитивную мантию и по хондрит, сделаны выводы о том, что базиты Малоуральского ВПП (S-D) хорошо сопоставляются с содержанием этих элементов в базальтах островных дуг. Амфиболиты ханмейхойской свиты (PR₁) занимают неопределенную позицию. Геохимические признаки указывают на возможную принадлежность этих пород к формациям базальтов континентальных рифтов или океанических островов. Если учесть историю геологического развития региона, то первый вариант оказывается предпочтительней [14].

Авторами выполнены минералогические, петрохимические и экспериментальные исследования этих горных пород на предмет получения из них петроситаллов. В табл. 1 представлены химические составы исходных пород Полярного Урала (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Химический состав базитов Полярного Урала

Оксиды	1	2	3	4	5
SiO ₂	48,67	45,08	62,30	57,66	50,89
TiO ₂	0,37	0,59	1,05	0,79	1,79
Al ₂ O ₃	16,93	14,85	11,98	15,14	15,74
Fe ₂ O ₃	5,01	8,54	3,73	2,82	6,37
FeO	6,34	7,69	5,51	4,27	5,25
MgO + MnO	5,80	7,73	3,05	3,36	4,57
CaO	11,84	9,95	5,96	5,11	7,28
Na ₂ O	2,00	1,40	1,43	2,93	3,67
K ₂ O	0,12	0,17	2,33	2,20	1,09
P ₂ O ₅	0,02	0,07	0,12	0,31	0,73
H ₂ O	0,28	0,30	0,17	0,38	0,39
П.п.п.	2,31	2,74	1,26	4,21	1,18
Сумма	99,69	99,11	98,89	99,18	98,95

Примечание. 1 – базальт; 2 – основной пикробазальт; 3 – низкощелочной андезит (метаморфизованный базальт); 4 – высокощелочной андезит (амфиболитовый базальт); 5 – средний состав основных дайковых форм вулканитов [14].

Анализы выполнены с помощью масс-спектрального метода с индуктивно связанной плазмой в химико-аналитическом центре «Плазма» (аналитик-исследователь 1-й категории А.Н. Маковенко).

зованных и амфиболизированных базитов, соответствующих высоко- и низкощелочным андезитам (рис. 1).

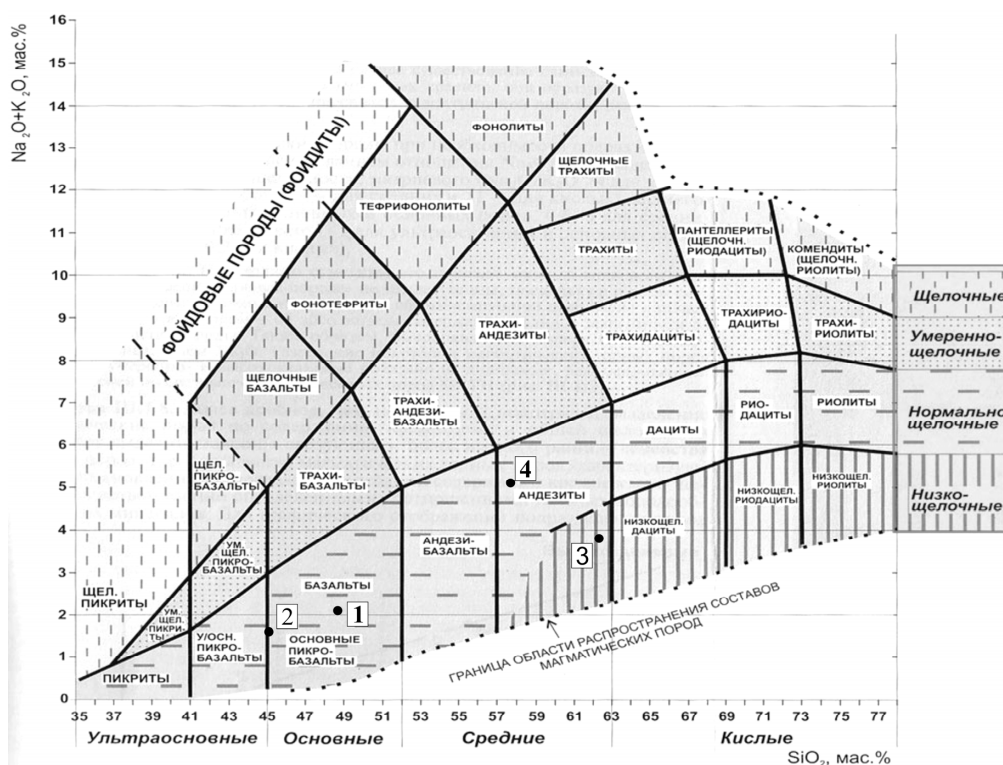


Рис. 1. Диаграмма TAS для химической классификации магматических (вулканических) горных пород.
Номера точек соответствуют табл. 1

роста кристаллов. В НИЛ КМК ТГУ разработана собственная методология, ставшая классической, и накоплен большой опыт изучения кинетических параметров кристаллизации стекол. Эти пробы исследованы в лаборатории ЦКП аналитического центра ГПС ТГУ с помощью ДТА на приборе NETZSCHSTA 409 PC/PG в интервале 20–1100°C. Получены термограммы с четко выраженными эндоэффектами (T_1), соответствующими температурам образования зародышей основной фазы, и еще более контрастными экзоэффектами (T_2), отвечающими за рост кристаллов (рис. 3, табл. 3). Дополнительно установлены важные физико-химические характеристики стекол: 1) изменение теплоемкости в температурном интервале 150–1100°C и 2) температуры стеклования образцов.

Для каждого состава проведены кинетические эксперименты. Варьировали температуры и время изотермического нагрева на ступени T_1 и T_2 , а также скорости нагрева от T_1 до T_2 . Время изотермического нагрева на T_1 варьировали от 15 до 75 мин, на ступени роста кристаллов – от 15 до 60 мин. Из закристаллизованных и отоженных образцов – продуктов экспериментов – приготовлены прозрачные шлифы и полированные аншлифы для изучения структурно-текстурных свойств и фотографирования. По результатам изучения был сделан вывод, что оптимальное время изотермического нагрева на ступенях T_1 и T_2 должно быть не менее 45 мин. На аншлифах с помощью алмазной пирамидки и микроскопа ПМТ-3 проведено определение микротвердости.

225

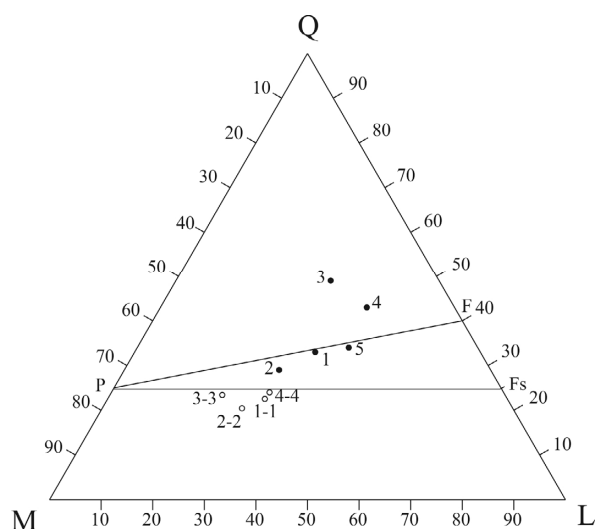


Рис. 2. Проекция составов пород по нормативно-молекулярному методу П. Ниггли.
Номера точек соответствуют номерам исходных составов на рис. 1.
Двойные номера (1–1, 2–2 и т.д.) – откорректированные составы

Т а б л и ц а 2

Кристаллохимические формулы петроситаллов

№ пробы	Подрешетки в формуле пироксенов		
	M ₂	M ₁	R
1	(Ca _{0,86} Na _{0,13} K _{0,01})	(Ca _{0,06} Mg _{0,29} Fe ⁺² _{0,18} Fe ⁺³ _{0,13} Al _{0,34})	(Si _{1,65} Ti _{0,01} Al _{0,34})O ₆
2	(Ca _{0,9} Na _{0,09} K _{0,01})	Mg _{0,4} Fe ⁺² _{0,22} Fe ⁺³ _{0,22} Al _{0,20})	(Si _{1,57} Ti _{0,02} Al _{0,41})O ₆
3	(Ca _{0,83} Na _{0,08} K _{0,09})	(Ca _{0,4} Mg _{0,13} Fe ⁺² _{0,13} Fe ⁺³ _{0,08} Al _{0,25})	(Si _{1,81} Ti _{0,02} Al _{0,16})O ₆
4	(Ca _{0,74} Na _{0,18} K _{0,09})	(Ca _{0,29} Mg _{0,16} Fe ⁺² _{0,11} Fe ⁺³ _{0,07} Al _{0,38})	(Si _{1,79} Ti _{0,02} Al _{0,18} P _{0,01})O ₆

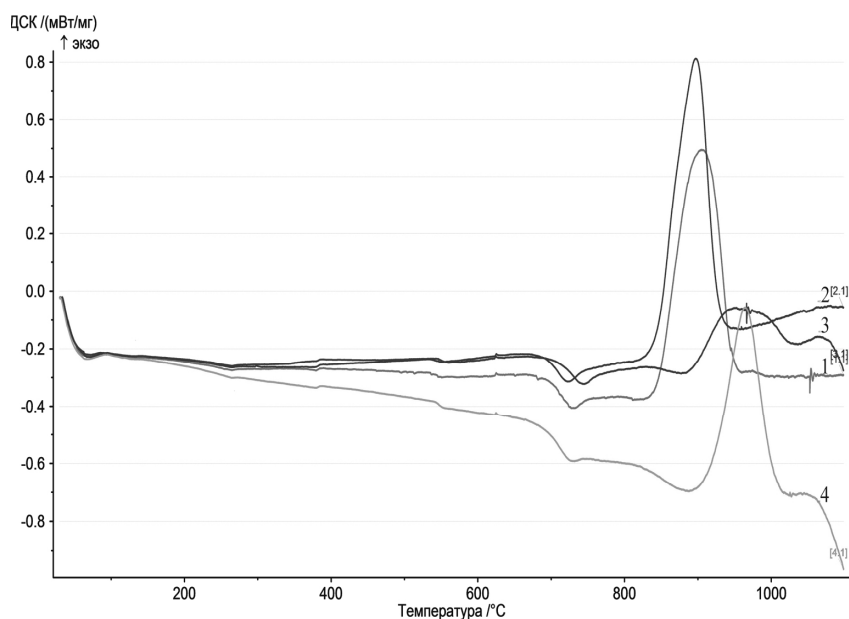


Рис. 3. Термограммы нагревания синтезированных стекол. Номера соответствуют двойным номерам на рис. 2

Т а б л и ц а 3

Результаты ДТА стекол на основе базитов Полярного Урала

№ пробы	T ₁ , °C	E ₁ , мВт/мг	T ₂ , °C	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. E₁ – энергия активации зародышеобразования; E₂ – энергия роста кристаллов (аналитик – Е.М. Асочакова).

Двухстадийный механизм ситаллизации метасиликатных систем отлично укладывается в теоретические построения «Математической теории гармонии», когда в процессе самоорганизации система (с учетом внутренних и внешних факторов) достигает гармонического структурно-энергетического уровня. При этом между отдельными частями системы устанавливается некоторое количественное отношение, выражаемое числом, равным «обобщенной золотой пропорции» [16, 17]. Авторы этой теории подтвердили гипотезу В.И. Вернадского о неевклидовом характере геометрии живой природы и пропагандируют расширение «закона структурной гармонии» на инноваци-

онное решение назревших проблем в технологиях, экономике, экологии и т.п.

В целом дальнейшее развитие естественно-научного знания и космологических исследований невозможно представить без золотого сечения [18–21]. При этом установлено, что все физические константы могут быть выражены через золотую пропорцию. Начиная с Пифагора, ученые принимали за гармонию единственную золотую пропорцию $\tau = (1 + \sqrt{5})/2 = 1,618$. Используя отношения значений термодинамических величин E_2 и E_1 , получаем среднее значение, равное 1,732. Эта величина является отражением «закона структурной гармонии» метасиликатных систем класса сикамов (рис. 4, 5).

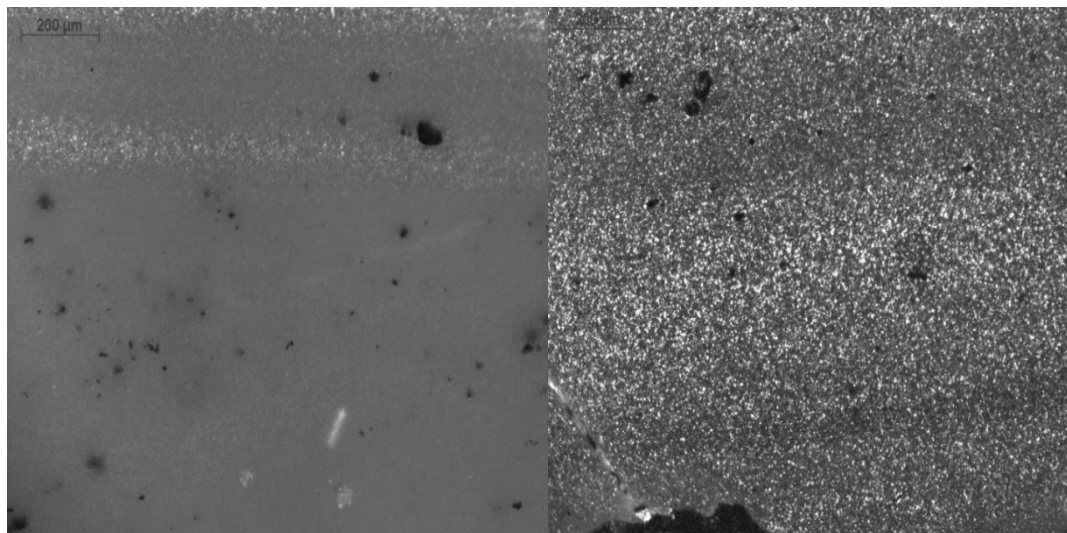


Рис. 4. Влияние времени изотермического нагрева на ступенях T_1 и T_2 на структуру и степень кристаллизации

По комплексу основных технологических свойств определены оптимальные условия синтеза. Во-первых, закристаллизованные по оптимальным режимам образцы в виде плиток были правильной геометрической формы, однородной текстуры и без видимой деформации. Во-вторых, под микроскопом отсутствуют «порфировые» образования, структура наиболее однородная, средний размер кристаллов составляет 5–8 мкм. Используя оптимальные температурно-временные параметры, получены плиты следующих размеров (в мм): $100 \times 50 \times 8$, $150 \times 150 \times 15$. Из них приготовлены образцы для изучения физико-химических свойств, а также пробы для рентгенофазового анализа.

Минеральный состав, структуры, текстуры и физико-химические свойства петроситаллов. Результаты рентгенофазового анализа сопоставлялись с табличными данными АСТМ (Crystallographica Search-Match). Получены подтверждения оптимальности исходных составов и технологических параметров. Установлено, что синтезированные петроситаллы отвечают классу сикамов, поскольку они, в отличие от известных петро- и шлакоситаллов [22], имеют мономинеральный метасиликатный состав. По результатам РФА они соответствуют чистому диопсиду ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), либо твердым растворам моноклинных пироксенов диопсид-геденбергитового ряда, либо твердому раствору состава моноклинные пироксены – β-воластонит с субмикроструктурными структурами (рис. 6), что и определяет их высокие эксплуата-

ционные свойства (табл. 4). Эксперименты показали, что в неравновесных условиях пределы изоморфизма в группе пироксенов – пироксеноидов существенно расширены, а избыточные элементы – стеклообразователи остаются в стеклофазе.

По физико-химическим свойствам петроситаллы из природного сырья Полярного Урала могут найти широкое применение в новой технике, в различных сферах производственных процессов нефтегазовой и других отраслей. Во-первых, высокая износостойкость и химическая стойкость делают их эффективными в качестве футеровочного материала для различных трубопроводов, лотков цепных транспортеров, желобов и т.п. Срок службы трубопроводов, защищенных износостойкими ситаллами, в 20 раз больше металлических, а срок службы оборудования, футерованного износостойкими плитами, в 10–12 раз продолжительнее, чем у незащищенного стеклокристаллическими материалами оборудования [22]. Во-вторых, по причине нахождения значительной территории России в районах распространения вечной мерзлоты на первый план выступают проблемы инновационного строительства качественных промышленных автомобильных и железных дорог, аэродромов и т.д., вплоть до искусственных островов-атоллов для морской газо- и нефтедобычи.

Для автомобильных и железнодорожных трасс, в первую очередь Западносибирского Заполярья, разра-

батываются проекты с применением свайно-эстакадной плитной конструкции, внутри которой проходят все необходимые коммуникации. В основе конструкции лежит новейшая разработка винтовой сталеситалловой криосваи из нового материала – пет-

роситалла класса «сикам» на основе местного природного сырья, на которые крепятся упрочненные (например, армированием) универсальные дорожно-фундаментные петроситалловые плиты (УДП 6–2–0,1 и 4–2–0,1 м) (рис. 7).

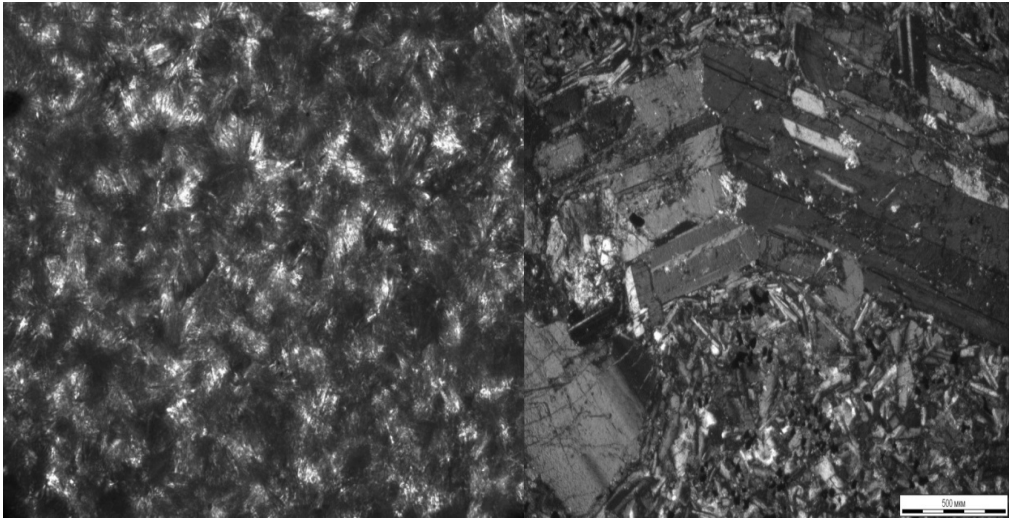


Рис. 5. Субмикросферолитовая структура мономинерального пироксенового ситалла, получаемая при оптимальных технологических параметрах (слева), в сравнении с исходным габбро-порфиритом (с вкраплениями плагиоклаза в микроаллотриоморфной основной массе)

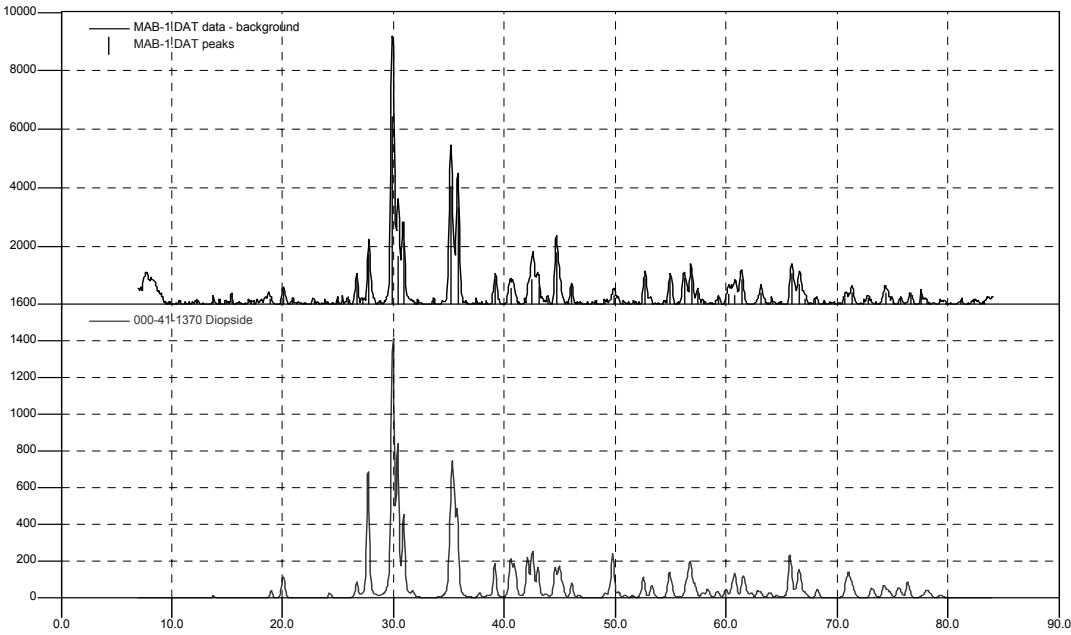


Рис. 6. Рентгенограмма петроситалла из пробы № 1 (вверху) и эталонный диопсид № 000-41-1370 (внизу)

Таблица 4
Основные свойства синтезированных петроситаллов класса «сикам», каменного литья и других конструкционных материалов

Показатель (свойство)	Петроситаллы класса «сикам»	Каменное литье*	Бетон *	Чугун *
Коэффициент линейного расширения (КТР) 107°С ⁻¹	65–114	48–100	100	100
Температура начала размягчения, °С	950–1100	900–1050	–	–
Сопротивление истиранию, г/см ²	0,015–0,04	0,02–0,08	–	–
Предел прочности, МПа: при статическом изгибе	100–188	47–80	–	280
Предел прочности, МПа: при сжатии	707–909	250–500	5–60	800–1 000
Хим. стойкость, %:				
H ₂ SO ₄	94,6–99,9	99,8	–	–
NaOH	98,0–99,0	98,5	–	–
Стоимость 1 м ³ материалов, руб.	9 000 на заводе петроситаллов в п. Харп, ЯНАО	30 000	9 000–24 000 в ЯНАО	112 000

* – по данным [22].

Такая конструкция позволяет организовать водопропускные сооружения, туннели для прогона скота, оленей, путепроводы и т.п. Кроме того, по своей сути, свайно-дорожная конструкция является готовым мостовым сооружением и позволяет прокладывать дороги напрямую через овраги, реки и озера либо укладывать новое полотно прямо на ста-

рые дороги. По этому же принципу возможно строительство взлетно-посадочных полос, искусственных островов-атоллов (рис. 8) для морской газо- и нефтедобычи на мелководных участках шельфа, обустройство площадок для нужд нефтегазодобывающих предприятий и других производственных нужд.

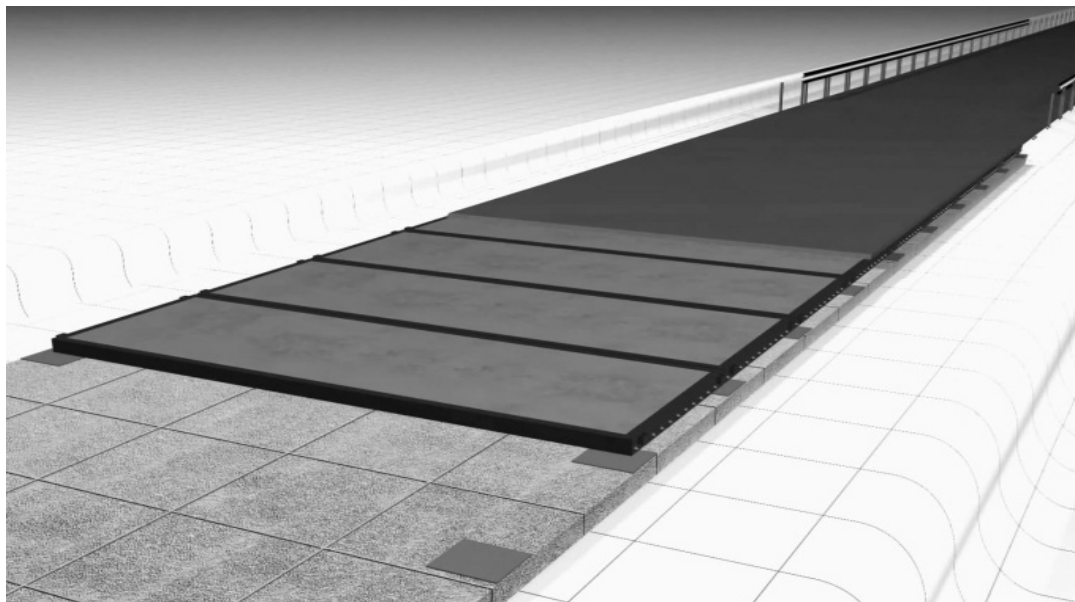


Рис. 7. Свайно-эстакадная конструкция с применением сталепетроситалловых криосвай

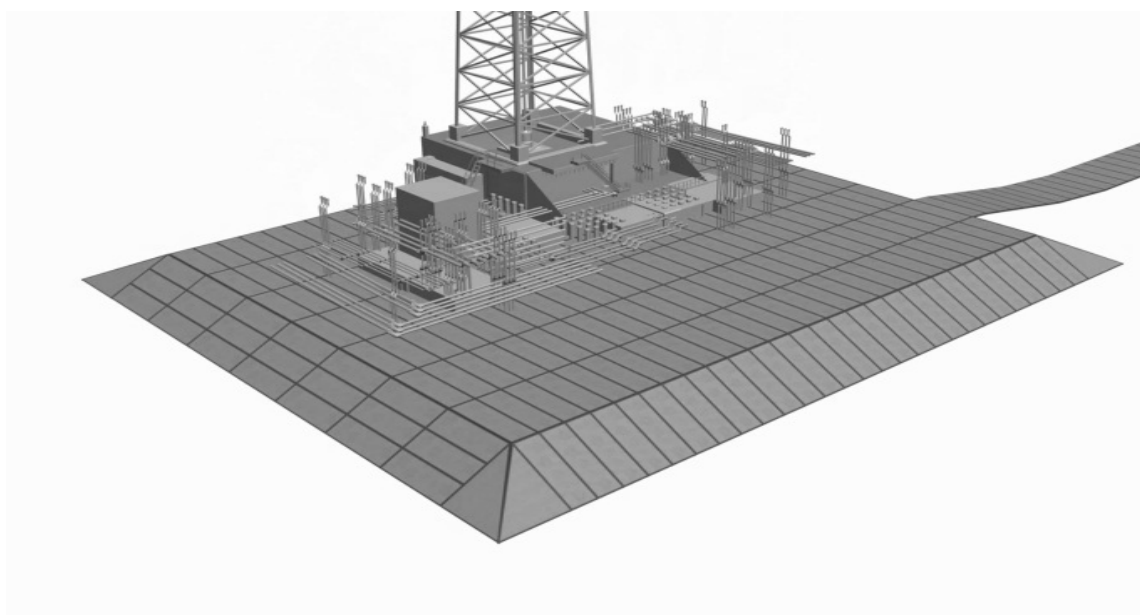


Рис. 8. Буровая площадка на основе свайно-эстакадной конструкции с покрытием сталепетроситалловыми плитами

Кроме петроситалловых труб, винтовых свай и плит, для строительства арочных мостов, туннелей и куполов можно изготовить специальные сборные элементы – тюбинги и многоугольники. Если из петроситалловых плит пятиугольной и шестиугольной формы собрать сферы и купола архитектора Б. Фуллера в форме оксаэдров диаметром 100–300 м, то их можно применить как неуязвимый для льдов искусственный остров на шельфе арктических морей на

глубинах 100–300 м (рис. 9). Внутри этого высокопрочного острова-купола можно разместить нефтедобывающее оборудование. Такое инженерное решение намного дешевле применения морских буровых платформ, которые к тому же не способны работать в ледовой обстановке Арктики. Из петроситалловых тюбингов можно строить мосты и туннели по стоимости в два-три раза дешевле, чем из чугунных тюбингов.

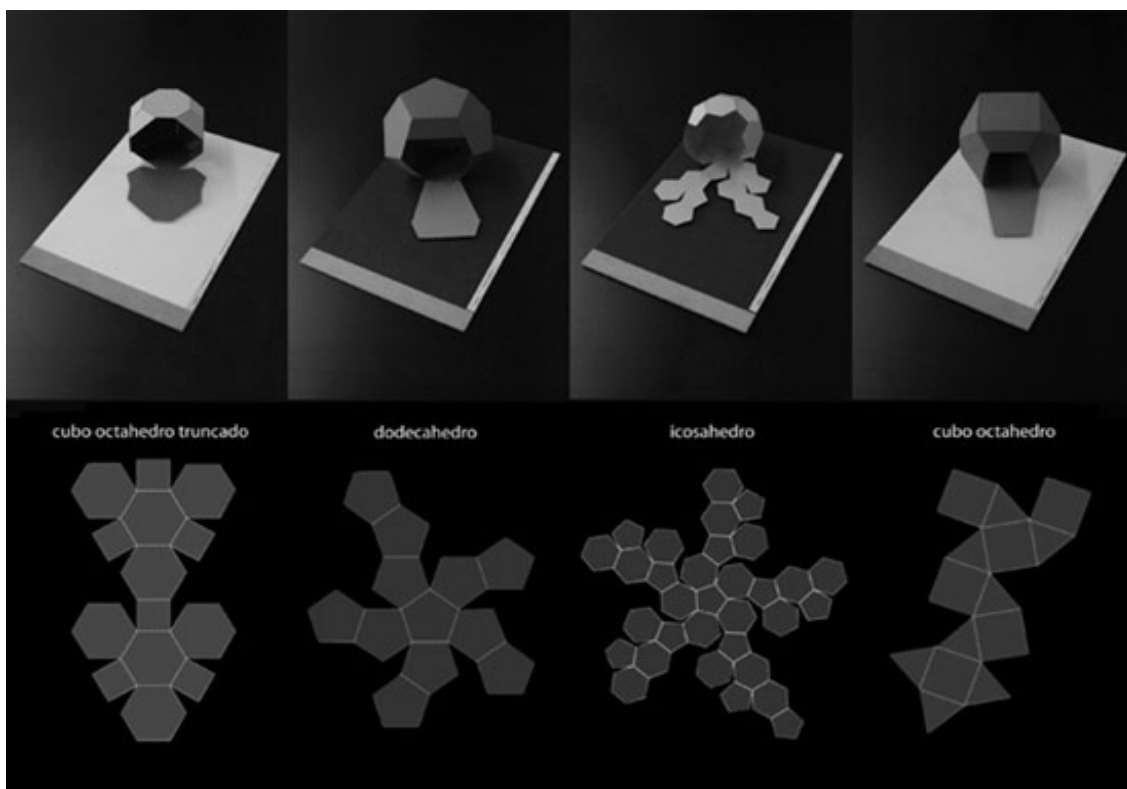


Рис 9. Сборные элементы для объемных многоугольников сфер и куполов Б. Фуллера: кубооксаэдр, додекаэдр, косаэдр и кубооктаэдр

Учитывая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1) вмещающие вулканические базиты золоторудных месторождений Полярного Урала образуют ряд от свежих пикробазальтов и габбро-порфиров до метаморфизованных пород состава андезитов;

2) при изучении трендов распределения редкоземельных и рассеянных элементов получены «точечные» факты, подтверждающие в целом современную гипотезу развития Уральского складчатого пояса;

3) теоретически рассчитанные и экспериментально уточненные химические составы и технологические параметры процесса двухстадийной ситаллизации метасиликатных стекол и расплавов позволяют получать качественный конструкционный материал;

4) установлено значение золотой пропорции для структурной гармонии ситаллов метасиликатного состава класса «сикам»;

5) исследование полученных петроситаллов показало, что по физико-химическим свойствам они превосходят традиционные материалы, удовлетворяют требованиям современной промышленности и дешевле стальных и бетонных конструкций;

6) предложенное технологическое решение может частично решить проблему утилизации отходов горнодобывающей отрасли;

7) на текущий момент методологию получения новых петроситаллов класса «сикам» можно считать полностью опробованной в лабораторных условиях и готовой к заводским испытаниям;

8) петроситалловые конструкции в виде свай, плит, тубингов и фуллеровских сборных элементов из местного сырья в несколько раз дешевле, прочнее и долговечнее, чем из бетона и металла. Использование новых конструкций при освоении шельфа Арктики может принести экономию в сотни миллиардов рублей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мананков А.В. Основы технической минералогии и петрографии. Томск : ТГУ, 1979. 193 с.
2. Левинсон-Лессинг Ф.Ю. Письмо оргкомитету совещания по экспериментальной петрографии // Труды 2-го совещания по экспериментальной минералогии и петрографии. М. : Л. : Наука, 1937.
3. Шапошников А.П., Суварева В.С. Справочные материалы по каменному литью. М. : ГИС, 1968. 65 с.
4. Шапошников А.П., Тимофеева Л.К. Влияние структуры и фазового состава на термостойкость каменного литья // Кристаллизация окисных расплавов и свойства литых изделий. Киев : Наукова Думка, 1972. 108 с.
5. Мананков А.В. Современное материаловедение и нанотоксикология // Новые технологии создания и применения биокерамики в восстановительной медицине : материалы Междунар. научно-практ. конф. Томск : ТПУ, 2010. С. 107–117.
6. Павлушкин Н.М., Саркисов П.Д. Использование отходов промышленности в производстве стекла и стеклокристаллических материалов // ЖВХО им. Менделеева. 1975. Т. XX, № 2.
7. Экспериментальное исследования условий кристаллизации петругрических расплавов и стекол : учеб. пособие / Мананков А.В. и др. Томск : ТГУ, 1976. 202 с.
8. Мананков А.В., Шарапов В.Н. Кинетика фазовых переходов в базитовых расплавах и магмах Новосибирск : Наука, 1985. 175 с.
9. Мананков А.В. Физико-химические основы наноструктурной минералогии в получении современных материалов // Вестник ТГАСУ. 2012. № 2. С. 120–136.

10. Мананков А.В. О механизме микроликвации в силикатных расплавах и стеклах // ДАН СССР. 1979. Т. 244, № 6. С. 1461–1464.
11. Мананков А.В. О механизме ликвации в силикатных системах // ДАН СССР. 1979. Т. 246, № 4. С. 942–946.
12. Мананков А.В. О механизме и кинетике кристаллизации магматических расплавов основного состава // ДАН СССР. 1980. Т. 251, № 6. С. 1472–1476.
13. Мананков А.В., Горюхин Е.Я., Локтюшин А.А. Востокитовые, пироксеновые и другие материалы из промышленных отходов и недр природного сырья. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. 168 с.
14. Мананков А.В., Бычков Д.А., Быков Н.Е., Страхов Б.С. Петрохимия и геохимия редкоземельных и рассеянных элементов в базитах Полярного Урала и Томских диабазах // Минералогия, геохимия и полезные ископаемые Азии. Томск : Томский ЦНТИ. Вып. 2. С. 145–15015.
15. Врублевский В.А., Нагорский М.П., Рубцов А.Ф., Эрве Ю.Ю. Геологическое строение области сопряжения Кузнецкого Алатау и Колывань-Томской складчатой зоны. Томск : ТГУ, 1987. 96 с.
16. Сороко Э.М. Структурная гармония систем. Минск : Наука и техника, 1984. 234 с.
17. Stakhov A. The Generalized Principle of the Golden Section and its applications in mathematics, science and engineering // Chaos, Solitons & Fractals. 2005. № 26 (2). P. 263–289.
18. Бондар О.Я. Золотое сечение и неевклидова геометрия в природе и искусстве. Львов : Свит, 1994. 165 с.
19. Владимиров Ю.С. Кварковый икосаэдр, заряды и угол Вайнберга // Проблемы Гармонии, Симметрии и Золотого Сечения в Природе, Науке и Искусстве : материалы Междунар. конф. Винница : Изд-во ВинАИ, 2003. С. 69–79.
20. El Naschie MS. Elementary number theory in superstrings, loop quantum mechanics, twistors and E-infinity high energy physics // Chaos, Solitons & Fractals. 2006. № 27 (2). P. 297–330.
21. Mauldin R.D., Williams S.C. Random recursive constructions: asymptotic geometric and topological properties // Trans. Am. Math. Soc. 1986. № 295. P. 325–346.
22. Павлушкин Н.М. Основы технологии ситаллов. М. : Стройиздат, 1979. 360 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 5 марта 2014 г.

HIGH-STRENGTH PETROSITALLS FOR WORKING IN SPECIAL CONDITIONS OF THE ARCTIC

Tomsk State University Journal. No. 386 (2014), 223-232. DOI: 10.17223/15617793/386/37

Manankov Anatoliy V. Tomsk State University of Architecture and Building (Tomsk, Russian Federation). E-mail: mav.39@mail.ru

Vladimirov Valeriy M. Tomsk State University of Architecture and Building (Tomsk, Russian Federation). E-mail: valera.vladimirov1949@mail.ru

Strakhov Boris S. Center for Independent Forensic Examinations of the Russian Foundation Teheko (Tomsk, Russian Federation). E-mail: sbs1948@list.ru

Keywords: petrositalls; subsolidus segregation; thermogram; activation energy of the nucleation and crystal growth; fractality of crystal structures; pile-elevated road construction; Fuller's dome.

The object of research is the rock of the Polar Urals and manufacture of petrositalls based on them. The purpose is a theoretical calculation and experimental glass-ceramic materials production based on class of the sikam rocks of the Polar Urals. In operation, we studied rocks petrochemicals, calculated compositions and process parameters for obtaining petrositalls. The calculated composition was performed by the method of molecular regulatory of P. Niggli. It allows adjusting the compositions of monomineral metasilicates with a vast field of isomorphic structures like clinopyroxene and wollastonite. It is these metasilicates that are the most promising because submicrocrystalline structures provide a number of materials with valuable physico-chemical and mechanical properties. The calculation of the theoretical chemical and mineral composition of petrositalls was obtained. By the basic properties of the complex we determined the optimal conditions for the synthesis of nanostructures of fractal crystals of pyroxene and wollastonites. We received the confirmation of the optimality of initial compositions and process parameters. Synthesized petrositalls meet sikam class and have a monomineral metasilicate composition. In this case by the results of XRD they correspond to either pure diopside ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), or solid solutions of clinopyroxene diopside-hedenbergite series, or a solid solution of clinopyroxene- β -wollastonite with a nano- and submicrocrystalline structure that defines their superior performance. Pictures of the processes of controlled nanocrystal synthesis made in the electron microscope prove the fractal nature of these processes. As a large territory of Russia is located in permafrost areas, there are urgent problems of innovative high quality industrial construction of roads and railways, airfields and so on, even artificial islands, atolls for offshore gas and oil production. For road and rail routes primarily West Siberian Arctic projects are being developed with the use of plate piled trestle structure within which pass all the necessary communications. Findings. In the study of the possibility of obtaining petrositalls in three fields of rocks of the Polar Urals the following results were obtained: 1) the theoretically calculated and experimentally sophisticated technological parameters of pyroxene crystallization and of wollastonite allow receiving quality construction material; 2) the study of the samples of petrositalls showed that they correspond to the expected results and meet the requirements of modern industry and are cheaper than steel and concrete structures; 3) the proposed technological solution can partially solve the problem of disposal of waste of the mining industry; 4) besides the study of trends in the distribution of rare and trace elements we obtained "point" facts in favor of the existing hypothesis of the development of the Urals fold belt; 5) the currently elaborated new methodology of petrositalls sikam class can be considered fully tested in the laboratory and finished to factory tests; 6) petrositall constructions like piles, plates, tubing are several times cheaper, stronger and more durable than concrete and metal. Using the new designs during the development of the Arctic shelf can bring savings of hundreds of billions rubles.

REFERENCES

1. Manankov A.V. *Osnovy tekhnicheskoy mineralogii i petrografii* [Fundamentals of technical mineralogy and petrography]. Tomsk: TSU Publ., 1979. 193 p.
2. Levinson-Lessing F.Yu. [Letter from the organizing committee meeting on experimental petrography]. *Trudy 2-go soveshchaniya po eksperimental'noy mineralogii i petrografii* [Proceedings of the 2nd meeting for experimental mineralogy and petrography]. Moscow; Leningrad: Nauka Publ., 1937. (In Russian).
3. Shaposhnikov A.P., Suvareva V.S. *Spravochnye materialy po kamennomu lit'yu* [Reference material on stone casting]. Moscow: GIS Publ., 1968. 65 p.

4. Shaposhnikov A.P., Timofeeva L.K. *Vliyaniye struktury i fazovogo sostava na termostoykost' kamennogo lit'ya* [Influence of structure and phase composition on the heat resistance of stone casting]. In: *Krystallizatsiya oksykh rasplavov i svoystva litykh izdeliy* [Crystallization of oxide melts and properties of cast products]. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1972. 108 p.
5. Manankov A.V. [Modern materials and nanotoxicology] *Novye tekhnologii sozdaniya i primeneniya biokeramiki v vosstanovitel'noy meditsine : materialy Mezhdunar. nauchno-prakt. konf.* [New technologies of production and application of bioceramics in regenerative medicine: materials of the international scientific-practical conference]. Tomsk: TPU Publ., 2010, pp. 107-117. (In Russian).
6. Pavlushkin N.M., Sarkisov P.D. Ispol'zovanie otkhodov promyshlennosti v proizvodstve stekla i steklokristallicheskikh materialov [The use of industrial wastes in the production of glass and glass-ceramic materials]. *ZhVKhO im. Mendeleeva – Mendeleev Chemistry Journal*, 1975, vol XX, no. 2.
7. Manankov A.V. et al *Eksperimental'noe issledovaniya usloviy krystallizatsii petrugicheskikh rasplavov i stekol* [Experimental studies of crystallization conditions of petrugical melts and glasses]. Tomsk: TSU Publ., 1976. 202 p.
8. Manankov A.V., Sharapov V.N. *Kinetika fazovykh perekhodov v bazitovykh rasplavakh i magmakh* [The kinetics of phase transitions in mafic melts and magmas]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985. 175 p.
9. Manankov A.V. Physical and chemical basis of nanostructural mineralogy at obtaining the modern materials. *Vestnik TGASU – Vestnik of Tomsk State University of Architecture And Building*, 2012, no. 2, pp. 120-136. (In Russian).
10. Manankov A.V. O mekhanizme mikrolikvatsii v silikatnykh rasplavakh i steklakh [On the mechanism of microphase separation in silicate melts and glasses]. *DAN SSSR*, 1979, vol. 244, no. 6, pp. 1461-1464.
11. Manankov A.V. O mekhanizme likvatsii v silikatnykh sistemakh [On the mechanism of phase separation in silicate systems]. *DAN SSSR*, 1979, vol. 246, no. 4, pp. 942-946.
12. Manankov A.V. O mekhanizme i kinetike krystallizatsii magmaticheskikh rasplavov osnovnogo sostava [On the mechanism and kinetics of crystallization of magmatic melts of basic composition]. *DAN SSSR*, 1980, vol. 251, no. 6, pp. 1472-1476.
13. Manankov A.V., Goryukhin E.Ya., Loktyushin A.A. *Vollastonitovye, piroksenovye i drugie materialy iz promyshlennykh otkhodov i nedefitsitnogo prirodnogo syr'ya* [Wollastonite, pyroxene and other materials from industrial waste and available natural resources]. Tomsk: TSU Publ., 2002. 168 p.
14. Manankov A.V., Bychkov D.A., Bykov N.E., Strakhov B.S. *Petrokhimiya i geokhimiya redkozemel'nykh i rasseyannykh elementov v bazitakh Polyarnogo Urala i Tomskikh diabazakh* [Petrochemistry and geochemistry of rare and dispersed elements in basites of the Polar Urals and Tomsk diabases]. In: Konovalenko S.I. (ed.) *Mineralogiya, geokhimiya i poleznye iskopaemye Azii* [Mineralogy, geochemistry and mineral resources of Asia]. Tomsk: Tomskiy TsNTI Publ., 2013. Issue 2, pp. 145-150.
15. Vrublevskiy V.A., Nagorskiy M.P., Rubtsov A.F., Erv'e Yu.Yu. *Geologicheskoe stroenie oblasti sopryazheniya Kuznetskogo Alatau i Kolyvan'-Tomskoy skladchatoy zony* [Geological structure of the junction area of the Kuznetsk Alatau and the Kolyvan-Tomsk folded zone]. Tomsk: TSU Publ., 1987. 96 p.
16. Soroko E.M. *Strukturnaya garmoniya sistem* [Structural harmony of systems]. Minsk: Nauka i tekhnika Publ., 1984. 234 p.
17. Stakhov A. The Generalized Principle of the Golden Section and its applications in mathematics, science and engineering. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2005, no. 26 (2), pp. 263-289. DOI: 10.1016/j.chaos.2005.01.038
18. Bondar O.Ya. *Zolotoe sechenie i neevklidova geometriya v prirode i iskusstve* [Golden Section and non-Euclidean geometry in nature and art]. Lviv: Svit Publ., 1994. 165 p.
19. Vladimirov Yu.S. [Quark icosahedron, charges and Weinberg angle]. *Problemy Garmonii, Simmetrii i Zolotogo Secheniya v Prirode, Nauke i Iskusstve : materialy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Problems of Harmony, Symmetry and the Golden Section in Nature, Science and Art: Proceedings of the International conference]. Vinnitsa: VinAI Publ., 2003, pp. 69-79. (In Russian).
20. El Naschie M.S. Elementary number theory in superstrings, loop quantum mechanics, twisters and E-infinity high energy physics. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2006, no. 27 (2), pp. 297-330. DOI: 10.1016/j.chaos.2005.04.116
21. Mauldin R.D., Willams S.C. Random recursive constructions: asymptotic geometric and topological properties. *Trans. Am. Math. Soc.*, 1986, no. 295, pp. 325-346. DOI: <http://dx.doi.org/10.1090/S0002-9947-1986-0831202-5> - See more at: <http://www.ams.org/journals/tran/1986-295-01/S0002-9947-1986-0831202-5/#sthash.6feiZXTC.dpuf>
22. Pavlushkin N.M. *Osnovy tekhnologii sitallov* [The basic technology of glass-ceramics]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1979. 360 p.

Received: 5 March 2014