

ENGINEER



international scientific journal

SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**
Tashkent state
transport university



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

16-iyun, 2025



engineer.tstu.uz

**“QURILISHDA YASHIL IQTISODIYOT, SUV VA ATROF-MUHITNI ASRASH
TENDENSIYALARI, EKOLOGIK MUAMMOLAR VA INNOVATSION
YECHIMLAR” MAVZUSIDAGI RESPUBLIKA MIQYOSIDAGI
ILMIY-AMALIY KONFERENSIYA
TASHKILIY QO‘MITASI**

1. Abdurahmonov O.K. – O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi ijtimoiy rivojlantirish departamenti rahbari, Toshkent davlat transport universiteti rektori
2. Gulamov A.A – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
3. Shaumarov S.S – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
4. Suvonqulov A.X. – O‘zsuvta’minoti AJ raisi
5. Xamzayev A.X. – O‘zbekiston ekologik partiyasi raisi
6. Maksumov N.E. – O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Qurilish va uy-joy kommunal xo‘jaligi sohasida nazorat qilish inspeksiysi boshlig‘i o‘rinbosari
7. Baratov D.X. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
8. Turayev B. X – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
9. Norkulov S.T. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
10. Adilxodjayev A.E. – Universitedagi istiqbolli va strategik vazifalarini amalga oshirish masalalari bo‘yicha rektor maslahatchisi
11. Negmatov S.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK ilmiy rahbari, O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Akademigi
12. Abed N.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK raisi
13. Merganov A.M – Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo‘limi boshlig‘i
14. Ibadullayev A. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
15. Rizayev A. N. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
16. Xalilova R.X. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
17. Babayev A.R. – “Qurilish muhandisligi” fakulteti dekani
18. Boboxodjayev R.X – Tahririy nashriyot va poligrafiya bo‘limi boshlig‘i
19. Talipov M.M – Ilmiy nashrlar bilan ishslash bo‘limi boshlig‘i
20. Maxamadjonova Sh.I. - Matbuot xizmati kontent-menedjeri
21. Umarov U.V. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi mudiri
22. Eshmamatova D.B. – Oliy matematika kafedrasi mudiri
23. Muxammadiyev N.R. – Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrasi mudiri
24. Tursunov N.Q. – Materialshunoslik va mashinasozlik kafedrasi mudiri
25. Sherluxamedov U.Z. – Ko‘priklar va tonnellar kafedrasi mudiri
26. Lesov Q.S. – Temir yo‘l muhandisligi kafedrasi mudiri
27. Pirnazarov G‘.F. – Amaliy mehanika kafedrasi mudiri
28. Teshabayeva E.U. – Tabiiy fanlar kafedrasi professori
29. Chorshanbiyev Umar Ravshan o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi dotsent v.b.
30. Obidjonov Axror Jo‘raboy o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi assistenti

Study of physicochemical properties and sorption capacity of developed composite sorbents KHR-OKS for use in the process of cyanidation and sorption

**S.S. Negmatov¹, N.B. Erniezov¹, K.S. Negmatova¹, Zh.N. Negmatov¹, S.A. Saidkulov¹,
G.G. Gulmurodova¹, Sh.N. Tursunov¹, G.R. Toshpulatova¹, T.N. Ibodullaev¹,
D.E. Kholbozorova¹**

¹State Establishment “Fan va tarakkiyot”, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Annotation: Currently, the basic matrix structures for chemical modification and production of ion exchangers are styrene and acrylic copolymers cross-linked with divinylbenzene. By adjusting the copolymerization conditions, it is possible to obtain not only a given size, but also other parameters of the initial polymer granules important for the synthesis of ion exchangers, primarily porosity. Copolymers of styrene with divinylbenzene are a universal matrix for obtaining both main classes of ion exchangers - cation exchangers and anion exchangers. In this regard, the search for new ion exchangers with a set of valuable indicators is of great practical interest. Therefore, recent research in the field of creating competitive products is aimed at effective methods for modifying existing ion exchangers in order to impart to them improved indicators of such basic properties as increased thermal and chemical resistance, fairly good indicators of kinetic, sorption, and selective characteristics. This, in turn, is solved by using a modern approach to obtaining products and issues of rational use of available initial resources and secondary products of production.

Keywords: Ion exchange sorbent, physicochemical properties, sorption capacity, extraction of precious metals, selectivity, functional groups, composite chemical sorbent.

Исследование физико-химических свойств и сорбционной способности разработанных композиционных сорбентов КХР-ОКс для применение в процессе цианирование и сорбции

**Негматов С.С.¹, Эрниезов Н.Б.¹, Негматова К.С.¹, Негматов Ж.Н.¹, Сайдкулов С.А.¹,
Гулмуродова Г.Ф.¹, Турсунов Ш.Н.¹, Тошпулатова Г.Р.¹, Ибодуллаев Т.Н.¹,
Холбозорова Д.Э.¹**

¹Государственное предприятие "Фан ва Тараккиет", Ташкент, Узбекистан

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-химостойкость, 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

1. 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 цианирование 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.

2. Объектами и методика исследования

Объектами исследования являются: акрилонитрил, стирол, дивинилбензол, перекись бензоила, гидроксизтилцеллюлоза, 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].

3. 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 механический прочности композиционных ионообменных сорбентов. Особое внимание уделялось при синтезе композиционных ионообменных сорбентов, аминированную с вторичными и третичными аминами, что, привело закрепление каркас ионита функциональных групп смешанной основности, придающую ионообменным сорбентам избирательной сорбционной способности к ионам благородных металлов (золото и серебро).

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

Таблица 1

Физико-химические свойства модельного композиционного ионообменного сорбента

Внешний вид	непрозрачные сферические гранулы бело-желтого цвета
Функциональные группы	Вторичные и третичные 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, не менее, мг-ЭКВ/г	3,3
Емкость по низкоосновным группам, не менее, мг-ЭКВ/г	2,4
Массовая доля влаги, %	48-53
Удельный объем, см ³ /г	3,0-3,1
Механическая прочность, %	98
Максимально допустимая рабочая 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 мг/г	Емкость по примесям, мг/г	Селективность по золоту
	НАК	ДВБ	ЭС	Стирол			
1	75	15	10	-	2,04	0,72	0,32
2	45	21	14	20	3,90	1,46	0,69
3	46	15	10	29	4,17	1,62	1,17
4	42	15	8,7	36,3	4,5	1,75	1,37
5	34	12	8	46	4,8	1,88	4,21
АМ-2Б	-	8	5	87	7,5	2,34	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 содержание стирола и акрилонитрила в структуре трехмерного каркаса ионита, с сравнением с ионообменным сорбентом АМ-2Б на рисунке. 1.

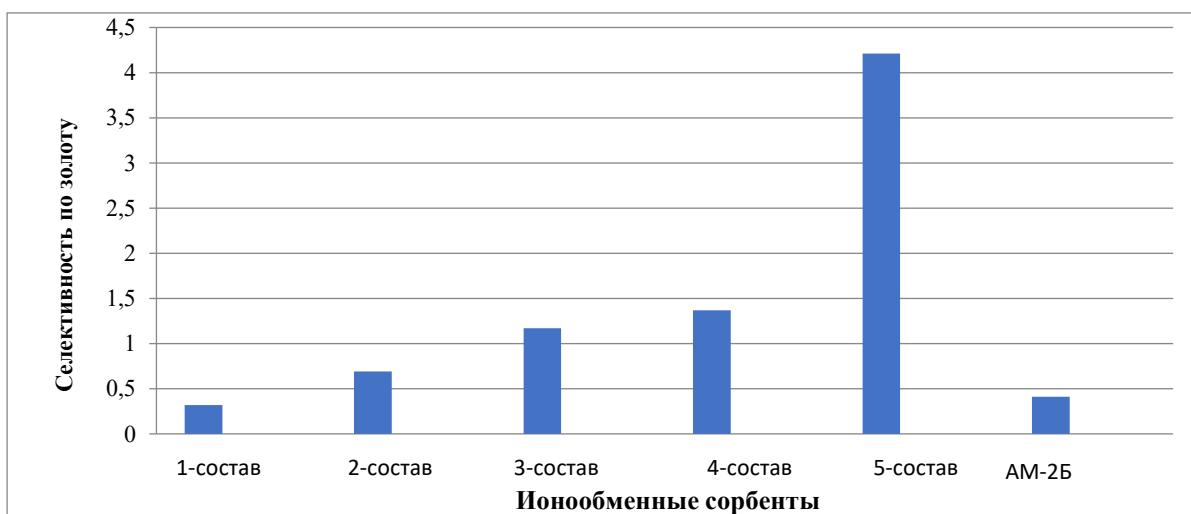
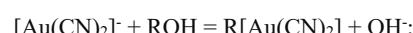


Рис. 1. Зависимость избирательной сорбционной способности разработанных ионообменных сорбентов от содержание стирола и акрилонитрила в структуре трехмерного каркаса ионита

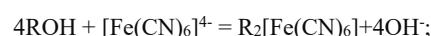
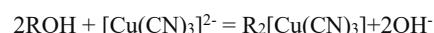
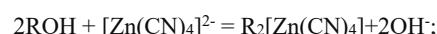
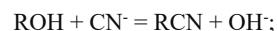
Из полученных данных видно, что разработанные новые образцы композиционных ионообменных сорбентов №4 и №5 селективностью по золоту несколько раз превышает с сравнению к известному ионообменному сорбенту АМ-2Б [5]. На основе анализа выявленных результатов и механизмов взаимодействия компонентов композиции 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 смешенной основности. Расход смолы составляет 10...20 г/т. Противоионом в смоле является гидроксильный ион OH^- , который легко обменивается на золото-цианистый комплекс.

Взаимодействие цианистого комплекса со смолой 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.

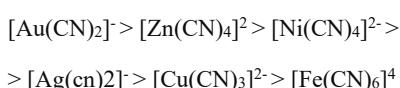


Проведенные реакции снижают емкость смолы по золоту. На смоле также собираются анионы Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$. Механизм ионообменного процесса имеет три стадии:

- 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 цианирование и сорбции металлургической промышленности.

4. Выводы

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

Использованная литература / References

- [1] Негматов С.С., Эрниев 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 и 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., Эрниев 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 и 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. Эрниев, 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. Эрниев, Н.С. Абед, К.С. Негматова, М.Э. Икрамова, Д.Н. Раупова Создание композиционных сорбентов для извлечения благородных и редких металлов. Материалы конференции Республикаанская 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. Эрниев., 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. Эрниев., 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., Kamalov, 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

Информация об авторах / Information about the authors

Негматов С.С	Научный консультант ГУ «Фан ва тараккиёт», д.т.н., профессор, Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyat@mail.ru
Эрниев Н.Б	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyat@mail.ru

Негматова К.С	Заведующий лабораторией «Наука и развитие», д.т.н., профессор, Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Негматов Ж.Н	Старший научный сотрудник ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Сайдкулов С.А.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Гулмуродова Г.Ф.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Турсунов Ш.Н.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Тошпулатова Г.Р.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Ибодулаев Т. Н	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru
Холбозорова Д.Э.	Докторант ГУ «Фан ва тараккиёт», Ташкент, Узбекистан Электронная почта: fan_va_tarakkiyot@mail.ru

S. Negmatov, N. Erniezov, K. Negmatova, Zh. Negmatov, S. Saidkulov, G. Gulmurodova, Sh. Tursunov, G. Toshpulatova, T. Ibodullaev, D. Kholbozorova	<i>Study of physicochemical properties and sorption capacity of developed composite sorbents KHR-OKS for use in the process of cyanidation and sorption</i> 270
Sh. Kasimov, O. Anorov, N. Shomurodov	<i>Determination of the constructive sizes of cavitation mixers</i> 275
O. Anorov, F. Sultanova	<i>Quadratic stochastic operators as operators describing Fisher's generalized model</i> 278
M. Toshmatova	<i>Features the elevation of the outer rail in the curved part of the road</i> 280
B. Sipatdinova, D. Ibragimova	<i>Innovative approaches to architectural design of youth centers in the era of information society</i> 283
R. Kendjaev, U. Shamsieva	<i>Multivariate regression model for factors affecting natural gas production in the Republic of Uzbekistan</i> 285
Y. Islamov	<i>The use of green infrastructure elements in urban planning: environmental and economic efficiency</i> 287
F. Yusupov, A. Eshkabilov	<i>Complete dynamics of quadratic stochastic quasi non-Volterra operator</i> 290
F. Davletova, S. Tuichieva	<i>Coefficients of the weighting optimal quadrature formula in the sobolev space</i> 293
R. Isanov, P. Samsokov	<i>The problem of the removal of solid particles from the Earth's surface formed by the movement of a high-speed train</i> 296
Zh. Azimov, A. Turaev	<i>Models of random processes with particle interaction</i> 298
A. Eshkabilov , A. Turaev	<i>About some application of the Rademacher function</i> 301