

Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 6. С. 212–226.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (6): 212–226.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 549.642:549.07+67.0048+553.61

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-212-226

EDN: JIFYYL

ОСОБЕННОСТИ НАНО-МЕЗОСТРУКТУРНОЙ ДИНАМИКИ В СТЕКЛАХ ПРИ СОЗДАНИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Анатолий Васильевич Мананков

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. Актуальность. Различные попытки объяснения кристаллизации вязких силикатных расплавов в условиях разной стационарности обусловлены растущей потребностью в новых материалах, обеспечивающих технологический прогресс. В настоящее время принято считать, что все многообразие твердых материалов охватывается несколькими фазовыми состояниями с кристаллическими структурами, починающимися федоровским пространственным группам. Элементарная ячейка обладает параметрами, транслируя которые, можно построить достаточно реалистичную картину описания кристаллов, определяемую фазой по Гиббсу. Данные экспериментальной минералогии часто расходятся с традиционными представлениями, особенно при описании аномальной кинетики диффузии и кристаллизации в стеклах и ситаллах.

Цель работы – разработка способа описания кристаллов, учитывающего силы не менее равной величины, так или иначе связанные с внутренними свойствами и колебательными модами. Для этого мы использовали нашу голографическую модель вещества, в которой эти взаимодействия могут образовывать собственные когерентные структуры со своими типами резонансных решеток.

Решены следующие задачи: выявлены факторы структурной упорядоченности, определяемые пространственно-временной когерентностью; обоснована резонансная модель динамических структур, адекватно описывающая кинетику низкоэнергетических фазовых превращений; разработана классификация материалов по природе связей и типам когерентности.

Методы. Модель обобщенного подхода к оценке разномасштабных процессов и явлений основана на результатах экспериментальных исследований и их анализе с учетом известных представлений электродинамики и волновой механики.

Результаты. Впервые разработана модель пространственно замкнутых динамических структур реального вещества, описывающая объекты и взаимодействия на микро-, мезо- и макроуровнях как совокупность автоинтерференции замкнутого волнового процесса. Взаимодействие между областями конструктивной интерференции происходит на частотах биений основного волнового процесса, генерируя пространственную решетку следующего иерархического уровня.

Ключевые слова: метасиликаты, сикам, петро-шлакоситаллы, минеральное сырье, промышленные отходы, автоинтерференция, спинодальный распад, изоморфизм

Для цитирования: Мананков А.В. Особенности нано-мезоструктурной динамики в стеклах при создании новых материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 6. С. 212–226. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-212-226. EDN: JIFYYL

ORIGINAL ARTICLE

**DYNAMICS OF GLASS NANO-MESOSTRUCTURE
IN CREATING NEW MATERIALS****Anatoly V. Manankov***Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

Abstract. Relevance. Various attempts to explain crystallization of viscous silicate melts under varying steady-state conditions are driven by the growing need for new materials that enable the technological progress. It is currently accepted that the entire diversity of solid materials is encompassed by several phase compositions with the crystal structure obeying Fedorov space groups. The unit cell has parameters, translating which one can construct a fairly realistic picture of the crystal description, determined by the Gibbs phase. Experimental mineralogy data often diverge from traditional concepts, especially when describing the anomalous kinetics of diffusion and crystallization in glasses and glass-ceramics.

Purpose: The development of a method for describing crystals with respect to forces of at least equal magnitude, which relate to internal properties and oscillatory modes. The holographic model of matter is proposed, in which these interactions can form their own coherent structures with their own types of resonant lattices.

Methodology: The generalized approach is used to assess multi-scale processes and phenomena based on the experimental data and their analysis, taking into account well-known concepts of electrodynamics and wave mechanics.

Research findings: The factors of structural order are determined by spatio-temporal coherence; a resonance model of dynamic structures that adequately describes the kinetics of low-energy phase transitions is substantiated; materials are classified according to the nature of bonds and types of coherence.

Value: For the first time, a model of spatially closed dynamic structures of real matter is developed to describe objects and interactions at the micro-, meso- and macro-levels as a set of auto-interference of a closed wave process. The interaction between areas of constructive interference is observed at frequencies of the main wave process, generating a spatial lattice of the next hierarchical level.

Keywords: metasilicates, sikam, petrurgical glass-ceramics, mineral raw materials, industrial waste, auto-interference, spinodal decomposition, isomorphism

For citation: Manankov A.V. Dynamics of Glass Nano-Mesostructure in Creating New Materials. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (6): 212–226. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-212-226. EDN: JIFYYL

Введение

Существующие модели фазовых переходов в силикатных расплавах, со- средоточенные на процессах на границе кристалл – расплав [1], не объясняют наблюдаемую кинетику из-за ограничений диффузии. Высокие скорости кристаллизации стекол потребовали разработки новых подходов, учитывающих их структуру и реологию [2, 3]. Предложенная динамическая модель [4] связывает скорость кристаллизации с глубиной переохлаждения и режимами термообработки. Согласно этой модели ориентация молекулярных агрегатов под действием внутренних сил и рост полимеризации расплава минимизируют роль диффузионного переноса.

Развитие теории поляризационных взаимодействий (взаимодействия поляронов) в кристаллофизике [5–9] показало, что предварительная ориентация

поляризованных молекул по кристаллической решетке снижает энергию активации фазового перехода.

Экспериментальные данные по аномально высоким скоростям перемещения примесей при кристаллизации метасиликатных стекол (экспериментальная минералогия) и представления о волновой природе связей [10–13] легли в основу голограммической модели вещества (ГМВ) [14]. ГМВ связывает геометрию тора с конфигурацией электромагнитного поля. Экспериментальные наблюдения свидетельствуют, что вещество – это состояние электромагнитного поля в пространстве. Тождественность уравнений механики сплошных сред (Эйлера) и электродинамики (Максвелла) позволяет рассматривать поле как деформацию пространства.

Электромагнитное поле описывается тремя взаимосвязанными векторами ('E', 'H', 'P' – вектор Умова – Пойнтинга). Условие их компланарности (лежание в одной плоскости) основано на смешанном произведении [15–17]. Ненулевой ротор вектора 'P' ($\text{rot } P \neq 0$) описывает локализованный объект (аналог частицы), стабилизируемый топологией тора (теорема Ляпунова). Интерференция таких волновых объектов формирует структуры вещества.

ГМВ [14, 20–24], развитая на основе экспериментальных данных, полученных в Томском государственном университете, служит основой данной работы. Модель дает наглядную физическую картину, дополняя формальные методы (статистическая термодинамика, квантовая химия, неравновесная термодинамика, синергетика, фракталы) [18, 19]. Устойчивость структур объясняется когерентностью, а связи – резонансом, что подтверждается соответствием расчетных и реальных кристаллических структур [21–24].

В рамках ГМВ предложена классификация из семи типов когерентности (табл. 1), выделенных по доминирующим взаимодействиям: электрическим (e), магнитным (m), механическим (p) и их комбинациям. Типы 1–6 – неорганические материалы. Тип 7 (e + m + p) предположительно включает биологические и сложные органоминеральные системы, где структурную роль могут играть протонные решетки. ГМВ объясняет морфологическое сходство минералов (дендриты, листовидные, семевидные формы) с биологическими объектами не дефектами, а проявлением их глубинной волновой структуры, реализующей сложные интерференционные комбинации.

Таблица 1
Типы когерентности и общая классификация материалов

Table 1

Types of coherence and classification of materials

№ п/п	Тип когерентности	Структурный класс материалов
1	Электронная (Э)	Ионные кристаллы
2	Магнонная (М)	Металлы
3	Фононная (Ф)	Стекла
4	Электронно-магнонная (Э-М)	Полупроводники
5	Электронно-фононная (Э-Ф)	Стеклокристаллические (ситаллы, каменное литье, керамика)
6	Магнонно-фононная (М-Ф)	Металлические стекла
7	Электронно-магнонно-фононная (Э-М-Ф)	Живые и органоминеральные

Традиционная аналитическая техника сегодня эффективно идентифицирует преимущественно электронные взаимодействия и структуры с электронной когерентностью. Нелинейность структуры иногда фиксируется по аномалиям ширины дифракционных рефлексов, однако для описания реальных структур требуются методы анализа поверхностей высших порядков.

Резонансные принципы и их роль в материаловедении

Природные объекты, формирующиеся по волновым законам с периодической упорядоченностью, распространены на всех масштабах – от космических до наноразмерных. Новые теории подтверждают участие в этих процессах низкоэнергетического протонирования. Например, электронно-протонная теория лежит в основе физико-химических механизмов выщелачивания оксидных минералов в гидрометаллургии [24]. Устройства с минералами слоистой структуры для протонных мембран и комбинированными источниками ионов применяются при обработке алмазов и других ювелирных материалов [25, 26, 27, 28].

Идея голограмической природы мира, согласующаяся с фундаментальным открытием корпускулярно-волнового дуализма, получила развитие в трудах Д. Бома и К. Прибрама [29]. Экспериментальное подтверждение (1982 г.) способности элементарных частиц к мгновенной корреляции на расстоянии [30], хотя и противоречащее постулату А. Эйнштейна, стимулировало развитие волновых концепций М. Талботом и другими исследователями [31]. Формированию голограмических идей также способствовали работы Н.А. Козырева в астрофизике [32] и многолетние исследования волновых проявлений в минералогии А.М. Кузьмина [33], который установил подчиненность структурной ритмики кристаллов волновым числам установившихся колебаний.

Несмотря на давнюю известность проблематики, изучение организации надатомных структур в материаловедении отстает от атомного уровня. В отличие от развитых квантово-механических подходов, надатомная организация часто описывается эмпирически с привлечением концепций доменов, кластеров и мицелл. Развитие мезомеханики (школа акад. В.Е. Панина) направлено на квантовое описание дефектов кристаллов через уравнения деформации, исторически применяющиеся Эйлером и Максвеллом [34], но имеющие ограниченную применимость, вероятно, из-за локальности евклидовой геометрии.

В электронных моделях кристаллов магнитные и механические взаимодействия, сопоставимые по значимости с электронными, часто относят к дефектам структуры. Однако эти взаимодействия (обменные и колебательные) способны формировать самостоятельные когерентные структуры с магнонными и фононными резонансными решетками, что лежит в основе ряда технологических прорывов, например, в создании квантовых вычислителей на основе фотонной материи [35].

Химическая дифференциация в природе, управляемая автоколебательными процессами и протонно-гидратационными механизмами, проявляется в периодических структурах разного масштаба. Аномально крупные размеры таких образований, обусловленные низкоэнергетической активацией, противоречат традиционным термодинамическим моделям. В фазовых превращениях ключевая роль принадлежит диффузионным и инфильтрационным потокам

[36], векторные поля которых могут стабилизировать или дестабилизировать систему, вызывая вихревые эффекты при нестационарности. На макроскопическом уровне значимы электромагнитные и гравитационно-кинетические полевые структуры.

Квазистационарные процессы минералообразования обычно реализуются через связанные гидратационный и протонно-гидратационный механизмы, которые, взаимопорождаясь по волновому принципу, обусловливают ритмическое чередование стадий протонирования и гидратации. Эта ритмика проявляется в пространственно-временных вариациях кинетических параметров, приводя к формированию кристаллических агрегатов. Низкая энергоемкость и высокая скорость процесса по сравнению с классической ионной сборкой объясняются как участием надатомных наноблоков (прима-тел) [37], так и механизмами спинодальной декомпозиции и супердиффузии. На этой основе выделен новый класс стеклокристаллических материалов с электронно-фононной когерентностью [39]. Разработанные технологии защищены патентами, отмечены наградами ВДНХ и международными премиями, а сам механизм спинодального распада стал самостоятельным разделом экспериментальной минералогии [41–45].

Реализация волновой концепции в создании ситаллов

Ситаллы – синтетические конструкционные материалы с широким спектром свойств (высокая износостойкость, термо- и кислотоупорность, полупроводниковые характеристики). Для получения метасиликатных ситаллов (система CaO–MgO–FeO–Fe₂O₃–Al₂O₃–SiO₂) исходную шихту из природного сырья или отходов корректируют до состава с модулем кислотности $M_k = 1$ [40], обеспечивая равенство мольных долей в катионных подрешетках пироксенов (табл. 2). После плавления при 1360–1400 °C в течение 1,5–2 ч шихта подвергается закалке и последующему отжигу. Полученные гомогенные стекла исследуются методами дифференциального термического анализа (ДТА) для определения температур зародышеобразования (T_1) и роста кристаллов (T_2) (табл. 3).

Таблица 2

Кристаллохимические формулы петроситаллов

Table 2

Crystal and chemical formulas of petrurgical glass-ceramics

№ 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

Динамические управляемые решетки материала могут формироваться на стадии стекла внешними воздействиями: термомеханическими, акустическими или электромагнитными. Их параметры зависят от частоты воздействий,

свойств материала и резонансных характеристик образца, включая его геометрию. Низкочастотные объемные колебания, модулируемые формой и размерами изделия, также влияют на структурообразование, что демонстрирует упорядоченное распределение газовых пузырей в стеклянном шаре (рис. 1).

Таблица 3
Результаты ДТА стекол на основе базитов Полярного Урала
Table 3
DTA results for basite-based glass from Polar Urals

№ 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. T_1 – температура образования зародышей основной фазы; T_2 – температура роста кристаллов; E_1 – энергия активации зародышеобразования; E_2 – энергия роста кристаллов. Номера проб 1–4 соответствуют номерам в табл. 2.

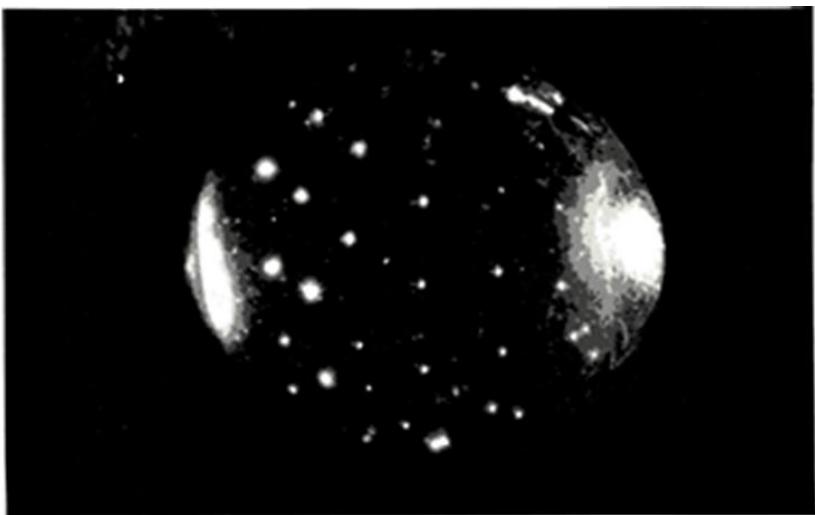


Рис. 1. Распределение газовых пузырей в стеклянном шаре метасиликатного состава по узлам геометрически правильной объемной решетки. $\times \frac{1}{4}$ натуральной величины
Fig. 1. Distribution of gas bubbles in a glass sphere of meta-silicate composition in the nodes of a geometrically regular three-dimensional lattice. Magnification: $\times \frac{1}{4}$ of actual size

Подтверждением возможности неевклидовых надатомных структур являются фуллерены. Особое значение имеют решетки, формируемые «сильными» ионами (например, Cr, Ag – катализаторы зародышеобразования), чьи ничтожные концентрации существенно влияют на свойства. Кольцевые структуры электронной плотности, индуцируемые протонами (рис. 2), действуют как резонаторы теплового излучения, генерируя стоячие волны, которые упорядочивают

структуре при нагреве. Ионы с большим радиусом обменных взаимодействий (~ 1 мкм) также формируют управляющие решетки. Фрактальные структуры кристаллизации хромшпинели (рис. 3) демонстрируют строгую упорядоченность с размерными соотношениями, описываемыми простыми числами.



Рис. 2. Кольцевые структуры электронной плотности, индуцированные протонами, на начальной стадии кристаллизации стекла. $\times 10\,000$

Fig. 2. Proton-induced ring structures of electron density at the initial stage of glass crystallization. Magnification: $\times 10,000$

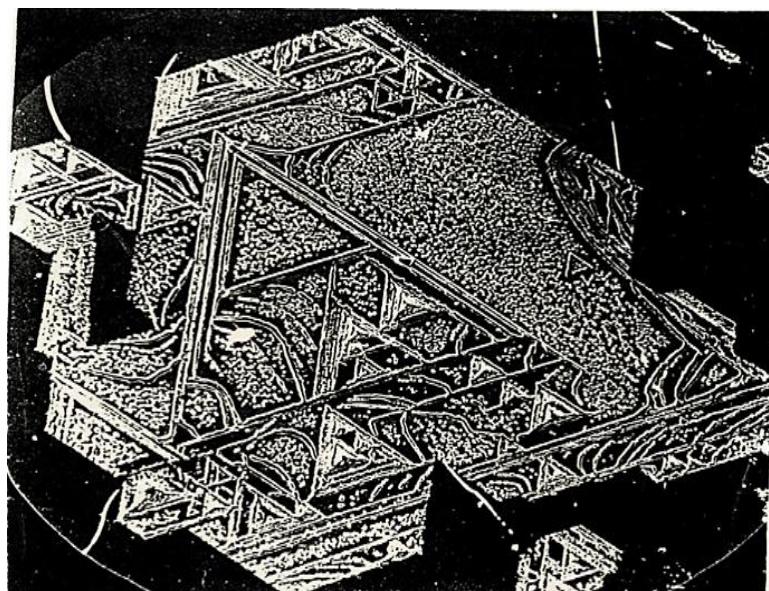


Рис. 3. Заполнение решетки критических тел хромшпинели в стекле. Размеры критических тел связаны отношениями простых чисел ($1/2, 1/4, 3/4$ и т. д.). $\times 10\,000$

Fig. 3. Filling of the lattice of chromium spinel critical bodies in glass. The dimensions of critical bodies are related by simple number ratios ($1/2, 1/4, 3/4$). Magnification: $\times 10,000$

Метасиликатные системы характеризуются высокой когерентностью и уникальной кинетикой фазовых превращений, проявляющейся в субмезоструктурах спинодального распада (рис. 4). РФА подтверждает соответствие ситаллов твердым растворам пироксен-волластонита или диопсид-геденбергитового ряда (рис. 5), определяющим их свойства [38, 39, 41–45].

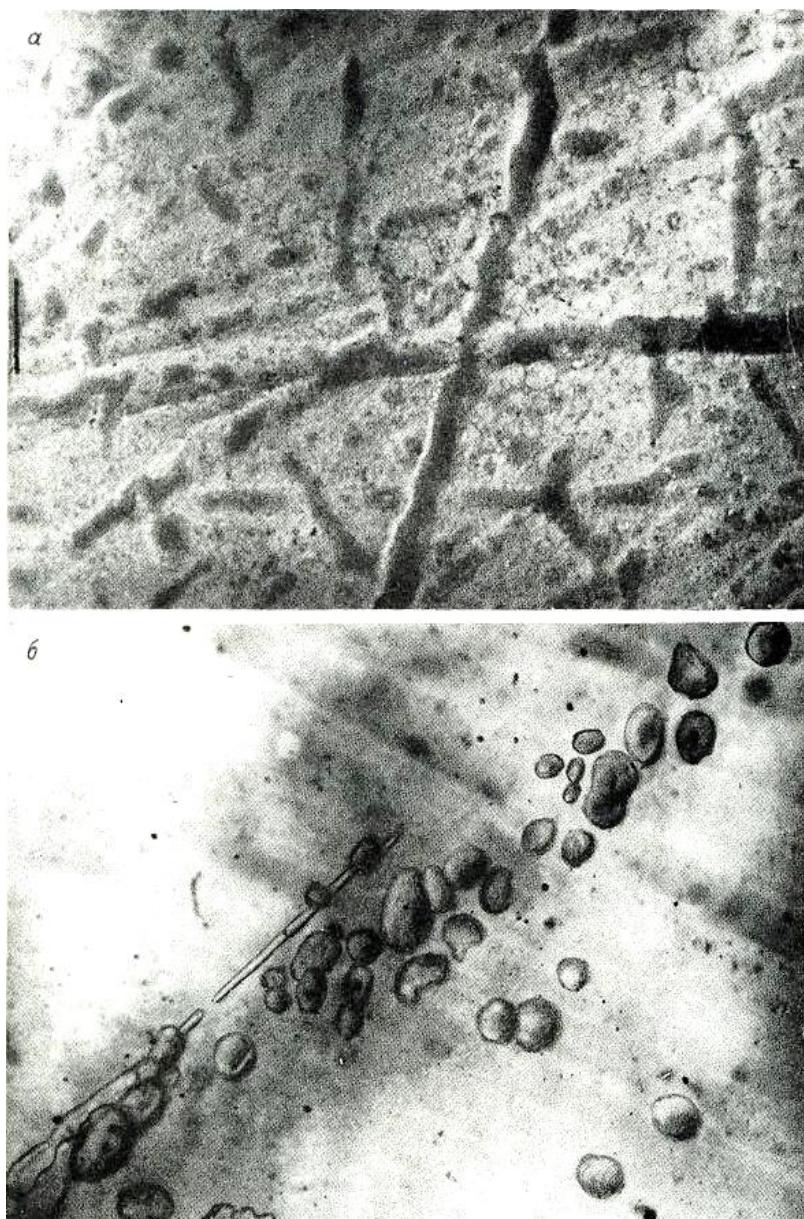


Рис. 4. Субмезоструктура спинодального распада в нагреваемом исходном стекле после его закалки. $\times 10\,000$

Fig. 4. Sub-mesostructure of spinodal decomposition in heated initial glass after quenching.
Magnification: $\times 10,000$

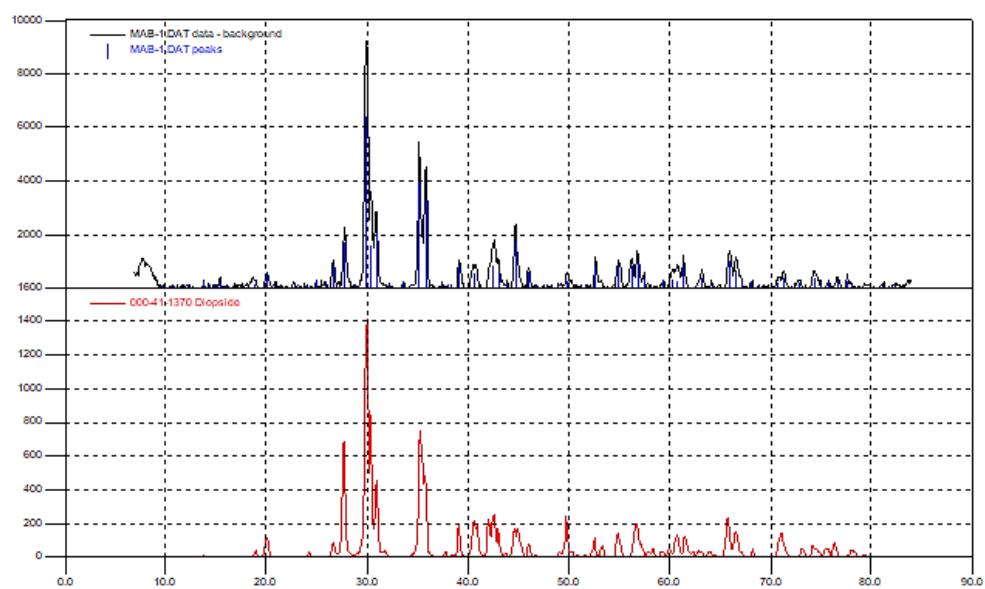


Рис. 5. Рентгенограмма петроситалла класса СКС, образец № 1 (вверху) и эталонный диопсид № 000-41-1370 (внизу) из ASTM (Crystallographica Search-Match)

Fig. 5. XRD pattern of SCS-class petrurgical glass-ceramics, sample 1 (top) and reference diopside No. 000-41-1370 (bottom) from ASTM (Crystallographica Search-Match)

Петроситаллы класса «сикам» (табл. 4) превосходят традиционные материалы (каменное литье, бетон, чугун) по ряду параметров:

- механические показатели: прочность при сжатии (до 909 МПа) и изгибе (до 188 МПа), износостойкость;
- термические свойства: температура размягчения ($950\text{--}1100^\circ\text{C}$), КЛТР ($65\text{--}114 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$);
- химическая стойкость: устойчивость к воздействию H_2SO_4 (94,6–99,9 %) и NaOH (98,0–99,0 %);
- экономичность: низкая стоимость кубометра материала.

Таблица 4

Свойства петроситаллов класса «сикам» и других конструкционных материалов

Table 4

Properties of petrurgical glass-ceramics and other constructional materials

Показатель (свойство)	Петроситаллы класса «сикам»	Каменное литье*	Бетон*	Чугун*
Коэффициент линейного расширения (КТР) $10^7 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	65–114	48–100	100	100
Температура начала размягчения, $^\circ\text{C}$	950–1100	900–1050	–	–
Сопротивление истиранию, $\text{г}/\text{см}^2$	0,015–0,04	0,02–0,08	–	–
Предел прочности, МПа при статическом изгибе	100–188	47–80	–	280

*Окончание табл. 4
End of table*

Показатель (свойство)	Петроси- таллы класса «сикам»	Каменное литье*	Бетон*	Чугун*
Предел прочности при сжатии, МПа	707–909	250–500	5–60	800–1000
Химическая стойкость, %: H ₂ SO ₄ NaOH	94,6–99,9 98,0–99,0	99,8 98,5	— —	— —
Стоимость 1 куб. м материалов, руб.*	9000 на заводе петроситал- лов	30 000	18 000– 24 000 в ЯНАО	112 000

* По данным [49].

Эти свойства делают их перспективным материалом для использования в экстремальных условиях Арктики, при строительстве дорог (включая плиты, трубопроводы на сваях), создании взлетно-посадочной полосы (ВПП) и морских терминалов, возведении буровых платформ на шельфе, в т. ч. подводных станций из стали-ситалловых тюбингов, в качестве футеровочных материалов [46, 47].

Перспективность подтверждается активным освоением арктических ресурсов, включая разработку технологий добычи газогидратов [48].

Заключение

В развитие идеи В.И. Вернадского о неевклидовом характере геометрии в природе [50] автором предложена концепция структур минерального вещества на основе голографической модели вещества, постулирующей его электромагнитную природу и формирование через интерференцию. Структурная упорядоченность определяется пространственно-временной когерентностью электронных, магнонных и фононных взаимодействий и их комбинаций (7 типов).

Экспериментально подтверждена ключевая роль спинодальной декомпозиции в образовании ситаллов электронно-фононного типа. Резонансная модель динамических структур адекватно описывает кинетику фазовых превращений. Результаты имеют правовую защиту, они способствуют развитию минералогии, рациональному использованию сырья и созданию конкурентоспособных стекло-кристаллических материалов со множеством новых свойств.

На основе этих исследований создан новый класс многофункциональных материалов – синтетических метасиликатов – с уникальным сочетанием физико-химических свойств. Они нашли применение в 30 областях, включая медицину (хирургия, стоматология), производство бытовой и аэрокосмической техники, а также в качестве модификаторов для керамики, полиэтилена, линолеума и асфальта. Дополнительно материалы используются в качестве жаропрочных износостойких покрытий и в составе золо-шлакопроводов. Экономическая эффективность ситаллов подтверждена в проекте «Северный широтный ход».

Список источников

1. Эйттель В. Физическая химия силикатов. Москва : ИЛ, 1968. 1055 с.
 2. Эпельбаум М.В. Расчет температуры максимальной скорости кристаллизации стекол // Стекло и керамика. 1958. № 4. С. 22–25.
 3. Kirkpatrick R.J. Kinetics of crystal growth in the system CaMgSi₂O₆–CaAl₂SiO₆ // Amer. J. Sci. 1974. V. 274, № 3. P. 215–242.
 4. Мананков А.В., Локтошин А.А. Динамическая модель кристаллизации // Физико-химическое моделирование в геохимии и петрологии на ЭВМ : материалы II Всесоюзного совещания. Иркутск, 1988. С. 70. EDN: GURKLZ
 5. Борозновская Н.Н., Леснов Ф.П., Мананков А.В. О влиянии различных форм проявления калия на люминесценцию основных пластиоклазов // Материалы V Всесоюзного симпозиума по проблеме изоморфизма. Санкт-Петербург : ПМО, 1981. С. 44–47. EDN: AKKZZM
 6. Мананков А.В., Локтошин А.А., Баев С.Ю. Динамика структуры F-агрегатных центров окраски в кристаллах // Материалы VI Всесоюзного симпозиума по изоморфизму. Москва : ГЕОХИ, 1988. С. 135. EDN: XJTKVA
 7. Мананков А.В., Локтошин А.А., Баев С.Ю. Радиационная сенсибилизация дефектов в кристаллах // Материалы VI Всесоюзного симпозиума по изоморфизму. Москва : ГЕОХИ, 1988. С. 136. EDN: QIMMXO
 8. Локтошин А.А., Мананков А.В. Поляризационная трансляция фазовых переходов и динамика образования метасиликатов щелочноземельных элементов в вязких расплавах // Минералогия, геохимия и полезные ископаемые Сибири. Томск, 1990. Вып. 1. С. 16–22. EDN: SCFNNDX
 9. Санина В.А., Головенчик Е.И. Поляризационные взаимодействия и фазовые переходы в кристаллах с двумя взаимодействующими подсистемами // Физика твердого тела. 2000. Т. 42. Вып. 5. С. 905–909. EDN: RYOMJN
 10. Мананков А.В. О механизме ликвации в силикатных системах // Дан СССР. 1979. Т. 246. № 4. С. 942–946. EDN: TLUSVF
 11. Романов Б.П., Мананков А.В., Головко Н.В. Исследование твердых растворов системы клиноэнститат – диопсид методами дилатометрии и электропроводности // Неорганические материалы. 1985. Т. 21. № 9. С. 1539–1543. EDN: ZSBIJR
 12. Мананков А.В., Шарапов В.Н. Кинетика фазовых переходов в базитовых расплавах и магмах. Новосибирск : Наука, 1985. 199 с. EDN: TPMJBX
 13. Мананков А.В., Яковлев В.М. Нетрадиционные строительные материалы класса «сикамов» // Строительные материалы. 1995. № 9. С. 16–17.
 14. Локтошин А.А., Мананков А.В. Пространственно-замкнутые динамические структуры. Томск : Изд-во ТГУ, 1996. 121 с. EDN: SZSUF
 15. Терлецкий Я.П. Электродинамика. Москва : Высшая школа, 1990. 129 с.
 16. Мастерова М.А., Янц Ю.Г. Вектор Умова – Пойнтинга дипольного электрического и дипольного магнитного моментов. URL: <http://www.vestnik.adygnat.ru>
 17. Звездин А.К., Матвеев В.М., Мухин А.А., Попов А.И. Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах. Москва : Наука. 1985. 294 с.
 18. Мананков А.В. Астроминералогия – новая комплексная наука для решения сырьевых и экологических проблем биосферы // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 8. Томск. 2016. С. 204–211. EDN: XSIPRB
 19. Мананков А.В. Самородные и редкоземельные металлы на Земле, Луне, в тектитах и метеоритах // Геофизические процессы и биосфера. 2018. Т. 17. № 2. С. 111–130. DOI: 10.21455/gpb2018.2-7. EDN: XOTZBJ
 20. Мананков А.В. К теории формирования и прогноза месторождений полезных ископаемых // Геосферные исследования. 2019. № 4. С. 83–94. DOI: 10.17223/25421379/13/8. EDN: СККНQM
 21. Мананков А.В., Гасanova Э.Р., Харитонова Н.В. Кристаллохимические основы расчета мономинеральности ситаллов // Неорганические материалы. 2018. Т. 54. № 9. С. 984–992. DOI: 10.1134/S0002337X18090075. EDN: ZMYCZC
 22. Мананков А.В., Гасanova Э.Р. Ситаллы из местного сырья для производства инновационных инфраструктур с высокой технико-экономической эффективностью в экстремальных

- условиях Крайнего Севера // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 11. С. 87–96. DOI: 10.18799/24131830/2018/11/212. EDN: YRXOHR
23. Мананков А.В., Гасанова Э.Р., Быкова В.В. Физико-химические и технологические аспекты разработки ситаллов нового класса // Вестник Воронежского ГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 211–222. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-1-211-222. EDN: YWLIOA
24. Мананков А.В., Горюхин Е.Я., Локтюшин А.А. Волластонитовые, пироксеновые и другие материалы из промышленных отходов и недефицитного природного сырья. Томск : Изд-во ТГУ, 2002. 168 с. EDN: DELZJX
25. Киприянов Н.А., Горичев Н.Г. Электронно-протонная теория – фундаментальная основа физико-химического процесса выщелачивания оксидных минералов в гидрометаллургии // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2006. № 1 (12). С. 101–109. EDN: IJEXNR
26. Заявка на изобретение Российской Федерации, МПК H01J 37/08, H01J 3/04. Комбинированный источник ионов : № 2003119003 А : заявл. 24.06.2003 : опубл. 10.02.2005 / Конюков К.В., Турчин В.И., Шумшурев А.В., Беляев Г.Е., Кондратьев Б.К., Турчин А.В. Бюл. № 4.
27. Патент № 2211760 Российская Федерация, МПК B28D 5/00 (2006.01), B44C 1/22 (2006.01), C30B 31/00 (2006.01), C30B 33/00 (2006.01). Устройство для обработки алмазов : № 2001114961/03 : заявл. 31.05.2000 : опубл. 10.09.2003 / Турчин В.И., Радько В.Е.
28. Manankov A.V. Structural Organization of Innovative Petrosals from the Local Natural Raw Materials of the Polar Urals // Insights in Mining Science and Technology. 2020. V. 2. № 1. P. 153–161. DOI: 10.19080IMT.2020.02.555577
29. Joye S.R. The Pribram-Bohm hypothesis a topology of consciousness // Cosmos and History: The Journal of Natural and Social Philosophy. 2016. V. 12. № 2. P. 114–136.
30. Aspect A., Grangier P., Roger G. Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedanken experiment – A New Violation of Bell Inequalities // Physical Review Letters. 1982. V. 49. № 2. P. 91–94. PRL Bell ADR.
31. Тэлбот М. Голографическая Вселенная : пер. с англ. Москва : ИД «София», 2004. 368 с.
32. Козырев Н.А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Пулково, 1958. 41 с.
33. Кузьмин А.М. Периодическо-ритмические явления в минералогии и геологии. Томск : Изд-во СТТ, 2019. 336 с. ISBN 978-5-93629-631-4. EDN: XTBPPF
34. Панин В.Е., Гринзев Ю.В., Данилов В.И., Зуев Л.В. и др. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. Новосибирск : Наука, 1990. 254 с. ISBN 5-02-029308-3. EDN: YSBSDP
35. Попсулин С. Русский ученый из Гарварда осуществил прорыв в пространстве квантового компьютера // Издание о высоких технологиях. 2012. 6 июля.
36. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. Москва : Наука, 1982. 104 с.
37. Чепижный К.И. Новое в минералогии (теория минералогии). Ленинград : Наука, 1988. 146 с.
38. Мананков А.В. Физико-химические основы наноструктурной минералогии в получении современных материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2. С. 120–130. DOI: 10.21455/GB2018/2-7. EDN: OYATFR
39. Свидетельство № 92355 на товарный знак «СИКАМ» – новый 19 класс камней – искусственные, строительные и конструкционные строительные материалы неметаллические: приоритет 07.02.1990.
40. Патент № 2687014 Российской Федерации, МПК C03B 1/00 (2006.01). Способ приготовления метасиликатной ситалловой шихты : № 2018116526 : заявл. 03.05.2018 : опубл. 06.05.2019 / Мананков А.В., Владимиров В.М., Гасанова Э.Р. Бюл. № 13. 10 с.
41. Loktyushin A.A., Manankov A.V. Mineral structure in holographic model of substance // Структура и эволюция минерального мира. Сыктывкар, 1997. С. 35–37.
42. Manankov A.V., Vladimirov V.M. On the mechanism and thermodynamic modeling of metasilicate glass ceramics crystallization // Glass and ceramic. 2016. № 6 (June). P. 3–7. DOI: 10.1007/s10717-016-9856-1. EDN: WEFPFN
43. Авторское свидетельство № 1737965. Способ получения пористого остеклованного блока : заявл. 14.08.1989 : опубл. 15.01.1993 / Мананков А.В., Локтюшин А.А. Бюл. № 2.

44. Патент № 2525076 Российской Федерации, МПК C03B 19/08 (2006.01), C03C 11/00 (2006.01). Способ и устройство для изготовления пористого остеклованного блока : № 2013127553/03 : заявл. 17. 06.2013 : опубл. 10.08.2014 / Мананков А.В., Карапаш С.А. Бюл. № 22. 17 с.
45. Патент № 2582152 Российской Федерации, МПК C03B 19/08 (2006.01). Способ изготовления пористой стеклокерамики (варианты) : № 2015115361/03 : заявл. 23.04.2015 : опубл. 20.04.2016 / Мананков А.В. Бюл. № 11. 10 с.
46. Мананков А.В. Университетская наука в решении транспортных проблем страны // Проектирование, строительство, эксплуатация цементно-бетонных дорог: международный опыт и российская практика : материалы Международной конференции RUCEM, Москва, 24–25 сентября 2020 г. С. 56–58.
47. Мананков А.В., Быков Н.Е. Первоочередные научные идеи для Проекта Северного Широтного Хода и их технологическая проработка // Проектирование, строительство, эксплуатация цементно-бетонных дорог: международный опыт и российская практика : материалы Международной конференции RUCEM, Москва, 24–25 сентября 2020 г. С. 59–60.
48. Шубина Ю.С., Страхов Б.С., Мананков А.В. Геодинамика арктического шельфа и эманация метана из газогидратов // Материалы IX Всероссийской научной конференции с международным участием им. проф. М.К. Коровина. Томск : ТПУ, 2016. С. 10–19.
49. Павлушин Н.М. Основы технологии ситаллов. Москва : Стройиздат, 1979. 340 с.
50. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. Москва : Наука, 1991. 271 с. ISBN 5-02-003505-X. EDN: KBQMGG

REFERENCES

1. Eitel W. The Physical Chemistry of the Silicates. Moscow: IL, 1968. 1055 p. (Russian translation)
2. Epelbaum M.V. Calculation of maximum rate crystallization temperature of glasses. *Steklo i keramika*. 1958; (4): 22–25. (In Russian)
3. Kirkpatrick R.J. Kinetics of Crystal Growth in the System CaMgSi₂O₆–CaAl₂SiO₆. *American Journal of Science*. 1974. 274 (3): 215–242.
4. Manankov A.V., Loktyushin A.A. Dynamic model of crystallization. In: Proc. 2nd All-Russ. Conf. 'Physicochemical Modeling in Geochemistry and Petrology on a Computer'. Irkutsk. 1988. P. 70. (In Russian)
5. Boroznovskaya N.N., Lesnov F.P., Manankov A.V. Influence of various forms of potassium manifestation on the luminescence of basic plagioclases. In: Proc. 5th All-Union Symposium on the Problem of Isomorphism. Saint-Petersburg: RMO, 1981. Pp. 44–47. (In Russian)
6. Manankov A.V., Loktyushin A.A., Baev S.Yu. Dynamics of the structure of F-aggregate color centers in crystals. In: Proc. 6th All-Union Symposium on the Problem of Isomorphism. Moscow: GEOKHI, 1988. P.135. (In Russian)
7. Manankov A.V., Loktyushin A.A., Baev S.Yu. Radiation sensitization of defects in crystals. In: Proc. 6th All-Union Symposium on the Problem of Isomorphism. Moscow: GEOKHI, 1988. P. 136. (In Russian)
8. Loktyushin A.A., Manankov A.V. Polarization Translation of Phase Transitions and Formation of Alkaline-Earth Element Metasilicates in Viscous Melts. *Mineralogiya, geokhimiya i poleznye iskopaemye Sibiri*. 1990; (1): 16–22. (In Russian)
9. Sanina V.A., Golovenchits E.I. Polarization Interactions and Phase Transitions in Crystals with Two Interacting Subsystems. *Fizika tverdogo tela*. 2000; 42 (5): 905–909. (In Russian)
10. Manankov A.V. On the Liquation Mechanism in Silicate Systems. *DAN SSSR*. 1979; 246 (4): 942–946. (In Russian)
11. Romanov B.P., Manankov A.V., Golovko N.V. Investigation of Solid Solutions of the Clinohumite-Diopside System using Dilatometry and Electrical Conductivity Methods. *Neorganicheskie materialy*. 1985; 21 (9): 1539–1543. EDN: ZSBIJR (In Russian)
12. Manankov A.V., Sharapova V.N. Kinetics of Phase Transitions in Basic Melts and Magmas. Novosibirsk: Nauka, 1985. 199 p. (In Russian)
13. Manankov A.V., Yakovlev V.M. Unconventional Building Materials of the "Sikam" Class. *Stroitel'nye materialy*. 1995. (9): 16–17. (In Russian)

14. *Loktyushin A.A., Manankov A.V.* Spatially Closed Dynamic Structures. Tomsk: TSU, 1996. 121 p. (In Russian)
15. *Terletsky Ya.P.* Electrodynamics. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 129 p. (In Russian)
16. *Masterova M.A., Yants Yu.G.* Umov-Poynting vector of Dipole Electric and Dipole Magnetic Moments. Available: www.vestnik.adygnat.ru (In Russian)
17. *Zvezdin A.K., Matveev V.M., Mukhin A.A., Popov A.I.* Rare Earth Ions in Magnetically Ordered Crystals. Moscow: Nauka, 1985. 294 p. (In Russian)
18. *Manankov A.V.* Astromineralogy – A New Complex Science for Solving Raw Material and Environmental Problems of the Biosphere. *Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov*. 2016; (8): 204–211. (In Russian)
19. *Manankov A.V.* Native and Rare Earth Metals on the Earth, the Moon, in Tektites and Meteorites. *Geofizicheskie protsessy i biosfera*. 2018; 17 (2): 111–130. (In Russian)
20. *Manankov A.V.* Theory of Formation and Forecast of Mineral Deposits. *Geosfernye issledovaniya*. 2019; (4): 83–94. (In Russian)
21. *Manankov A.V., Gasanova E.R., Kharitonova N.V.* Crystallochemical Foundations for Calculating the Monomineralism of Sialls. *Neorganicheskie materialy*. 2018; 54 (9): 984–992. (In Russian)
22. *Manankov A.V., Gasanova E.R.* Glass-Ceramics from Local Raw Materials for Innovative Infrastructures with High Technical and Economic Efficiency in Extreme Far North Conditions. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2018; 329 (11): 87–96. (In Russian)
23. *Manankov A.V., Gasanova E.R., Bykova V.V.* Physicochemical and Technological Aspects of New Class Glass-Ceramics Development. *Vestnik Voronezhskogo GUIT*. 2018; 80 (1): 211–222. (In Russian)
24. *Manankov A.V., Goryukhin E.Ya., Loktyushin A.A.* Wollastonite, Pyroxene and Other Materials from Industrial Waste and Abundant Natural Raw Materials. Tomsk: TSU, 2002. 168 p. (In Russian)
25. *Kipriyanov H.A., Gorichev N.G.* Electron-Proton Theory as a Fundamental Basis for Physicochemical Process of Oxide Minerals Leaching in Hydrometallurgy. *Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. 2006; 1 (12): 101–109. (In Russian)
26. *Konyukov K.V., Turchin V.I., Shumshurov A.V., Belyaev G.E., Kondrat'ev B.K., Turchin A.V.* “Combined Ion Source”. Patent Russ. Fed. No. 2003119003 A, 2005. (In Russian)
27. *Turchin V.I., Rad'ko V.E.* “Device for Diamond Processing”. Patent Russ. Fed. No. 2211760. 2003. (In Russian)
28. *Manankov A.V.* Structural Organization of Innovative Petrosals from the Local Natural Raw Materials of the Polar Urals. *Insights in Mining Science and Technology*. 2020; 2 (1): 153–161. DOI: 10.19080IMT.2020.02.555577
29. *Shelli R. Jove.* The Pribram-Bohm Hypothesis a Topology of Consciousness II Cosmos and History. *The Journal of Natural and Social Philosophy*. 2016; 12 (2): 114–136.
30. *Aspect A., Grangier P., Roger G.* Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedanken Experiment – A New Violation of Bell Inequalities. *Physical Review Letters*. 1982; 49 (2): 91–94. PRL Bell ADR.
31. *Talbot M.* The Holographic Universe. Moscow: Sofia, 2004. 368 p. (Russian translation)
32. *Kozyrev N.A.* Causal or Asymmetric Mechanics in the Linear Approximation. Pulkovo, 1958. 41 p. (In Russian)
33. *Kuzmin A.M.* Periodic-Rhythmic Phenomena in Mineralogy and Geology. Tomsk: STT, 2019. 336 p. (In Russian)
34. *Panin V.E., Grinzev Yu.V., Danilov V.I., Zuev L.V., et al.* Structural Levels of Plastic Deformation and Fracture. Novosibirsk: Nauka, 1990. 254 p. (In Russian)
35. *Populin S.* Russian Scientist from Harvard Made a Breakthrough in the Space of a Quantum Computer. *Izdatie o vysokikh tekhnologiyakh*. 2012. July 6. (In Russian)
36. *Korzhinsky D.S.* Theory of Metasomatic Zoning. Moscow: Nauka, 1982. 104 p. (In Russian)
37. *Chepizhny K.I.* News in Mineralogy (Theory of Mineralogy). Leningrad: Nauka, 1988. 146. p. (In Russian)
38. *Manankov A.V.* Physicochemical Foundations of Nanostructured Mineralogy in Modern Material Production. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012; (2): 120–130. DOI: 10.21455/GPB2018/2-7 (In Russian)

39. Certificate No. 92355 for the trademark "SIKAM" - new 19th class of stones – artificial, building and structural non-metallic building materials, 1990. (In Russian)
40. *Manankov A.V., Vladimirov V.M., Gasanova E.R.* "Method for Preparing Metasilicate Glass-Ceramic Batch". Patent Russ. Fed. No. 2687014. 2018. 10 p. (In Russian)
41. *Loktyushin A.A., Manankov A.V.* Mineral Structure in Holographic model of Substance. Structure and Evolution of the Mineral World. Syktyvkar, 1997. Pp. 35–37.
42. *Manankov A.V., Vladimirov V.M.* Crystallization Mechanism and Thermodynamic Modeling of Metasilicate Glass Ceramics. *Glass and ceramics*. 2016; (6): 3–7. DOI: 10.1007/s10717-016-9856-1
43. *Manankov A.V., Loktyushin A.A.* "Production Method for Porous Vitrified Block". Author's Certificate No. 1737965. 1993. 17 p. (In Russian)
44. *Manankov A.V. Karaush S.A.* "Production Method and Device for Porous Vitrified Block". Patent Russ. Fed. No. 2525076. 2016. 17 p. (In Russian)
45. *Manankov A.V.* "Method for Manufacturing Porous Glass Ceramics (variants)". Patent Russ. Fed. No. 2582152. 2016. 10 p. (In Russian)
46. *Manankov A.V.* University science in solving the country's transport problems. In: *Proc Int. Sci. Conf. 'Design, Construction, and Operation of Cement-Concrete Roads: International Experience and Russian Practice'*. Moscow, September 24–25. 2020. Pp. 56–58. (In Russian)
47. *Manankov A.V., Bykov N.E.* Priority scientific ideas for the northern latitudinal passage project and their technological development. In: *Proc Int. Sci. Conf. 'Design, Construction, and Operation of Cement-Concrete Roads: International Experience and Russian Practice'*. Moscow, September 24–25. 2020. Pp. 59–60. (In Russian)
48. *Shubina Yu.S., Strakhov B.S., Manankov A.V.* Geodynamics of the arctic shelf and methane emanation from gas hydrates. In: *Proc. 9th All-Russ. Sci. Conf.* Tomsk: TPU, 2016. Pp. 10–19. (In Russian)
49. *Pavlushkin N.M.* Fundamentals of Sitall Technology. Moscow: Stroyizdat, 1979. 340 p. (In Russian)
50. *Vernadsky V.I.* Scientific Thought as a Planetary Phenomenon. Moscow: Nauka. 1991. 271 p. (In Russian)

Сведения об авторе

Мананков Анатолий Васильевич, докт. геол.-мин. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, mav.39@mail.ru

Author Details

Anatoly V. Manankov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, mav.39@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.09.2025
Одобрена после рецензирования 17.09.2025
Принята к публикации 17.09.2025

Submitted for publication 05.09.2025
Approved after review 17.09.2025
Accepted for publication 17.09.2025