ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 7

# DEVELOPMENT OF SCIENCE

## scientific journal



# Development of science

## Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 7

ISSN 3030 -3907

*Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.*

**BOSH MUHARRIR:**
***Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.***
**TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:**
***Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor***
***TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI***

**TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Bozorov G‘ayrat Rashidovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Abdurahmonov Olim Rustamovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Adizov Bobur Zamirovich***
*O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor*
***Hayitov Ruslan Rustamjonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Jumayev Qayum Karimovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Berdiyev Dorob Murodovich***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Maxmudov Rafiq Amonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Tilloyev Lochin Ismatilloyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Raxmonov Qahramon Sanakulovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Barakayev Nusratullo Rajabovich***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Panoyev Erali Rajabboyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Ataullayev Sherzod Nabiullyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Murodov Malik Negmurodovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Axmedova Ozoda Bahronovna***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.*
***Safarov Bahri Jumayevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Xaydarov Axtam Amonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Safarov Jasur Alijon o‘g‘li***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*

**KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Axmedov Voxid Nizomovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Umarov Baqo Bafoyevich***
*Buxoro Davlat Universiteti, professor*
***Kodirov Abduaxad Abduraximovich***
*Qarshi davlat Universiteti, professor*
***Qurbonov Mingniqul Jumagulovich***
*Qarshi davlat Universiteti, dotsent*
***Turemuratov Sharibay Naurizbaevich***
*O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor*
***Tursunov Kaxor Shonazarovich***
*Qarshi davlat Universiteti, professor*
***Do‘stov Hamro***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Panoyev Nodir Shavkatovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Kasimov Sherzod Abduazimovich***
*Termiz Davlat Universiteti, professor.*
***Aliqulov Rustam Valiyevich***
*Termiz Davlat Universiteti, professor*
***Tropov Xamza Tursunovich***
*Samarqand Davlat Universiteti, professor*

**IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Nizamov Aslitdin Badreddinovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Boboyev Akmal Choriyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor*
***Saidaxmedova Nodira Ilxomovna***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor*
***Muxsinov Bekzod Toxirovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Shakarov Qulmat Ashirovich***
*Renessans ta'lim universiteti,dotsent.*
***Jumaeva Zulfiya Qayumovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Norova Salomat Yusupovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Jalilov Jamshid G‘anijonovich***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent*
***Xasanova Gulruh Djumanazarovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*

**PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Siddiqova Sadoqat G‘afforovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Zoyirov Erkin Xalilovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor*
***Gaffarov Feruz Hasanovich***
Puchon Universiteti, *professor*
***Ruziyev Davron Yuldashevich***
*Buxoro Davlat Universiteti, professor*
***Muradova Firuza Rashidovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Yunusova Gulandon Samiyevna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***To‘xtayeva Zebo Sharifovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Uzoqova Laylo Polvonovna***
*Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.*
***To‘raqulova Marjona Qiyom qizi***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Muradova Zarina Rashidovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Murodov Sanjar Aslonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent*
***Gaffarov Laziz Hasanovich***
*Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.*

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.


ISSN 3030-3907

**Development of science** ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.


ISSN 3030-3907

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО ГРАНОДИОРИТА КАРАТАУСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТАХ

**Кабулова Л.Б.**
*Нукусский государственный педагогический институт*
**Оразимбетова Г.Ж.**
*Андижанский государственный технический институт*
**Темирбаева Ж.М.**
*Нукусский государственный технический университет*

**Аннотация.** Методами рентгенофазового анализа (XRD) и инфракрасной спектроскопии (FTIR-ATR) изучен фазовый состав и механизм действия гранодиорита Каратауского месторождения в композиционных цементах. Установлено, что доминирующей фазой является α-кварц (d = 0,334 нм). С увеличением дозировки добавки (10-40 %) наблюдается снижение содержания портландита и рост интенсивности аморфного гало C-S-H-геля, что свидетельствует о пуццолановой активности. Стабильные полосы α-кварца подтверждают его роль инертного микронаполнителя. Таким образом, механоактивированный гранодиорит проявляет комбинированное действие: пуццолановая активность + микронаполнение.

**Ключевые слова:** гранодиорит, α-кварц, портландит, C-S-H-гель, пуццолановая реакция, рентгенофазовый анализ (XRD), ИК-спектроскопия (FTIR-ATR).

**Abstract.** The phase composition and mechanism of action of mechanically activated granodiorite from the Karatau deposit in composite Portland cements were studied by X-ray diffraction (XRD) and FTIR-ATR spectroscopy. It was established that the dominant phase is α-quartz. With an increase in the additive dosage (10-40 %), a decrease in portlandite content and an increase in the intensity of the amorphous halo of C-S-H gel were observed, indicating pozzolanic activity. The stable bands of α-quartz confirm its role as an inert microfiller. Thus, mechanically activated granodiorite exhibits a combined pozzolanic and microfilling effect.

**Keywords:** granodiorite, α-quartz, portlandite, C-S-H gel, pozzolanic reaction, X-ray diffraction, FTIR-ATR spectroscopy.

**Annotatsiya.** Rentgenofazaviy tahlil (XRD) va infraqizil spektroskopiya (FTIR-ATR) usullari yordamida Qoratog‘ konining mexanoaktivlashtirilgan granodioritining kompozitsion portlandtsementlardagi fazaviy tarkibi va harakat mexanizmi o‘rganildi. Dominant faza α-kvars ekanligi aniqlandi. Qo‘shimcha dozasining ortishi (10-40 %) bilan portlandit miqdori kamayishi va C-S-H


ISSN 3030-3907

gelining amorf halosi intensivligining ortishi kuzatildi, bu puzolan reaksiyasining borligini tasdiqlaydi. α-kvarsning barqaror polosalari uning inert mikrotoldiruvchi sifatidagi rolini tasdiqlaydi. Shunday qilib, mexanoaktivlashtirilgan granodiorit puzolanlik va mikrotoldiruvchi ta'sirining kombinatsiyasini ko'rsatadi.

**Kalit so'zlar:** granodiorit, α-kvars, portlandit, C-S-H geli, puzolan reaksiyasi, rentgenofazaviy tahlil, IQ-spektroskopiya.

**ВВЕДЕНИЕ.**

В условиях глобального перехода цементной промышленности к низкоуглеродным технологиям одной из ключевых задач является снижение клинкерного фактора за счёт частичной замены портландцементного клинкера активными минеральными добавками природного происхождения [1]. Перспективным сырьём для таких добавок являются кислые магматические породы, богатые кремнезёмом, в частности гранодиорит.

Зарубежными исследованиями, проведёнными в Египте в 2024-2025 гг., установлено, что отходы гранодиорита проявляют выраженную пуццолановую активность. Fathy et al. [2] показали, что при замене 7 % портландцемента тонкодисперсным гранодиоритом прочность на сжатие возрастает на 28,3 %. Mahmoud et al. [3] подтвердили сохранение повышенной прочности даже после термического воздействия до 800 °C.

В настоящей работе впервые проведено комплексное исследование фазового состава и механизма действия механоактивированного гранодиорита Каратауского месторождения (Республика Каракалпакстан, Узбекистан) в композиционных портландцементах.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании фазового состава, оценке гидратационной (пуццолановой) активности и выявлении механизма действия механоактивированного гранодиорита в составе цементного камня комплексом физико-химических методов – рентгенофазового анализа и инфракрасной спектроскопии.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.**

Объектом исследования являлся природный гранодиорит Каратауского месторождения. Химический состав гранодиорита (табл. 1) определяли по ГОСТ 5382-2019 «Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа» [8]. Соответствие гранодиорита требованиям, предъявляемым к активным минеральным добавкам, оценивали согласно Oz DSt 336:2024 «Добавки для цементов. Активные минеральные добавки и добавки-наполнители. Технические условия» [9].


ISSN 3030-3907

**Таблица 1.**

**Химический состав гранодиорита Каратауского месторождения (масс. %)**

| $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | CaO | $Fe_2O_3$ | MgO | $SO_3$ | $R_2O$ | ППП | Сумма |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 68,4 | 15,3 | 4,79 | 3,42 | 0,9 | 0,34 | 3,52 | 4,0 | 99,8 |

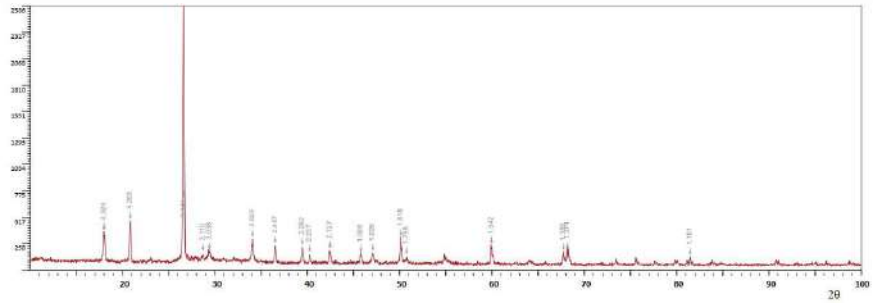
*Примечание – $R_2O$ рассчитано как сумма $K_2O$, $Na_2O$, $TiO_2$, $P_2O_5$, Cl, SrO, BaO (в пересчёте на оксиды). ППП — потери при прокаливании при 1000°C.

По нормативному пересчёту, потенциальный минеральный состав гранодиорита характеризуется преобладанием кварца (31 %), плагиоклаза (44 %) и ортоклаза (14 %).

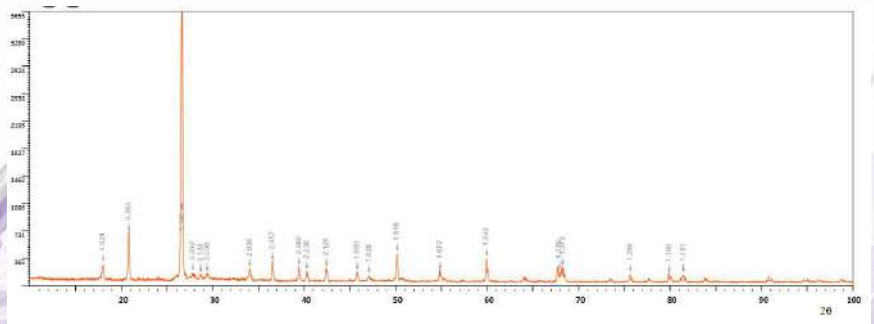
Высокое содержание реакционноспособного кремнезёма (сумма $SiO_2$ + $Al_2O_3$ ≈ 83,7 %) в сочетании с практически полным отсутствием $Na_2O$ (0,03 %) и MgO исключает риск щелочно-силикатной реакции.

Механическая активация гранодиорита проводилась совместным помолом с клинкером и гипсом в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 450-550 $м^2$/кг. Композиционные цементы готовили с содержанием добавки 10, 20, 30 и 40 % (составы П-4, П-3, П-2, П-1 соответственно). Контрольный состав – 95 % клинкера + 5 % гипса.

*Рентгенофазовый анализ (XRD).* Исследования выполнены на дифрактометре с CuKα-излучением (λ = 1,541874 Å) в диапазоне 2θ = 10-100°, шаг 0,020°. Идентификация фаз проводилась с использованием базы COD-Inorg и подтверждена справочными данными ICDD PDF-2 [4] и литературой [5, 6].

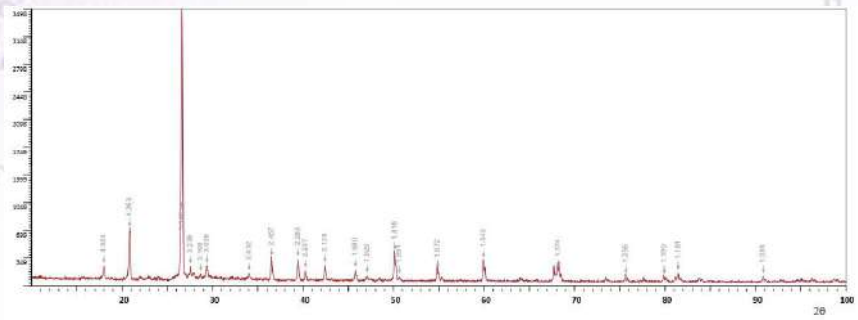


**а**



**б**

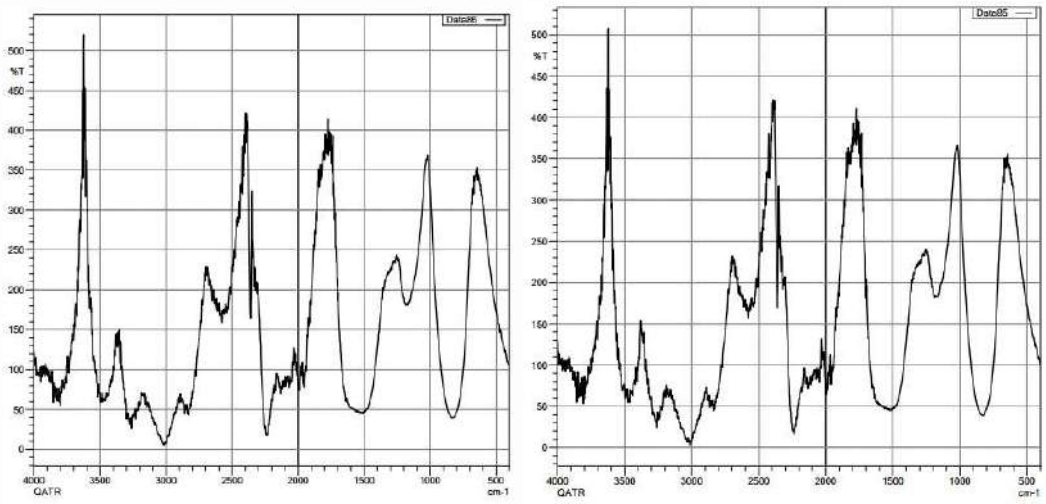

ISSN 3030-3907



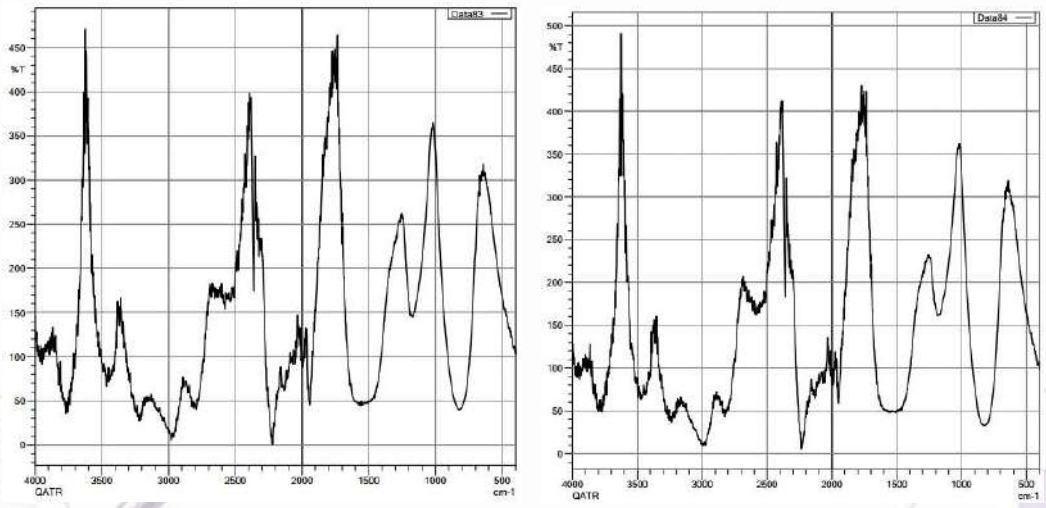
в

**Рис. 1. Дифрактограммы композиционных цементов с различными содержанием гранодиорита**

ИК-спектроскопия (FTIR-ATR). Спектры зарегистрированы на Фурье-спектрометре Shimadzu в диапазоне 4000-400 $см^{-1}$ с разрешением 4 $см^{-1}$ (45 сканов, приставка ATR) [4, 6, 7].



а б



в г

**Рисунок 2. ИК-спектроскопия композиционных цементов, содержащих 10 % (а), 20 % (б), 30 % (в) и 40 % (г) добавки гранодиорит**

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.**


ISSN 3030-3907

На дифрактограммах всех составов (рис. 1) доминирующей кристаллической фазой является α-кварц. Главный рефлекс зарегистрирован при d = 0,3343-0,3346 нм. Дополнительно идентифицированы рефлексы плагиоклаза (d = 0,404 нм и d = 0,322-0,321 нм).

Портландит $Ca(OH)_2$ идентифицирован по рефлексу d = 0,4915-0,4918 нм. С ростом содержания гранодиорита от 10 до 40 % интенсивность этого рефлекса закономерно снижается (рис. 1, кривые а-г). Аморфное гало в области d ~ 0,28-0,32 нм, соответствующее C-S-H-гелю, напротив, усиливается.

Стабильные и интенсивные рефлексы α-кварца при всех дозировках указывают на то, что основная часть добавки сохраняет кристаллическую структуру и выполняет роль инертного микронаполнителя. Одновременное снижение пика портландита и рост аморфного гало подтверждают протекание пуццолановой реакции [4, 5, 6]:

$$SiO_{2(гранодиорит)} + Ca(OH)_2 + H_2O \rightarrow C\text{-}S\text{-}H\ (низкоосновный,\ Ca/Si < 1,5)$$

На рисунке 2 представлены ИК-спектры композиционных цементов. В ИК-спектрах всех образцов идентифицированы характеристические полосы портландита (3640 $см^{-1}$), C-S-H-геля (1000-1100 $см^{-1}$) и α-кварца (798, 778, 695 $см^{-1}$).

С увеличением дозировки гранодиорита от 10 до 40 % наблюдается закономерное снижение интенсивности полосы портландита (3640 $см^{-1}$) и усиление полос C-S-H-геля (1000-1100 $см^{-1}$). Диагностические полосы α-кварца (798, 778, 695 $см^{-1}$) сохраняются и усиливаются пропорционально содержанию добавки (рис. 2, кривые а-г).

На основании комплекса методов рентгенофазового анализа и инфракрасной спектроскопии установлено, что механоактивированный гранодиорит в цементном камне проявляет комбинированное действие:

- Физический эффект (микронаполнение): стабильные интенсивные рефлексы α-кварца при всех дозировках (рис. 1) и пропорциональное усиление его диагностических полос (798, 778, 695 $см^{-1}$) в ИК-спектрах (рис. 2) подтверждают, что тонкодисперсные частицы заполняют пустоты и уплотняют структуру.

- Химический эффект (пуццолановая активность): снижение рефлекса портландита (d=0,491 нм) и его ИК-полосы (3640 $см^{-1}$), а также рост аморфного гало (d ~ 0,28-0,32 нм) и усиление полос C-S-H-геля (1000-1100 $см^{-1}$) доказывают протекание пуццолановой реакции.

**ВЫВОДЫ.**


ISSN 3030-3907

1. Методом рентгенофазового анализа установлено, что доминирующей кристаллической фазой во всех составах является α-кварц (главный рефлекс d = 0,334 нм, $I/I_0$=1000), что подтверждено справочными данными ICDD PDF-2 [4].

2. С ростом дозировки гранодиорита от 10 до 40 % интенсивность рефлекса портландита (d = 0,491 нм) закономерно снижается, а аморфное гало C-S-H-геля (d ~ 0,28-0,32 нм) усиливается, что доказывает протекание пуццолановой реакции.

3. Методом инфракрасной спектроскопии подтверждено снижение интенсивности полосы портландита (3640 $см^{-1}$) и усиление полос C-S-H-геля (1000-1100 $см^{-1}$) при увеличении дозировки добавки.

4. Стабильные рефлексы (XRD) и диагностические полосы α-кварца (798, 778, 695 $см^{-1}$) при всех дозировках указывают на дополнительную роль гранодиорита как инертного микронаполнителя.

5. Таким образом, механоактивированный гранодиорит Каратауского месторождения проявляет комбинированное действие: пуццолановая активность + микронаполнение, что подтверждено комплексом независимых методов рентгенофазового анализа и инфракрасной спектроскопии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Scrivener K.L., John V.M., Gartner E.M. Eco-efficient cements // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 114. P. 2-26.
2. Fathy I.N., El-Sayed M.A., Hassan M.S., et al. Recycling of Waste Granodiorite Powder... // Advances in Materials Science. 2024. Vol. 24, No.2. P. 45-58. DOI: 10.2478/adms-2024-0017.
3. Mahmoud A.A., Abdelrahman H.A., El-Gammal M.I., et al. Influence of Elevated Temperature... // Scientific Reports. 2025. Vol. 15, No.1. Art. 12345. DOI: 10.1038/s41598-024-85043-2.
4. ICDD PDF-2 (2020). International Centre for Diffraction Data, Newtown Square, PA, USA.
5. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ : учеб. пособие / В. С. Горшков, В. В. Тимашев, В. Г. Савельев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
6. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. 2nd ed. London: Thomas Telford, 1997. 459 p.
7. Накамото К. ИК спектры и спектры КР неорганических соединений. – М.: Мир, 1991. – 536 с.
8. ГОСТ 5382-2019. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. – М.: Стандартинформ, 2019.


ISSN 3030-3907

9. O‘z DSt 336:2024. Добавки для цементов. Активные минеральные добавки и добавки-наполнители. Технические условия. – Т.: Узстандарт, 2024.


ISSN 3030-3907