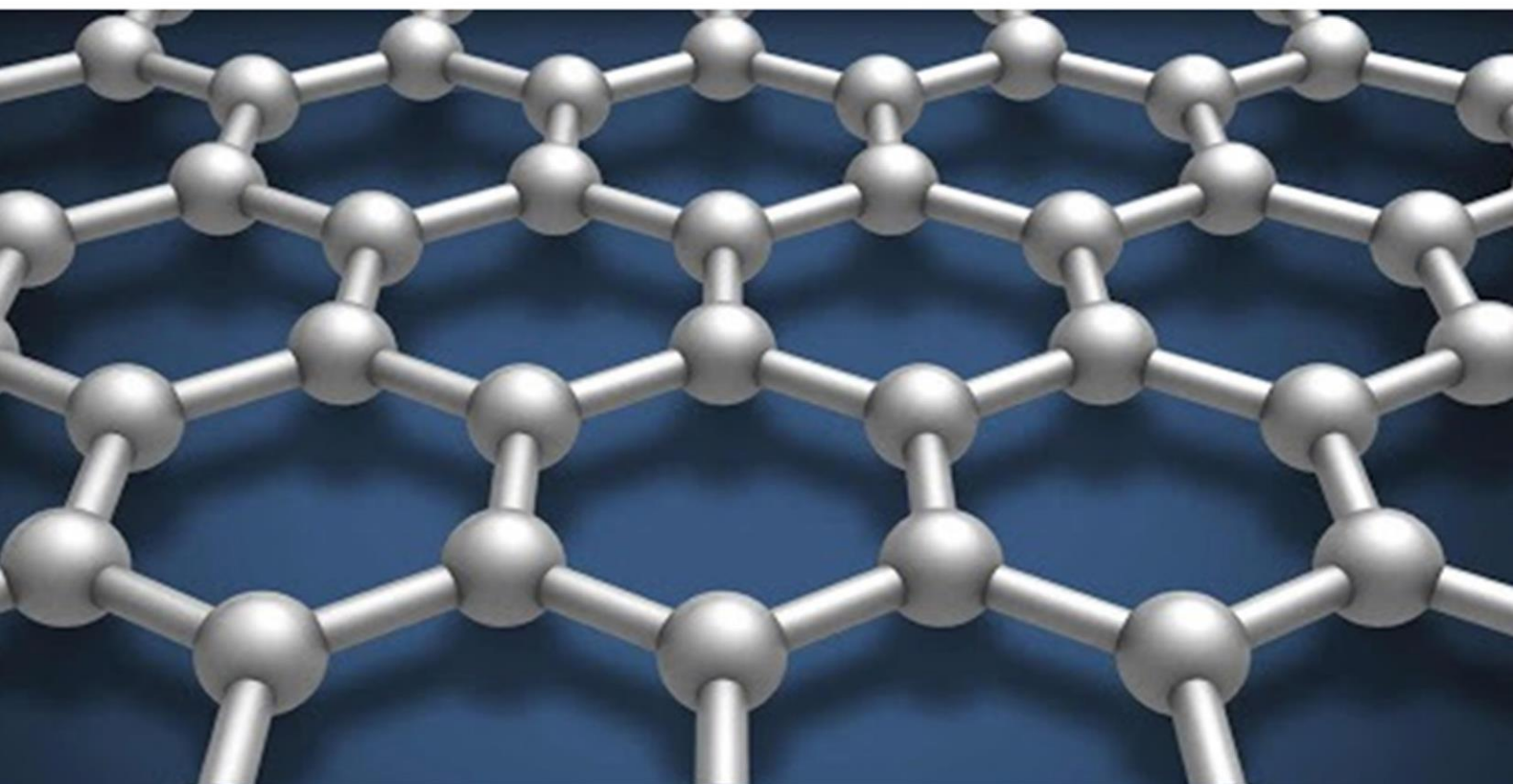


O'zbekiston

# **K**ompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал  
**Композиционные материалы**

## РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ РАЗРАБОТАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОРБЕНТОВ КХР-ОКс ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОРБЦИИ

Негматов Сойибжон Содикович, Эрниезов Норкул Бекниезович,  
Негматова Комила Сойибжановна, Бозоров Аминжон Нуриллоевич,  
Негматов Жахонгир Носир угли, Субанова Зарнигор Абдунаби кизи,  
Каримов Элбек Салим угли, Саидкулов Саидрахмон Абдумажид угли,  
Гулмуродова Гулшан Гуломжоновна, Турсунов Шарофиддин Нуркобил угли,  
Тошпулатова Гулинисо Ражаб кизи, Ибодуллаев Туйчи Неймат угли

Государственное учреждение «Фан ва тараққиёт» при ТГТУ им. И. Каримова  
E-mail: fan\_va\_taraqqiyot@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время базовыми матричными структурами для химической модификации и получения ионитов являются сшитые дивинилбензолом стирольные и акриловые сополимеры. Регулируя условия сополимеризации, можно получить не только заданный размер, но и другие важные для синтеза ионитов параметры гранул исходного полимера, прежде всего пористость. Сополимеры стирола с дивинилбензолом являются универсальной матрицей для получения обоих основных классов ионитов катионитов и анионитов. В этой связи большой практический интерес представляет поиск новых ионитов, обладающих комплексом ценных показателей. Поэтому исследования последних лет в области создания конкурентно способной продукции направлены на эффективные способы модификации существующих ионитов с целью придания им улучшенных показателей таких основных свойств, как повышенная термо-химическая стойкость, достаточно хорошие показатели кинетических, сорбционных, и избирательных характеристик. Это в свою очередь решается применением современного подхода при получении продуктов и вопросов рационального использования доступных исходных ресурсов и вторичных продуктов производств.

**Ключевые слова.** Ионообменный сорбент, физико-химические свойства, сорбционная способность, извлечение благородных металлов, селективность, функциональные группы, композиционный химический сорбент.

**Введение.** В настоящее время сорбции и цианирования как основной процесс, широко применяется в металлургии благородных металлов. Качественно новым этапом развития цианистого процесса явилась разработка и внедрение в промышленную практику методов извлечения золота непосредственно из цианистых рудных пульп (без их предварительного обезвоживания: сгущения, фильтрации) с помощью искусственных гранулированных сорбентов. В этом варианте растворенное в цианиде золото выделяется из пульпы на гранулах сорбента, размер которых значительно превышает крупность частиц измельчаемой руды. Нагруженный золотом ионообменный сорбент затем отделяют от пульпы на специальных дренажных устройствах и обрабатывают в отдельном цикле до получения товарного золотосодержащего продукта. В металлургии благородных металлов метод цианирования вот уже на протяжении более 110 лет прочно занимает главное место в технологии производства золота. С его помощью за последние 20 лет в мире добыто более 90% металла.

### Объектами и методика исследования.

Объектами исследования является: акрилонитрил, стирол, дивинилбензол, перекис бензоила, гидроксиэтилцеллюлоза, алкил бензол, диметиламин, триэтиламин, этиленгликоль, алкил бензол, изопропиловой спирт, хлорид аммония, хлорид цинка, золотосодержащие руда ГМЗ-4 АО «Навоийский ГМК».

Для сорбции золота и серебра в цианистом процессе могут быть использованы аниониты следующих типов: 1) сильноосновные (отечественные марки АМ, АВ-17, АМП) с функциональными группами в виде четвертичных аммониевых  $=N^+$  или пиридиновых R-N оснований с высокой степенью диссоциации в кислых и щелочных средах ( $pH \leq 2$ ) следовательно, проявляющие активные ионообменные свойства в широком диапазоне значений pH среды; 2) слабоосновные (марки АН-18, АН-21, АН-31 и др.) с функциональными группами в виде первичных  $-NH_3^+$ , вторичных  $=NH_2^+$  и третичных  $=NH^+$  аминогрупп, слабо диссоциирующих ( $pH \geq 4-9$ ) в нейтральных и щелочных средах; 3) аниониты смешанной

основности - полифункциональные (марки АМ-2Б, АП-2, АП-3 и др.), содержащие сильноосновные ( $=N^+$ ) и слабоосновные ( $-NH_3^+$ ,  $=NH_2^+$ ,  $=NH^+$ ) функциональные группы в различных соотношениях, проявляющие свойства сильного и слабого оснований с изменяющейся ионообменной активностью в зависимости от величины pH раствора [1, 2].

#### Результаты исследований и их анализ.

На основе комплексного анализа результатов предварительно проведенных исследований, выявлено, что взаимодействие композиционных химических ионообменных сорбентов с ионами металлов в основном зависит от избирательной сорбционной способности сорбента, от вида и количества фиксированных ионов и водородного показателя (pH) раствора или пульпы. Разработанное нами композиционный химический ионообменный сорбент содержит сильноосновные ( $=N^+$ ) и слабоосновные ( $-NH_3^+$ ,  $=NH_2^+$ ,  $=NH^+$ ) функциональные группы в различных соотношениях, в виде четвертичных аммониевых  $=N^+$  или пиридиновых R-N оснований с высокой степенью диссоциации в кислых и щелочных

средах ( $pH \leq 2$ ), которые проявляет активные ионообменные свойства в широком диапазоне значений pH среды; [3, 4].

Необходимо отметить, что состав композиционного ионообменного сорбента зависит от природы, вида, состава, и физико-химических свойств органоминеральных ингредиентов.

Основные факторы, влияющие на эффективность сорбционного извлечения благородных металлов, это избирательной сорбционной способности и механической прочности композиционных ионообменных сорбентов. Особое внимание уделялось при синтезе композиционных ионообменных сорбентов, аминированую с вторичными и третичными аминами, что, привело к закреплению каркаса ионита функциональных групп смешанной основности, придающую ионообменным сорбентам избирательной сорбционной способности к ионам благородных металлов (золото и серебро).

В таблице 1 приведены физико-химические свойства модульного композиционного ионообменного сорбента.

**Таблица. 1.**

**Физико-химические свойства модельного композиционного ионообменного сорбента**

|                                                             |                                                        |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Внешний вид                                                 | непрозрачные сферические гранулы<br>бело-желтого цвета |
| Функциональные группы                                       | Вторичные и третичные<br>аминогруппы.                  |
| Ионная форма                                                | хлоридная                                              |
| Размер зерен в набухшем состоянии, мм                       | 0,8-2,2                                                |
| Объемная доля рабочей фракции, %                            | 98                                                     |
| Полная обменная емкость по хлор-иону,<br>не менее, мг-экв/г | 3,3                                                    |
| Емкость по низкоосновным группам,<br>не менее, мг-экв/г     | 2,4                                                    |
| Массовая доля влаги, %                                      | 48-53                                                  |
| Удельный объем, см <sup>3</sup> /г                          | 3,0-3,1                                                |
| Механическая прочность, %                                   | 98                                                     |
| Максимально допустимая рабочая<br>температура, °C           | 70                                                     |

Как видно из таблицы 1, что оптимальный состав композиционного ионообменного сорбента по своим физико-химическим свойствам аналогичен ионообменному

сорбенту АМ-2Б, применяемые при сорбционном извлечении благородных металлов из пульп и растворов золотосодержащих руд.

Таблица 2.

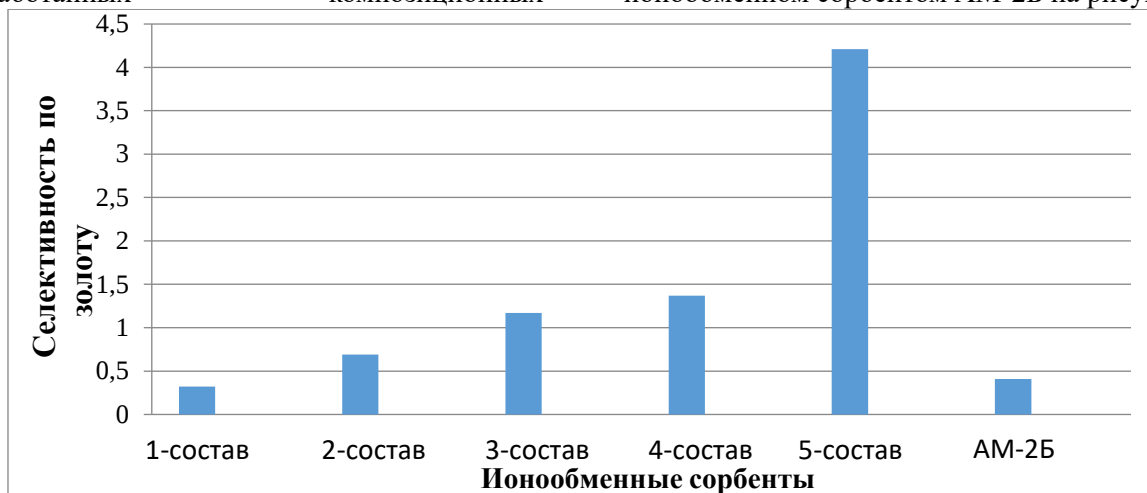
**Сравнительные данные по емкости и селективности по золоту образцов композиционных ионообменных сорбентов, полученных предлагаемым способом, и анионита АМ-2Б**

| № примера | Состав сополимера, % |     |     |        | Емкость по золоту |       | Емкость по примесям, мг/г | Селективность по золоту |
|-----------|----------------------|-----|-----|--------|-------------------|-------|---------------------------|-------------------------|
|           | НАК                  | ДВБ | ЭС  | Стирол | мг/г              | мг/мл |                           |                         |
| 1         | 75                   | 15  | 10  | -      | 2,04              | 0,72  | 6,17                      | 0,32                    |
| 2         | 45                   | 21  | 14  | 20     | 3,90              | 1,46  | 5,65                      | 0,69                    |
| 3         | 46                   | 15  | 10  | 29     | 4,17              | 1,62  | 3,56                      | 1,17                    |
| 4         | 42                   | 15  | 8,7 | 36,3   | 4,5               | 1,75  | 3,27                      | 1,37                    |
| 5         | 34                   | 12  | 8   | 46     | 4,8               | 1,88  | 1,14                      | 4,21                    |
| АМ-2Б     | -                    | 8   | 5   | 87     | 7,5               | 2,34  | 18,3                      | 0,41                    |

Композиционные ионообменные сорбенты, полученные предлагаемым способом, имеет селективность по золоту ионитов, выше чем селективности АМ-2Б.

Для исследования физико-химических свойств и сорбционной способности разработанных композиционных

ионообменных сорбентов класса КХР-ОКс была изучена зависимость избирательной сорбционной способности разработанных ионообменных сорбентов от содержания стирола и акрилонитрила в структуре трехмерного каркаса ионита, с сравнением с ионообменным сорбентом АМ-2Б на рисунке. 1.



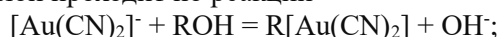
**Рис.1. Зависимость избирательной сорбционной способности разработанных ионообменных сорбентов от содержания стирола и акрилонитрила в структуре трехмерного каркаса ионита**

Из полученных данных видно, что разработанные новые образцы композиционных ионообменных сорбентов №4 и №5 селективностью по золоту несколько раз превышает с сравнениу к известному ионообменному сорбенту АМ-2Б [5].

На основе анализа выявленных результатов и механизмов взаимодействия компонентов композиции с ионами благородных металлов показана возможность разработки более эффективных составов композиционных химических реагентов – ионообменных сорбентов, обеспечивающих высокую степень извлечения благородных металлов.

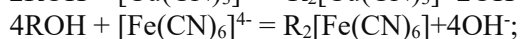
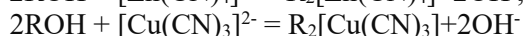
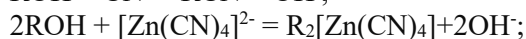
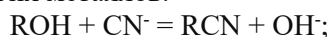
Для цианистого комплекса золота в качестве ионита используется ионообменные сорбенты смещенной основности. Расход смолы составляет 10...20 г/т. Противоионом в смоле является гидроксильный ион  $\text{OH}^-$ , который легко обменивается на золото-цианистый комплекс.

Взаимодействие цианистого комплекса со смолы проходит по реакции



где R - каркас ионита.

Извлечение золота из раствора определяется равновесной концентрации его в растворе. Кроме золота на смоле собираются свободный цианид и цианистые комплексы других металлов.



Проведенные реакции снижают емкость смолы по золоту. На смоле также собираются анионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ . Механизм ионообменного процесса имеет три стадии:

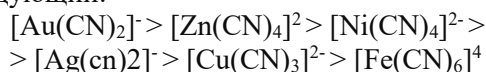
- диффузия поглощаемых ионов из раствора к зерну смолы;

- диффузия поглощаемых ионов в объем смолы от поверхности зерна ионита вглубь и вытесняемых ионов во встречном направлении;

- диффузия вытесняемых ионов от поверхности ионита в объем раствора.

Скорость процесса определяется либо скоростью диффузии в зерне ионита, либо скоростью диффузии через пленку раствора у поверхности зерна ионита. В реальных условиях скорость невелика, а продолжительность измеряется десятками часов. Вначале сорбируются анионные комплексы металлов, обладающие малым сродством к иониту (Fe, Cu, Ag); с увеличением продолжительности контакта они вытесняются анионными комплексами Au, Zn, Ni.

Для большинства анионитов порядок сорбции комплексных анионов металлов следующий:



Основной фактор, определяющий место аниона в этом ряду, величина энергии гидратации иона: с ее уменьшением сродство аниона возрастает. Энергия гидратации зависит от заряда и радиуса иона: с уменьшением заряда и увеличением радиуса она уменьшается. Ряд сродства анионов металлов такой же, как и ряд сорбции [6-10].

Таким образом, разработанного композиционного сорбента можно успешно применять в процессе цианирования и сорбции металлургической промышленности.

**Выводы.** Разработан эффективный состав и исследованы их физико-химические и технологические свойства. Композиционного ионообменного сорбентов класса КХР-ОКс, применяемых для извлечения благородных металлов из пульпы золотосодержащих руд металлургической промышленности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Негматов С.С., Эрниеков Н.Б., Бозоров А.Н., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Абед Н.С., Субанова З.А., Раупова О проблеме создания композиционных сорбентов для извлечения благородных редких металлов. «Resource and energy-saving innovative technologies in the field of foundry» ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТашГТУ им. И. Каримова, Узбекистан.
- 2 Негматов С.С., Эрниеков Н.Б., Негматова К.С., Абед Н.С., Икрамова М.Э., Бозоров А.Н., Раупова Д.Н. Сорбенты и их применение в процессе извлечения благородных редких металлов из пульпы в металлургии. Международная научная и научно-техническая конференция «Ресурсо и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве». ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТашГТУ им. И. Каримова, Узбекистан. с. 348-349.
- 3 С.С. Негматов, А.Н. Бозоров, Н.Б. Эрниеков, З.А. Субанова Разработка технология получения товарной продукции из отходов и полупродуктов АО «АГМК». Актуальные проблемы и инновационные технологии в области естественных наук. Международная научно-практическая конференция. ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТашГТУ им. И. Каримова, г. Ташкент. с. 153-154.
- 4 С.С. Негматов, Н.Б. Эрниеков, Н.С. Абед, К.С. Негматова, М.Э. Икрамова, Д.Н. Раупова Создание композиционных сорбентов для извлечения благородных и редких металлов. Материалы конференции республиканская научно-техническая конференция перспективы развития композиционных материалов. ГУП «Фан ва тараккиёт» при ТашГТУ им. И. Каримова, г. Ташкент. 19-20 сентября 2024 г. С. 4-5.
- 5 С.С. Негматов., Н.Б. Эрниеков., К.С. Негматова., Н.С. Абед., М.Э. Икрамова, Ж.Н. Негматов Д.Н. Раупова Перспективы развития металлургической промышленности и извлечения цветных, благородных и редких металлов. // Композиционные материалы. 2024 с. 143-145.
- 6 С.С. Негматов., Н.Б. Эрниеков., К.С. Негматова., Н.С. Абед., М.Э. Икрамова, Ж.Н. Негматов Д.Н. Раупова Влияния увеличение сорбционной способности ионообменных сорбентов на извлечению благородных металлов. // Композиционные материалы. 2024. С. 153-154.
- 7 Bozorov, A. N., Negmatov, S. S., Erniyozov, N. B., Subanova, Z. A., & Sultonova, I. Q. (2023). Investigation of the sorption method of processing molybdenum-containing raw materials to extract rare metals. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 401, p. 03045). EDP Sciences.
- 8 Sharipov, H., Khoshimkhanova, M., Kamolov, T., Bozorov, A., & Kiyamova, D. (2022). Technogenic waste from enterprises of the thermoelectric power stations and metallurgical industries, analysis and development of technology for their processing. *Journal of Optoelectronics Laser*, 41(6), 742-749.
- 9 Bozorov, A., Ernazarov, M. T., Negmatov, S., Sharipov, H., & Kholmurodova, D. (2022). Development of an Environmentally Friendly Technology for Producing Ammonium Molybdenum Acid from Copper-Molybdenum Industrial Product. *Journal of Optoelectronics Laser*, 41(6), 734-741.
- 10 Bozorov, A., Abed, N., Kamalov, T., & Negmatov, J. (2023). Research of Technology of Processing Man-Made Waste of Molybdenum Production. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 449, p. 06010). EDP Sciences.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Юлдашов Д.Я., Юсупбеков А.Х., Зубков Д.Г., Шамсиева С.С., Олимов Ф.Т. Особенности состава тонкодисперсных шунгитовых порошков .....                                                                                                                                                                                                     | 160 |
| Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Мирзарахимова З.Б. Способы переработки изношенных шин .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 162 |
| Кадиров С.У., Дадаходжаев А.Т. Производство железоксидного пигмента из отработанных среднетемпературных катализаторов .....                                                                                                                                                                                                             | 165 |
| Максудходжаева М.С. Комплексное использование промпродуктов переработки клинкера техногенного сырья цинкового производства .....                                                                                                                                                                                                        | 167 |
| Садикова Н.К., Амонов М.Р. Изучение очистки сточных вод нефтеперерабатывающих производств комбинированным способом .....                                                                                                                                                                                                                | 170 |
| Негматов С.С., Эрниезов Н.Б., Негматова К.С., Бозоров А.Н., Негматов Ж.Н., Субанова З.А., Каримов Э.С., Саидкулов С.А., Гулмуродова Г.Г., Турсунов Ш.Н., Тошпулатова Г.Р., Ибодуллаев Т.Н. Результаты физико-химических свойств и сорбционной способности разработанных композиционных сорбентов КХР-ОКС для применения в сорбции ..... | 174 |
| Абед Н.С., Негматов С.С., Абдукаххаров А.А., Туляганова В.С., Касымов Ш.Б., Джабаров Б.Т., Мурадов И.И., Эргашев Н.Э., Хайдаров И.Ю., Курбанов У.М., Бозорбоев Ш.А. Выбор полимеров и органоминеральных наполнителей и методика получения композиционных материалов с высокими электрофизическими и триботехническими свойствами .....  | 178 |

## 7. Вести из лаборатории

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Абед Н.С., Улмасов Т.У., Негматов С.С., Негматов Ж.Н., Туляганова В.С., Рузиева Б.Ю., Бозорбоев Ш.А., Шамсиева С.С. Изучение и анализ органоминеральных компонентов, применяемых для улучшения акустических характеристик волокнисто-пористых композитов .....                                                                                               | 181 |
| Абед Н.С., Негматов С.С., Касымов Ш.Б., Туляганова В.С., Мурадов И.И., Джабаров Б.Т., Эргашев Н.Э., Шамсиева С.С., Хайдаров И.Ю., Курбанов У.М., Бозорбоев Ш.А., Абдукаххаров А.А. Перспективы создания композиционных полимерных материалов и покрытий с электропроводящими структурами и высокими триботехническими и механическими характеристиками ..... | 184 |
| Xolmirzayev N.B., Turaxodjayev N.D., To'rayev A.N., Toshmatova Sh.T., Nurdinov Z.B., Nazarova N.T. Po'lat qotishmalaridan quymalar olishda nometall qo'shimchalarni kamaytirish ustida olib borilgan tadqiqotlar tahlili .....                                                                                                                               | 186 |
| Muxtorov S.A. Mahalliy va ikkilamchi xom-ashyolardan, issiqlikka chidamli, yuqori xromli cho'yanlar olishning amaliy istiqbollari .....                                                                                                                                                                                                                      | 188 |
| Yakubov M.M., Jumayeva X.Y., Yakubov O.M., Maksudxo'jayeva M.S., Suzeva S.N. "Yoshlik 1" karyerini mis porfir rudasini flotatsiya qilish jarayoni uchun tog'jinslarini hosil qiluvchi minerallarning selektiv yig'uvchi reagentini va depressorini tanlash .....                                                                                             | 190 |
| Xolmirzayev N.B., Turaxodjayev N.D., Toshmatova Sh.T., Sharipov J.O., Nurdinov Z.B., Zufarova N.N. Po'lat qotishmalari suyuqlantirish jarayonida tarkibidagi nometall qo'shimchalar va gazlarni vallastonit bilan kamaytirishning nazariy asoslari .....                                                                                                     | 193 |
| Xudoyarov S.R., Muxametdjanova Sh.A., Abdurahmanov E.U. Physico-chemical characteristics of technogenic waste in ferroalloy production and their processing at JSC "Uzmetkombinat" .....                                                                                                                                                                     | 195 |
| Халимжанов Т.С. Исследования влияния технологических факторов на износостойкие свойства модифицированных композиционных эпоксидных полимерных материалов .....                                                                                                                                                                                               | 196 |
| Баракаев Ф.Н., Тураходжаев Н.Д. Загламас пўлатларнинг ейилишбардошлигини ошириш усуллари... 197                                                                                                                                                                                                                                                              | 197 |
| Negmatov S.S., Erniyozov N.B., Negmatova K.S., Bozorov A.N., Subanova Z.A., Karimov E.S., Olimov T.F. Kompozitsion kimyoviy ion almashinuvchi sorbentlarning kimyo-metallurgiya sanoatidagi ahamiyati .....                                                                                                                                                  | 198 |
| Курбанов З.Х., Талипов Н.Х. Разработка состава и исследование свойств цементно-полимерных клеевых смесей для укладки керамических плит .....                                                                                                                                                                                                                 | 199 |
| Баракаев Ф.Н., Тураходжаев Н.Д. Загламас пўлатларни қолипга қуйиш ҳароратининг маҳсулот ейилишбардошлигига таъсирини тадқиқ қилиш .....                                                                                                                                                                                                                      | 201 |