

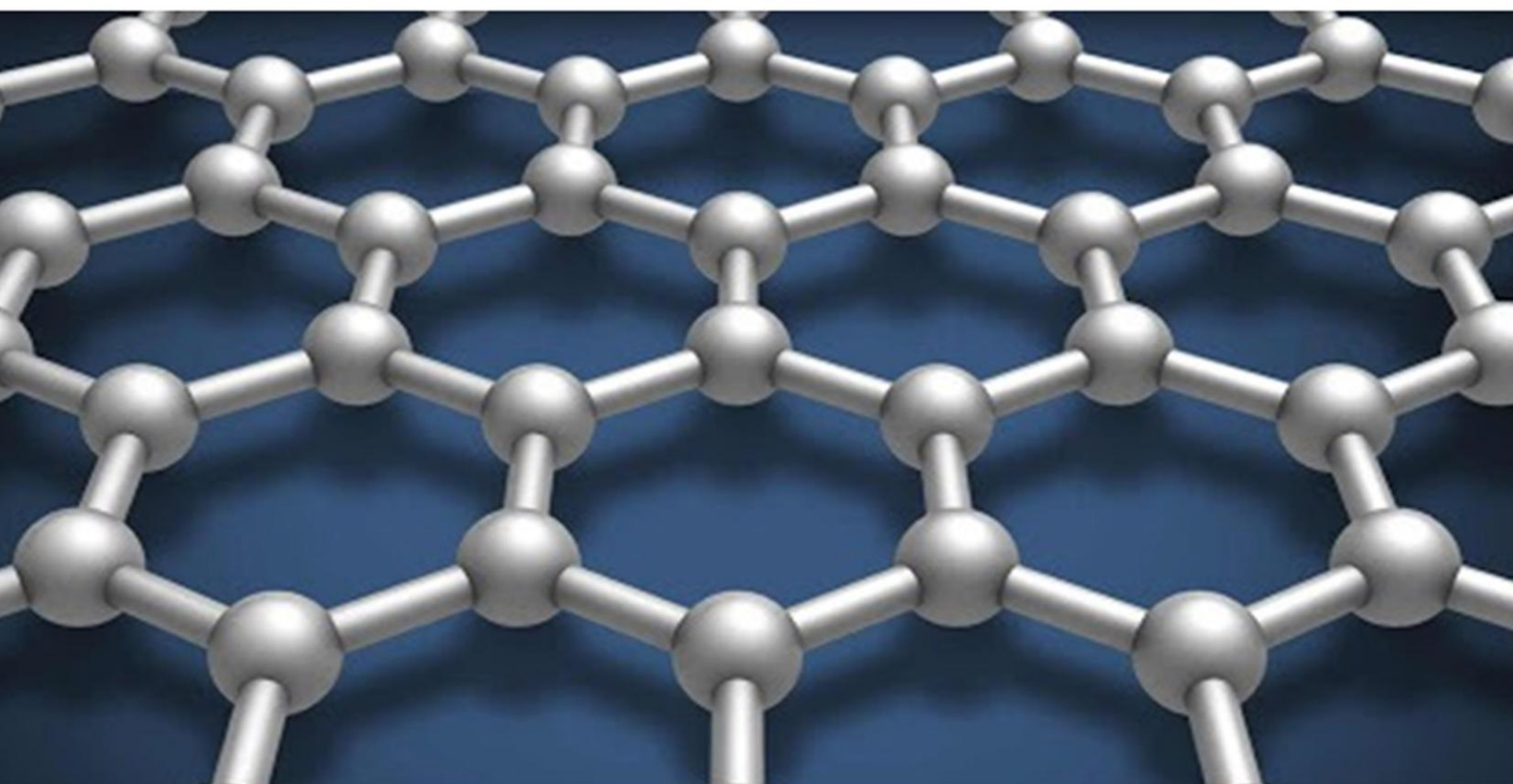
ISSN 2091-5527

№ 3/2026

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

УДК 622.349.5:66.061

ЕР ОСТИДА ТАНЛАБ ЭРИТИШ УСУЛИ БИЛАН УРАН ҚАЗИБ ОЛИШДА ҲОСИЛ БЎЛАДИГАН МАҲСУЛДОР ЭРИТМАЛАРДАГИ ВОДОРОД СУЛФИДНИ ФАОЛСИЗЛАНТИРИШНИНГ САМАРАЛИ УСУЛИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

Эшанкулова Гулмира Рашидовна^{1*}, Ахмадов Улугбек Азамат ўғли²,
Тургунов Фаррух Файзулла ўғли², Хасанов Абдирашид Салиевич³

¹МТТУ «МИСИС» Олмалиқ филиали, «Металлургия» кафедраси, Олмалиқ, Ўзбекистон;

²ОДТИ, «Кончилик иши» кафедраси, Олмалиқ, Ўзбекистон;

³«Олмалиқ кон-металлургия комбинати» АЖ Инновацион технологияларни ишлаб чиқиш ва татбиқ этиш маркази, Олмалиқ, Ўзбекистон. *e-mail: egr1424@gmail.com

Аннотация. Ер остида танлаб эритишда маҳсулдор эритманинг редокс ҳолати урани эритмага ўтказиш ва кейинги сорбция барқарорлигига бевосита таъсир қилади. Ишда H_2S $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ мувозанатини ўзгартирувчи технологик омил сифатида қаралиб, уни Fe^{3+} билан тез оксидлаш ва ҳосил бўлган Fe^{2+} ни H_2O_2 ёрдамида қайта Fe^{3+} га айлантиришга асосланган регенератив схема таклиф этилди. Стехиометрик ҳисобга кўра, H_2S ни S^0 гача оксидлаш учун тахминан 1,0 кг соф H_2O_2 /кг H_2S талаб этилади. Fe^{3+} ни эса бир марталик реагент эмас, айланма редокс-медиатор сифатида қўллаш мақсадга мувофиқ. Ёндашув H_2S юкламасини пасайтириш, сорбция шароитини сақлаш ва ускуналар ишончилигини оширишга қаратилган.

Калит сўзлар: уран, ер остида танлаб эритиш, маҳсулдор эритма, водород сульфид, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, водород пероксид, сорбция, коррозия, элементар олтингурут.

Кириш. Ер остида танлаб эритиш (ЕОТЭ) технологиясида асосий технологик натижа фақат урани қатламдан эритмага ўтказиш билан эмас, балки маҳсулдор эритманинг кимёвий ҳолатини бутун гидрометаллургик занжир давомида барқарор сақлаш билан белгиланади. Қудуқлар орқали берилган ишчи эритма рудали горизонтда уранинг эрувчан сульфатли шакллари ҳосил қилади, қазиб чиқарилган маҳсулдор эритма эса кейинги ион-алмашилиш сорбциясига узатилади. Шу боис қудуқ майдони, насослар, қувурлар, буфер сифимлари ва сорбция колонналари алоҳида ускуналар эмас, балки ўзаро боғланган ягона технологик тизим сифатида қаралиши лозим [1, 2].

Ушбу тизимда H_2S пайдо бўлиши икки томонлама муаммо туғдиради. Биринчидан, кислотали муҳитда сульфиднинг асосий қисми молекуляр H_2S шаклида бўлиб, унинг газ фазасига ўтиши меҳнат хавфсизлиги талабларини кескин оширади. Иккинчидан, H_2S Fe^{3+} ни Fe^{2+} га қайтариб, эритманинг Eh қийматини пасайтиради ва U(IV) нинг U(VI) га оксидланиши учун зарур бўлган шароитни заифлаштиради. Натижада уранинг эритмага ўтиш тезлиги, сорбция олдида эритманинг

ҳолати ва ускуналарнинг коррозия барқарорлиги бир вақтнинг ўзида ёмонлашиши мумкин [1, 4, 7].

Тадқиқотнинг мақсади - H_2S ни маҳсулдор эритманинг уран ажратиш олиш хусусиятини сақлаган ҳолда бошқариладиган тарзда фаолсизлантиришдир. Шу мақсадда Fe^{3+} ни тезкор оксидловчи-медиатор, H_2O_2 ни эса Fe^{2+} ни қайта Fe^{3+} га регенерация қилувчи реагент сифатида бирлаштирувчи икки босқичли схема таҳлил қилинди. Баҳолашда реагент сарфи, сорбция, коррозия, S^0 ни ажратиш ва онлайн назорат имкониятлари ҳисобга олинди.

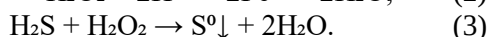
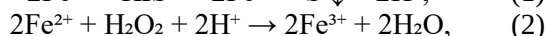
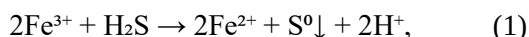
Тадқиқот объекти ва усуллари. Тадқиқот объекти — урани ЕОТЭ усулида қазиб олишда ҳосил бўладиган кислотали маҳсулдор эритмалар ва улардаги H_2S – $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ редокс ўзаро таъсирдир. Методик ёндашув уч блокдан ташкил топди: кимёвий реакциялар бўйича стехиометрик ҳисоб, H_2S ни фаолсизлантириш вариантларини технологик мезонлар асосида таққослаш ва лабораториядан тажриба-саноат босқичигача бўлган синов дастурини шакллантириш. Баҳолаш мезонларига қолдиқ H_2S , Eh , $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ нисбати, реагент сарфи, сорбция сифими, қаттиқ фаза ҳосил бўлиши ва коррозия таъсир киритилди [1, 3–7].

1-жадвал.

Лаборатория оптималлаштириш синовлари учун асосий омиллар

Омил	Даражалар	Асосий жавоб кўрсаткичи
H ₂ S, mg/L	10; 50; 100	Қолдиқ H ₂ S
pH	1,5; 2,0; 2,5	Оксидланиш тезлиги
H ₂ O ₂ :H ₂ S, мол/мол	0,8; 1,0; 1,2	Реагент сарфи
Fe ³⁺ медиатор улуши	0; 0,10; 0,25	Eh ва регенерация
Контакт вақти, мин	2; 5; 10	Тозалаш даражаси
Ҳарорат, °C	15; 25; 35	Кинетика

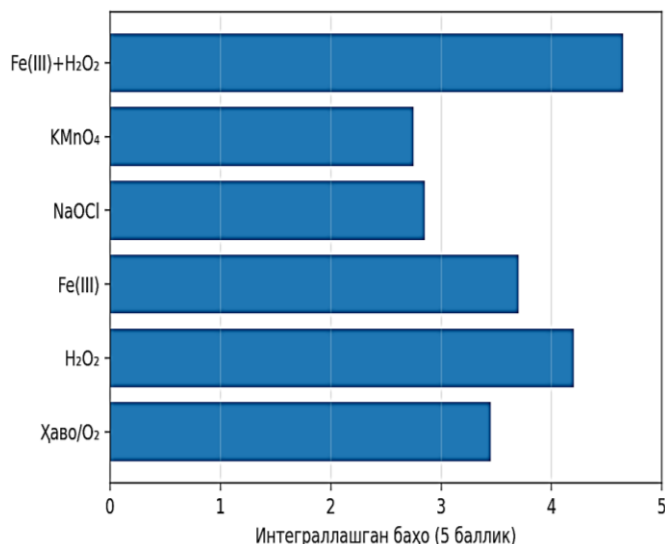
Натижалар ва муҳокама. Кислотали маҳсулдор эритмада Fe³⁺ ва H₂S ўртасидаги тез реакция сульфидни газ фазасига чиқишидан олдин боғлаш имконини беради. Бироқ Fe³⁺ни тўлиқ стехиометрик сарфланувчи реагент сифатида бериш темир юкини ошириши ва сорбция шароитини ёмонлаштириши мумкин. Шунинг учун Fe³⁺ қайта тикланадиган электрон ташувчи сифатида қабул қилинди. Реакциялар куйидаги кетма-кетликда кечади:



Ушбу реакциялар йиғиндисиде Fe³⁺ умумий моддий баланседа сарфланмайди; у Fe³⁺ ↔ Fe²⁺ циклида электрон алмашинувини тезлаштиради. H₂S ва H₂O₂нинг моляр массалари деярли тенг бўлгани сабабли 1 кг H₂S ни S⁰ гача оксидлаш учун назарий жиҳатдан қарийб 1 кг соф H₂O₂ талаб қилинади. 35 % ли техник эритма учун бу тахминан 2,85 кг/кг H₂Sга тўғри келади; технологик захира киритилганда бошланғич ҳисобий қиймат 3,1 кг/кг атрофида бўлади. Бу рақамлар саноат дозаси эмас, балки кейинги лаборатория оптималлаштириши учун ҳисобий нуқта сифатида қабул қилиниши керак.

Муқобил усуллар билан солиштириш Fe³⁺–H₂O₂ жуфтлигининг афзаллигини кўрсатади. Ҳаво ёки O₂ арзон, аммо кислотали эритмада масса алмашинуви чекланган ва H₂Sнинг газ фазасига чиқиши мумкин. H₂O₂ бегона ион қолдирмайди, лекин ортикча доза сорбент ва материалларга таъсир қилиши мумкин. Fe³⁺ H₂Sни тез боғлайди, аммо уни сарфланувчи реагентга айлантириш темир юкини оширади. Шу боис Fe³⁺ билан тезкор оксидлаш ва H₂O₂ билан регенерация қилиш функционал жиҳатдан мақбул комбинация ҳисобланади.

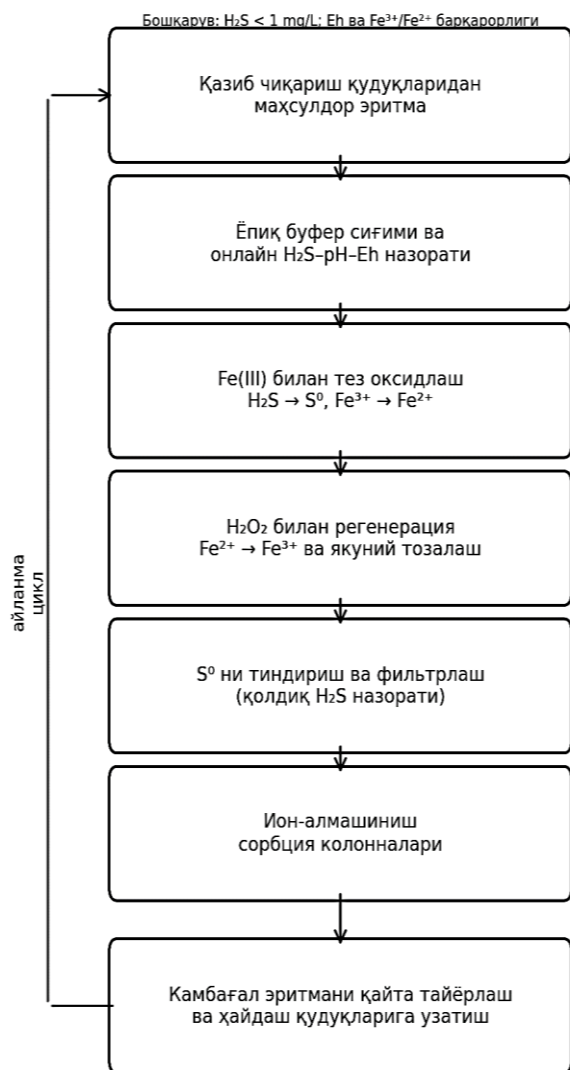
Таклиф этилаётган технологик ечимда фаолсизлантириш босқичи қазиб чиқариш коллектори билан сорбция колонналари орасида жойлаштирилади.



1-расм. H₂S ни фаолсизлантириш усуллариининг кўп мезонли интеграллашган баҳоси

Эритма аввало H₂S, pH, Eh, сарф ва Fe³⁺/Fe²⁺ нисбати бўйича назорат қилинади. Биринчи контакт зонасида Fe³⁺га бой оқим H₂Sни S⁰гача тез оксидлайди; кейинги зонада дозаланган H₂O₂ Fe²⁺ни қайта Fe³⁺га айлантиради ва қолдиқ сульфидни камайтиради. Ҳосил бўлган коллоид S⁰ сорбция колоннасида тушмаслиги учун каттик-суюқлик ажратиш босқичи кўзда тутилади. Ёпиқ реактор ва газ бўшлиғини скрубберга улаш H₂Sнинг иш муҳитига тарқалиш хавфини камайтиради.

Технология самарадорлигини баҳолашда ягона кўрсаткич сифатида H₂S нинг камайиш фойзидан фойдаланиш етарли эмас. Тозалашдан кейин ураннын эритмада сақланиши, анионит сиғими, колоннанин гидравлик қаршилиги ва металл ускуналарнинг коррозия тезлиги ҳам назорат қилиниши шарт. Пилот босқич учун дастлабки мезонлар сифатида қолдиқ H₂S ни 1 mg/Lдан паст даражага тушириш, уран йўқотилишини 0,5 %дан оширмаслик ва сорбция сиғимини назоратга нисбатан камида 95 % даражада сақлаш қабул қилиниши мумкин. Ушбу қийматлар кейинчалик реал маҳсулдор эритмадаги синовлар билан аниқлаштирилади.

Fe(III)-H₂O₂ асосидаги ёпиқ технологик схема

2-расм. Fe(III)-H₂O₂ асосидаги икки босқичли фаолсизлантириш ва S⁰ни ажратиш схемаси

Ишнинг амалий янгиллиги H₂Sни алоҳида зарарли қўшимча сифатида эмас, балки урanni ажратиш олиш жараёнининг редокс режимига таъсир этувчи компонент сифатида бошқариш ёндашувида намоён бўлади. Таклиф этилаётган схема учта вазифани битта контурда бирлаштиради: сульфидни тез фаолсизлантириш, Fe³⁺/Fe²⁺ мувозанатини қайта тиклаш ва сорбция олдида эритманинг технологик ҳолатини барқарорлаштириш. Бу ёндашув реагент сарфини H₂S юкламаси ва Eh бўйича мослаштириш, ортикча оксидловчидан қочиш ва ишлаб чиқаришда автоматик дозалаш алгоритмини жорий этиш учун асос яратади.

Хулосалар.

1. Кислотали ЕОТЭ эритмаларида H₂S Fe³⁺/Fe²⁺ мувозанатини қайтарувчи томонга силжитиб, ураннын оксидланиш шароитини ёмонлаштириши ва коррозия хавфни ошириши мумкин.

2. Fe³⁺ билан H₂Sни тез S⁰гача оксидлаш ва Fe²⁺ни H₂O₂ билан қайта Fe³⁺га айлантириш реагент функцияларини самарали тақсимлайди.

3. Ҳисоб бўйича H₂Sни S⁰ гача оксидлашда соф H₂O₂ сарфи тахминан 1,0 кг/кг H₂S. Амалий доза реал эритма синовлари билан белгиланиши керак.

4. Схемда ёпиқ контакт апарати, Fe³⁺ ва H₂O₂ дозалаш блоклари, S⁰ни ажратиш, скруббер ва H₂S-Eh-Fe³⁺/Fe²⁺ мониторинги кўзда тутилади.

5. Саноатга жорий этишдан олдин лаборатория, сорбция, коррозия ва узлуксиз тажриба-саноат синовлари асосида ишчи регламент аниқланиши лозим.

Фойдаланилган адабиётлар

1. International Atomic Energy Agency. Manual of acid in situ leach uranium mining technology. IAEA-TECDOC-1239. Vienna: IAEA, 2001.
2. International Atomic Energy Agency. In Situ Leach Uranium Mining: An Overview of Operations. IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-1.4. Vienna: IAEA, 2016.
3. «Навоийуран» давлат корхонаси. «Ер остида танлаб эритиш усули билан уран қазиб олишда ҳосил бўладиган маҳсулдор эритмалардаги водород сульфидни фаолсизлантиришнинг самарали усулини ишлаб чиқиш» лойиҳасини қўллаб-қувватлаш хати. Ишлаб чиқариш ҳужжати, 2026.
4. Seitov Z., Toktaruly B., Kenzhetayev Zh., Altaibayev B. Oxidation kinetics of tetravalent uranium during sulfuric-acid leaching intensification under in-situ recovery conditions. Journal of Mining Institute. 2026;279:98–111.
5. Hoffmann M.R. Kinetics and mechanism of oxidation of hydrogen sulfide by hydrogen peroxide in acidic solution. Environmental Science & Technology. 1977;11(1):61–66.
6. Ebrahimi S., Kleerebezem R., van Loosdrecht M.C.M., Heijnen J.J. Kinetics of the reactive absorption of hydrogen sulfide into aqueous ferric sulfate solutions. Chemical Engineering Science. 2003;58(2):417–427.
7. Choi Y.-S., Nesic S., Ling S. Effect of H₂S on the CO₂ corrosion of carbon steel in acidic solutions. Electrochimica Acta. 2011;56(4):1752–1760.

3. Разработка и технология получения композиционных материалов

Негматова К.С. Технология флотационного обогащения медно-молибденовых руд с применением химических флотореагентов для извлечения медного концентрата	68
Xusenov A.Sh., Orazova Sh.Sh., Zokirov B.U., Kiyamova M.I., Raxmanberdiev G. Seritsin va inulin asosida kompozitsion plyonka olish va uning fizik-kimyoviy xossalarni o'rganish	72
Саидова Ш.З., Каттаев Н.Т., Колядин В.Г., Акбаров Х.И. Синтез и характеристика гранулированного тройного сополимера 1-винилимидазола, акрилонитрила и дивинилбензола	75
Maxkamov B.G'. Vermikulit asosida olingan kompozitsion materialda benzol va suv bug'i adsorbsiyasi	79
Эшанкулова Г.Р., Ахмадов У.А. Тургунов Ф.Ф., Хасанов А.С. Ер остида танлаб эритиш усули билан уран қазиб олишда ҳосил бўладиган маҳсулдор эритмалардаги водород сульфидни фаолсизлантиришнинг самарали усулини ишлаб чиқиш	82
Bakhromova I.A., Vokhidova N.R. Synthesis of iron-modified chitosan for the purification of hydrogen sulfide waste from the oil and gas industry	85
Туляганова В.С. Разработка и исследование свойств композиционных кордиеритовых электрокерамических материалов на основе местного и вторичного сырья	87
Tursunkulov O.M., Gulyamov B.B., Sobitov M.A., Abduqahhorov F.I., Toxtabayev E.R., Uzakbergenov N.J., Bozorov S.S., Khojiev Sh.G. Effect of methane flow rate on the Raman characteristics and spatial uniformity of CVD graphene grown on high-purity copper at 1020 °C	91
Davlatova Z.Z., Safarov A.R., Abdiyeva F.I., Ixtiyarova G.A. <i>Apis mellifera</i> xitozani asosida suyuq neft tarkibidagi molibden va reniyni ajratib olish texnologiyasi	94
Очилов Э.А., Сайфиева П.О., Хамдамов Д.Х., Камолов Т.О. Способы переработки золы от сжигания энергетических углей	97

4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов

Азимова Ш.А., Азимов Д.М. Перспективы вторичной переработки органических компонентов отходов щелочной очистки пирогаза	100
Sultanova N.S., Ismailova R.M., Ulliboboev A.M., Ismailov R.I. Tsellyuloza materiallarini olovga chidamli materiallarga aylantirish uchun vermikulit asosidagi olovga chidamli kompozitsiyaning tarkibini optimallashtirish	104
Шомуротов Ш.А., Содикова М.А., Абдурахмонов Ж.А., Ахмедов О.Р., Тураев А.С., Юлдашев Ж.М., Олимжонов Ж.У. Периодатное окисление декстрана и синтез оксимных производных путём нуклеофильного присоединения гидроксилamina	106
Razzoqov H.Q., Amonov M.R. Modifikatsiyalangan shofirkon bentoniti asosidagi kompozitsion sorbentlar va koagulyatsion tizimlar yordamida sanoat oqova suvlarini kompleks tozalash	110
Бозоров А.Н. Техногенные отходы предприятий металлургической отрасли и разработка технологии их переработки	112
Xokimov A.E., Eminov A.M., Kadirova Z.R., Xamdamova Sh.Sh. Sho'rsuv gilining mineralogik tarkibi va texnologik xususiyatlarini kompleks tadqiq etish	116
Nuriddinova G.A., Jalilov Sh.N. KMS va PAA ishtirokida melamin va gossipol bilan modifikatsiyalangan mochevina-formaldegid asosidagi yelimlovchi-bog'lovchining strukturaviy va termik xususiyatlari	120
Тулаганова М.А., Маткаримов С.Т. Сравнительная оценка технологических схем извлечения технического теллура из медьэлектролитных шламов	124
Шомуротов Ш.А., Ахмедов О.Р., Тураев А.С., Юлдашев Ж.М., Олимжонов Ж.У., Туляшева М.А., Тураева Х.К. Восстановление оксимных производных декстрана и получение аминированного полисахарида	127
Амонова Н.М., Темиров Ў.Ш., Жўраев И.И. Оқова сув чўкиндиларини компостлашда органик моддалар, азот ва гумус моддаларининг ўзгариши	131
Очилов Э.А., Сайфиева П.О., Хамдамов Д.Х., Камолов Т.О. Исследование процесса извлечения скандия из зольных техногенных отходов с применением ионообменного сорбента	133