

Xokimov Abdulaziz Ergashali o'g'li

Farg'ona davlat texnika universiteti, «Kimyo muhandisligi» kafedrası assistenti

E-mail: abdulaziz_xokimov@fstu.uz, tel: +99888 795-46-46

Abidova Mamura Alisherovna

Farg'ona davlat texnika universiteti, «Kimyo muhandisligi» kafedrası kat. o'qit.

E-mail: mamurahonabidova@gmail.com

UO'K 666.942+662.613.1

**IQ-SPEKTR TAHLILI YORDAMIDA ANGREN IES KUL-SHLAK
CHIQINDILARINING ALYUMOSILIKAT TUZILISHI VA XOSSALARINI
BAHOLASH**

***Annotatsiya.** Mazkur maqolada Angren issiqlik elektr stansiyasidan olingan kul-shlak chiqindilarining strukturaviy xususiyatlari infraqizil spektroskopiya (FTIR) usuli yordamida tadqiq etildi. Tadqiqot jarayonida dastlabki va termik ishlov berilgan namunalarning infraqizil spektrlari $4000-400\text{ sm}^{-1}$ diapazonda solishtirib tahlil qilindi. FTIR spektrlarida $1100-1000\text{ sm}^{-1}$ oralig'ida kuzatilgan intensiv yutilish polosalari material tarkibida amorf kremniy dioksidi va alyumosilikat shishasining ustunligini ko'rsatdi. $800-780$ va taxminan 690 sm^{-1} sohalarida aniqlangan polosalar kristall kvarts fazasining mavjudligini tasdiqladi. Termik ishlov berish natijasida infraqizil spektrlarda strukturaviy tartiblanish kuchayib, ayrim kristall fazalarning yaqqolroq namoyon bo'lishi kuzatildi. Olingan natijalar kul-shlak chiqindilarining yuqori darajada amorf alyumosilikat tabiatga ega ekanligini va ularni sement ishlab chiqarishda faol mineral qo'shimcha sifatida qo'llash imkoniyatini ilmiy jihatdan asoslaydi.*

***Kalit so'zlar:** kul-shlak chiqindilari, infraqizil spektroskopiya (FTIR), amorf alyumosilikatlar, termik ishlov berish, kvarts, yashil sement*

Хокимов Абдулазиз Эргашали угли

Ассистент кафедры «Химическая инженерия» Ферганского государственного
технического университета

Абидова Мамура Алишеровна

Старший преподаватель кафедры «Химическая инженерия» Ферганского
государственного технического университета

ОЦЕНКА АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ АНГРЕНСКОЙ ТЭС МЕТОДОМ ИК- СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. В данной статье с использованием метода инфракрасной спектроскопии (FTIR) исследованы структурные особенности золошлаковых отходов, полученных с Ангренской тепловой электростанции. В ходе исследования проведён сравнительный анализ инфракрасных спектров исходных и термически обработанных образцов в диапазоне 4000–400 см⁻¹. Интенсивные полосы поглощения, наблюдаемые в области 1100–1000 см⁻¹ в FTIR-спектрах, свидетельствуют о преобладании в составе материала аморфного диоксида кремния и алюмосиликатного стекла. Полосы, выявленные в интервалах 800–780 и около 690 см⁻¹, подтверждают наличие кристаллической фазы кварца. В результате термической обработки в инфракрасных спектрах отмечено усиление структурной упорядоченности и более чёткое проявление отдельных кристаллических фаз. Полученные результаты научно обосновывают высокоаморфную алюмосиликатную природу золошлаковых отходов и перспективность их использования в качестве активной минеральной добавки при производстве цемента.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, инфракрасная спектроскопия (FTIR), аморфные алюмосиликаты, термическая обработка, кварц, зелёный цемент

Khokimov Abdulaziz Ergashali ugli

Assistant of the Department of Chemical Engineering, Fergana State Technical
University

**EVALUATION OF THE ALUMINOSILICATE STRUCTURE AND
PROPERTIES OF FLY ASH-SLAG WASTE FROM THE ANGREN
THERMAL POWER PLANT USING FTIR ANALYSIS**

Abstract. *This article investigates the structural characteristics of fly ash-slag waste obtained from the Angren Thermal Power Plant using infrared spectroscopy (FTIR). A comparative analysis of the infrared spectra of untreated and thermally treated samples was carried out in the range of 4000–400 cm⁻¹. Intense absorption bands observed in the 1100–1000 cm⁻¹ region of the FTIR spectra indicate the predominance of amorphous silicon dioxide and aluminosilicate glass in the material composition. Bands detected in the 800–780 and around 690 cm⁻¹ regions confirm the presence of a crystalline quartz phase. As a result of thermal treatment, an increase in structural ordering and a more pronounced manifestation of certain crystalline phases were observed in the infrared spectra. The obtained results scientifically substantiate the highly amorphous aluminosilicate nature of the fly ash-slag waste and demonstrate its potential for use as an active mineral additive in cement production.*

Keywords: *fly ash-slag waste, infrared spectroscopy (FTIR), amorphous aluminosilicates, thermal treatment, quartz, green cement*

Kirish. Sement sanoati bugungi kunda energiya va resurslarni eng ko‘p talab qiluvchi tarmoqlardan biri bo‘lib, portlandsement klinkerini yuqori haroratda pishirish jarayoni bilan bog‘liq ravishda katta miqdorda karbonat angidrid (CO₂) chiqindilarini hosil qiladi. Shu sababli, so‘nggi yillarda sement ishlab chiqarishda klinker ulushini kamaytirishga qaratilgan, ekologik jihatdan xavfsiz va resurs tejamkor “yashil” texnologiyalarni yaratishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Bunday yondashuvlar sanoat chiqindilarini ikkilamchi xomashyo sifatida samarali

qayta ishlash orqali tabiiy resurslar sarfini qisqartirish va atrof-muhitga salbiy ta'sirni kamaytirish imkonini beradi [1].

Issiqlik elektr stansiyalarida yoqilg'i sifatida ko'mirni yoqish natijasida hosil bo'ladigan kul va shlak chiqindilari kimyoviy tarkibi va mineral tuzilishi jihatidan sement ishlab chiqarishda faol mineral qo'shimcha sifatida qo'llash uchun katta ilmiy va amaliy qiziqish uyg'otmoqda. Ushbu materiallar tarkibida mavjud bo'lgan amorf SiO_2 va alyumosilikat fazalar sement gidratatsiyasi jarayonida ajralib chiqadigan kalsiy gidroksidi bilan o'zaro ta'sirlashib, qo'shimcha past asosli kalsiy gidrosilikatlarni hosil qilish qobiliyatiga ega. Natijada sement toshining tuzilmasi zichlashadi, uning mustahkamligi va uzoq muddatli chidamliligi oshadi. Kul-shlak chiqindilarining puzsolan faolligi ularning kelib chiqishi, yoqilg'i turi, yoqish harorati hamda yig'ib olish usuliga bevosita bog'liqdir. Ayniqsa, quruq usulda ajratib olinadigan kul-shlak chiqindilari nam usulda chiqarilgan materiallarga nisbatan yuqori darajada strukturaviy tartibsizlikka, rivojlangan sirt faolligiga va yuqori reaksiya qobiliyatiga ega bo'lishi bilan ajralib turadi. Angren issiqlik elektr stansiyasida quruq usulda olingan kul-shlak chiqindilari tarkibida amorf alyumosilikat shishasining yuqori ulushi mavjud bo'lib, ularni yuqori darajada klinker bilan almashtirilgan puzsolanli sementlar olishda istiqbolli faol mineral qo'shimcha sifatida ko'rib chiqish mumkin [2-15].

Moddalarning strukturaviy xususiyatlarini, bog'lanish turlarini hamda amorf va kristall fazalar nisbatini aniqlashda infraqizil spektroskopiya (FTIR) usuli samarali va ishonchli fizik-kimyoviy tahlil vositasi hisoblanadi. FTIR usuli yordamida alyumosilikatli materiallarda Si-O-Si va Si-O-Al bog'lanishlariga xos tebranishlarni aniqlash, shuningdek, termik ishlov berish natijasida yuz beradigan strukturaviy o'zgarishlarni baholash mumkin. Kimyoviy tarkib tahlili bilan uyg'un holda olib borilgan infraqizil spektroskopik tadqiqotlar materialning puzsolan faolligi va strukturasi o'rtasidagi bog'liqlikni chuqurroq ochib berishga imkon yaratadi [16-19].

Mazkur tadqiqot ishining maqsadi Angren issiqlik elektr stansiyasidan quruq usulda olingan kul-shlak chiqindilarining infraqizil spektrlarini tahlil qilish, termik

ishlov berishning alyumosilikat tuzilmasiga ta'sirini baholash hamda olingan natijalarni materialning kimyoviy tarkibi va puzsolan xossalari bilan bog'liq holda izohlashdan iborat. Tadqiqot natijalari sement ishlab chiqarishda klinker miqdori kamaytirilgan, ekologik barqaror puzsolanli sementlarni yaratish uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Materiallar va tadqiqot usullari. Mazkur tadqiqotda asosiy obyekt sifatida Angren issiqlik elektr stansiyasida ko'mir yoqilishi natijasida hosil bo'ladigan va quruq usulda ajratib olinadigan kul-shlak chiqindilari tanlab olindi (1-rasm). Ushbu chiqindilar sement sanoatida faol mineral qo'shimcha sifatida qo'llash uchun istiqbolli bo'lib, ularning tarkibi amorf kremniy dioksidi va alyumosilikat fazalarga boyligi bilan tavsiflanadi. Quruq usulda yig'ib olinishi tufayli material yuqori darajada strukturaviy tartibsizlikka va puzsolan faollikka ega bo'lib, bu xususiyatlar uni puzsolanli sementlar ishlab chiqarishda samarali komponent sifatida ko'rib chiqish imkonini beradi.



a)



b)

1-Rasm. Angren IES kul-shlak chiqindi namunasi tasviri: a) dastlabki namuna;
b) sharli tegirmonda maydalangan namuna.

Tadqiqot jarayonida kul-shlak chiqindilarining dastlabki holati bilan bir qatorda, 1000°C haroratda termik ishlov berilgan namunalari ham o'rganildi. Termik ishlov berish amorf fazalarning strukturaviy qayta tashkil topishi va kristall fazalarning namoyon bo'lishiga olib kelishi mumkinligi sababli, ushbu jarayonning material tuzilmasiga ta'siri alohida baholandi.

Kul-shlak chiqindilarining strukturaviy va fizik-kimyoviy xususiyatlarini aniqlash maqsadida infraqizil spektroskopiya (FTIR) usulidan foydalanildi.

Infraqizil spektrlar $4000-400\text{ sm}^{-1}$ diapazonda qayd etilib, natijalar asosida material tarkibidagi asosiy funksional guruhlar va bog‘lanish turlari tahlil qilindi. Spektrlarda Si-O-Si va Si-O-Al bog‘lanishlariga xos tebranishlar, shuningdek, kvarts va boshqa mumkin bo‘lgan kristall fazalarga tegishli yutilish polosalari aniqlandi.

Termik ishlov berilgan va dastlabki namunalarning infraqizil spektrlari o‘zaro solishtirilib, qizdirish jarayonining amorf alyumosilikat tuzilmasiga ta’siri baholandi. Spektral o‘zgarishlar materialning strukturaviy tartiblanish darajasi va puzsolan faolligi bilan bog‘liq holda izohlandi.

Infraqizil spektroskopiya natijalari materialning kimyoviy tarkibi haqidagi ma’lumotlar bilan uyg‘unlashtirilib, puzsolan faollikni belgilovchi asosiy omillar aniqlandi. Tadqiqotlar natijalarini tahlil qilishda kul-shlak chiqindilarining sement gidratatsiyasi jarayonidagi roli, xususan, kalsiy gidroksidi bilan o‘zaro ta’sirlashish imkoniyati hisobga olindi.

Natijalar va muhokama. Angren issiqlik elektr stansiyasidan quruq usulda olingan kul-shlak chiqindilarining infraqizil spektrlari $4000-400\text{ sm}^{-1}$ diapazonda o‘rganildi (2-rasm). Tadqiqot natijalari dastlabki va termik ishlov berilgan namunalarning strukturaviy xususiyatlarini solishtirish imkonini berdi.

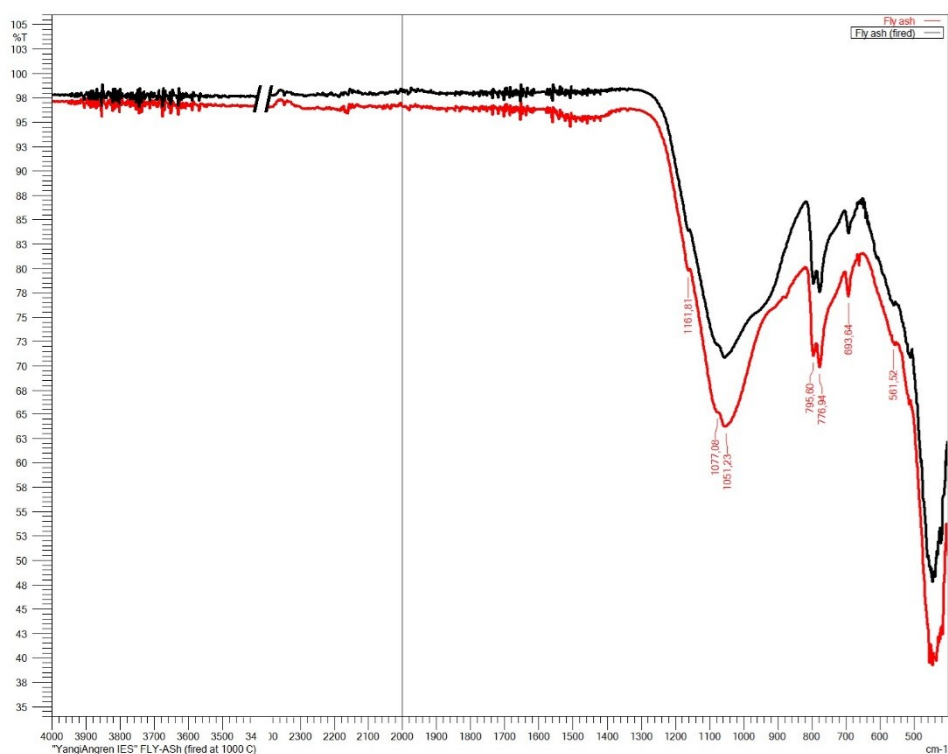
Infraqizil spektrlarning asosiy yutilish polosasi $1100-1000\text{ sm}^{-1}$ oralig‘ida kuzatilib, u Si-O-Si va Si-O-Al bog‘lanishlarining assimmetrik cho‘zilish tebranishlariga mos keladi. Ushbu intensiv polosa kul-shlak chiqindilari tarkibida amorf kremniy dioksidi va alyumosilikat shishasining ustunligini ko‘rsatadi. Mazkur fazalar yuqori reaksiya qobiliyatiga ega bo‘lib, sement gidratatsiyasi jarayonida ajralib chiqadigan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bilan o‘zaro ta’sirlashish orqali past asosli kalsiy gidrosilikatlar hosil qilishda muhim rol o‘ynaydi.

$800-780\text{ sm}^{-1}$ oralig‘ida qayd etilgan yutilish polosalari Si-O bog‘lanishlarining simmetrik tebranishlariga mos bo‘lib, ular asosan kristall kvarts fazasiga xosdir. Shuningdek, taxminan 690 sm^{-1} atrofida kuzatilgan polosa ham kvarts mavjudligini tasdiqlaydi. Bu holat kul-shlak chiqindilari tarkibida amorf

faza bilan bir qatorda ma'lum miqdorda kristall komponentlar ham mavjud ekanligini ko'rsatadi.

560 cm^{-1} atrofida aniqlangan zaif yutilish polosasi Al-O yoki Si-O-Al deformatsion tebranishlariga tegishli bo'lib, alyumosilikat karkasining shakllanganligini bildiradi. Ushbu bog'lanishlar kul-shlak chiqindilarining puzsolan faolligini belgilovchi asosiy strukturaviy elementlar hisoblanadi.

3600-3200 cm^{-1} sohada gidroksil guruhlariga (-OH) xos kuchli yutilish polosalarining deyarli kuzatilmaslari material tarkibida adsorbsiyalangan suv va gidroksil guruhlarining kamligini ko'rsatadi. Bu holat quruq usulda yig'ib olingan kul-shlak chiqindilarining nisbatan barqaror va suv bilan kam o'zaro ta'sirlashuvchanligini tasdiqlaydi.



2-Rasm. Angren IES kul-shlak chiqindi namunalarining IQ spektrogrammasi

Termik ishlov berilgan namunalarning infraqizil spektrlari dastlabki namunalarga nisbatan silliqroq va aniqroq yutilish polosalari bilan tavsiflanadi (1-jadval). Bu holat qizdirish jarayonida amorf alyumosilikat fazalarning qisman strukturaviy tartiblanishi va ayrim kristall fazalarning yaqqolroq namoyon bo'lishi bilan izohlanadi. Ayniqsa, kvartsga xos yutilish polosalarining intensivligi ortishi

termik ta'sir natijasida fazaviy qayta tashkil topish jarayonlari sodir bo'layotganini ko'rsatadi.

1-Jadval

Kul-shlak chiqindilarining IQ spektrlarida aniqlangan asosiy yutilish polosalari va ularning talqini

To'liq soni, sm^{-1}	Yutilish polosasi tavsifi	Mos keluvchi tebranish turi	Strukturaviy va texnologik ahamiyati
1100–1000	Kuchli, keng polosa	Si–O–Si va Si–O–Al assimmetrik cho'zilish tebranishlari	Amorf kremniy dioksidi va alyumosilikat shishasining ustunligini ko'rsatadi; yuqori puzsolan faollik manbai
800–780	O'rtacha intensivlik	Si–O simmetrik cho'zilish tebranishlari	Kristall kvarts fazasining mavjudligini bildiradi
≈ 690	Zaif–o'rtacha	Kvartsga xos tebranishlar	Erkin kvarts mavjudligini tasdiqlaydi
≈ 560	Zaif	Al–O va Si–O–Al deformatsion tebranishlari	Alyumosilikat karkasining shakllanganligini ko'rsatadi
3600–3200	Juda zaif yoki kuzatilmaydi	–OH guruhlar cho'zilish tebranishlari	Adsorbsiyalangan suv va gidroksil guruhlarining kamligi
1650–1600	Deyarli kuzatilmaydi	H–O–H egilish tebranishlari	Namlik miqdorining pastligi

Umuman olganda, infraqizil spektrlar tahlili Angren IES quruq usuldagi kompozitsion kul-shlak chiqindilarining yuqori darajada amorf alyumosilikat tabiatga ega ekanligini tasdiqlaydi. Mazkur strukturaviy xususiyatlar ularning yuqori puzsolan faolligini va sement ishlab chiqarishda klinker miqdorini sezilarli darajada kamaytirgan holda qo'llash imkoniyatini asoslaydi [].

Xulosa. O'tkazilgan infraqizil spektroskopik tadqiqotlar Angren issiqlik elektr stansiyasidan quruq usulda olingan kul-shlak chiqindilarining strukturaviy xususiyatlarini baholash imkonini berdi. FTIR spektrlarida $1100\text{--}1000\text{ sm}^{-1}$ oralig'ida kuzatilgan kuchli yutilish polosalari material tarkibida amorf kremniy dioksidi va alyumosilikat shishasining ustunligini tasdiqlaydi. Ushbu fazalar yuqori reaksiya qobiliyatiga ega bo'lib, sement gidratatsiyasi jarayonida Ca(OH)_2 bilan o'zaro ta'sirlashish orqali puzsolan faollikni ta'minlaydi.

800-780 va taxminan 690 sm^{-1} sohalarida aniqlangan yutilish polosalari kul-shlak chiqindilari tarkibida ma'lum miqdorda kristall kvarts fazasi mavjud ekanligini ko'rsatdi. Shu bilan birga, 560 sm^{-1} atrofidagi zaif polosalar alyumosilikat karkasining shakllanganligini va Al-O bog'lanishlarining mavjudligini tasdiqlaydi.

Termik ishlov berilgan namunalarda infraqizil spektrlarning aniqroq va silliqroq bo'lishi amorf fazalarning qisman strukturaviy tartiblanishi va kristall fazalarning nisbatan yaqqolroq namoyon bo'lishi bilan izohlanadi. Gidroksil guruhlarga xos yutilish polosalarining deyarli kuzatilmasligi materialning namlik miqdori past va nisbatan barqaror ekanligini ko'rsatadi.

Umuman olganda, infraqizil spektrlar tahlili kul-shlak chiqindilarining yuqori darajada amorf alyumosilikat tabiatga ega ekanligini tasdiqlab, ularni sement ishlab chiqarishda faol mineral qo'shimcha sifatida qo'llash imkoniyatini ilmiy jihatdan asoslaydi. Olingan natijalar klinker miqdori kamaytirilgan, ekologik barqaror puzsolanli sementlarni ishlab chiqish uchun muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar ro'yxati

1. Иванов В.В., Иванов И.В. Энергосберегающая экологически чистая технология сжигания твердого топлива и переработки золошлаковых отходов электростанций. Монография. - Рязань: НП "Голос губернии", 2009. - 476 с.
2. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Коробкин А.П. и др. Разработка состава композиционного портландцемента на основе золошлаковой смеси Новочеркасской ГРЭС // Вестник СевКавГТИ. 2017. № 3 (30). - С. 148–153.
3. Collepardi M., Olagot Ogoumah J.J., Troli R. Combination of Silica Fume, Fly Ash and Amorphous Nano-Silica in Superplasticized High-Performance Concretes // The VII AIMAT Congress. 2004: Italy. 2004. –pp. 100-108.
4. Барсуков С.В. Особенности процессов получения портландцементного клинкера из золосодержащих сыревых смесей // Автореф. дисс... на соискание учёной степени к.т.н. –Барнаул. 2006. – 19 с.

5. Козлова В.К., Барсукова С.В., Карпова Ю.В. Отвалы золы-шлака в качестве сырьевого компонента для производства портландцементного клинкера // Резервы производства строительных материалов. - Барнаул: АлтГТУ. 1999. - С.106-109.
6. Козлова В.К., Барсуков С.В., Хижинков О.В., Мешков Д.А. Влияние добавок на свойства золосодержащих сырьевых шламов для производства портландцементного клинкера // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Гуманизм и строительство на пороге третьего тысячелетия». - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. - С.125.
7. Барсуков С.В., Козлова В.К. Характеристика золосодержащих сырьевых смесей для производства цемента // Стендовые доклады II Международного совещания по химии и технологии цемента. Том 3.- СПб.: Изд-во ЦПО "Информатизация образования". 2000. - С. 17 – 20.
8. Барсуков С.В., Козлова В.К. Изучение свойств золосодержащих портландцементных сырьевых смесей с отходами от сжигания углей Канско-Ачинского бассейна // Ползуновский альманах. - 2001. – Вып. 3. - С. 210 – 213.
9. Рекомендации по применению в бетонах золы, шлаков и золошлаковых смесей тепловых электростанций. - М.: Стройиздат, 1986. - 80 с.
10. Малыхин Р.Н. Применение золошлаковых отходов в дорожном строительстве Кузбасса // Молодой ученый. 2019. № 15 (253). - С. 41-44.
11. Иванов В.В., Иванов И.В. Переработка золошлаковых отходов // Маркшейдер. вестн. 2008. № 3(65). - С. 29-31.
12. Заурбеков Ш.Ш., Муртазаев С.-А.Ю., Успанова А.С., Сайдумов М.С. Использование золошлаковых отходов ТЭЦ г. Грозного для получения строительных композитов // Экол. и пром-сть России. 2011. Январь - С.26-28.
13. Пулатов З.П., Бутаев Э.М., Адылов Д.К. и др. Использование золошлаков и золо-уносов ТЭС в производстве добавочных цементов // Узбекский химический журнал. 2009. № 6. - С.53-57.

14. Tang Van Kam, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova and others. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete//E3S Web of Conferences 33. 02030 (2018).
15. Капустин Ф.Л., Рагозин Д.В., Кузнецов А.В. и др. Золошлаковая смесь ТЭС - минеральная добавка в портландцемент // Цемент и его применение. № 5. 2011. – С. 116-117.
16. Эминов А.М., Хокимов А.Э., Кадырова З.Р., Мирсалимова С.Р. Синтез керамических материалов с добавкой нефтяного шлама в системе глина–барханный песок. Новые огнеупоры. 2025;(4):3-7.
17. Khokimov A.E., Eminov A.M., Hamdamova Sh.Sh. Recycling industrial waste into high-performance ceramics // Universum: технические науки. 2023. № 3(108), Часть 5. стр. 22-26.
18. Khokimov A.E., Eminov A.M., Kadirova Z.R., Mirsalimova S.R. Study of dune sands of Yazyavan for producing ceramic materials // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2025. Volume 60, № 4, pages 563-570.
19. Khokimov A.E., Eminov A.M., Kadirova Z.R., Khakimov F.Sh., Rahmonov O.K. The effectiveness of oil sludge inclusion in ceramic materials // Universum: технические науки. 2023. № 12(117), Часть 8. стр. 47-51.