

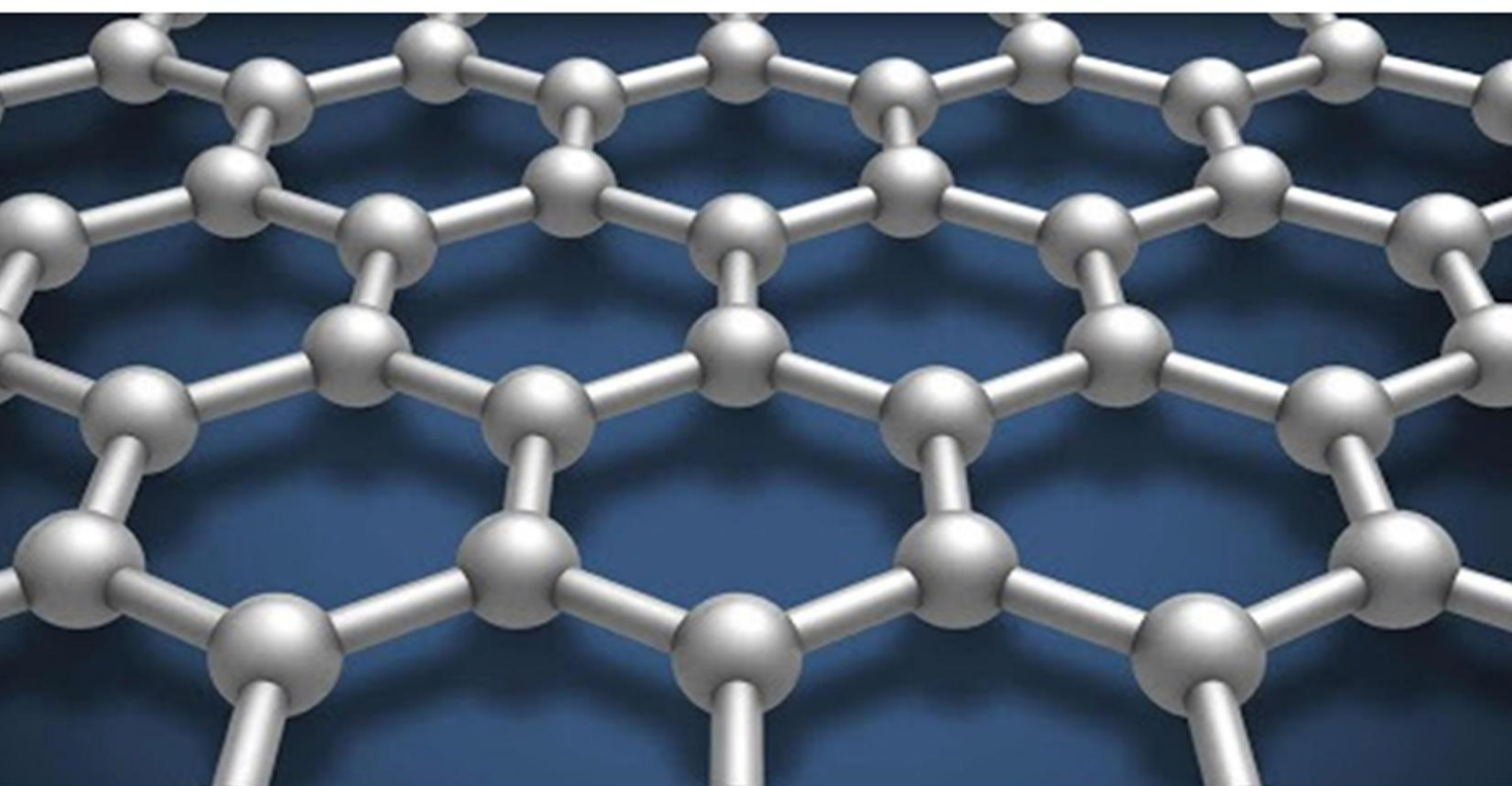
ISSN 2091-5527

№ 3/2026

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

лекин бундай таркибларда органик моддаларнинг умумий миқдори кам (28–30 %). Органик моддалар миқдори ва йўқотишларни камайтириш ўртасидаги мувозанат асосида 40 % меъёр ва 80:20 нисбат мақбул деб танланди: бу компостда органик моддалар йўқотилиши 8,42 %, 30 кундан кейинги органик моддалар – 37,09 %, гумин кислоталар – 5,01 %, фульвокислоталар – 12,27 %, СЭОМ – 3,50 %, азот – 3,79 %, ГД – 86,87 % ни ташкил этди.

Хулоса. Нитрат кислотаси билан фаоллаштирилган ШФ ни ОСЧ билан компостлаш органик моддалар йўқотилишини

камайтиради: 95:5 нисбатда 13,20 % дан 10,72 % гача, 70:30 нисбатда 6,15 % дан 3,41 % гача (60 % меъёрда). Азот йўқотилиши 95:5 нисбатда 17,27 % дан 10,84 % гача камаяди, энг кичик қиймат (3,62 %) 70:30 нисбат ва 60 % меъёрда эришилади. Гумификация даражаси 78,66–80,54 % дан 89,74–91,87 % гача, 30 кунлик ортиши эса 18,95–21,59 % дан 34,73–36,88 % гача кўтарилди. Органик ва гумус моддаларининг миқдори асосан ОСЧ улуши билан белгиланади; мақбул таркиб сифатида HNO_3 меъёри 40 % ва ОСЧ:ФШФ = 80:20 тавсия этилади.

АДАБИЁТЛАР

1. Bernal M.P., Albuquerque J.A., Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review/BioresourceTechnology.2009.Vol.100.P.5444–5453.DOI: 10.1016/j.biortech.2008.11.027.
2. Yuan J., Li Y., Chen S., Li D., Tang H., Chadwick D., Li S., Li W., Li G. Effects of phosphogypsum, superphosphate, and dicyandiamide on gaseous emission and compost quality during sewage sludge composting // Bioresource Technology. – 2018. – Vol. 270. – P. 368–376. – DOI: 10.1016/j.biortech.2018.09.023.
3. Juraqulov B., Temirov U., Jurayev Sh., Shodiyev A., Shodikulov J. Organomineral fertilizers based on sewage sludge and sludge phosphorites of Central Kyzylkum // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2024. – Vol. 11, Issue 6. – P. 21930–21936.
4. Sáez-Plaza P., Michałowski T., Navas M.J., Asuero A.G. et al. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part I. Early history, chemistry of the procedure, and titrimetric finish // Critical Reviews in Analytical Chemistry. – 2013. – Vol. 43, No. 4. – DOI: 10.1080/10408347.2012.751786.
5. Stevenson F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. – 2nd ed. – New York: Wiley, 1994. – ISBN 978-0-471-59474-1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ СКАНДИЯ ИЗ ЗОЛЬНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОНООБМЕННОГО СОРБЕНТА

Очилов Э.А., Сайфиева П.О., Хамдамов Д.Х., Камолов Т.О.

ГУ “Фан ва тараккиёт”

Аннотация. В работе исследован процесс извлечения скандия из зольных техногенных отходов с применением ионообменного сорбента КУ-2-8. Предложена технологическая схема, включающая сорбционное выщелачивание скандия из водной суспензии зольных отходов, перевод скандия в сорбированное состояние, последующую твердофазную десорбцию кальция серной кислотой и десорбцию скандия щавелевой кислотой. В результате десорбции скандий переводится в форму оксалата, после чего осадок подвергается сушке и прокаливанию с получением концентрата скандия в форме оксида Sc_2O_3 . Особое внимание уделено селективности ионного обмена, последовательному удалению сопутствующих компонентов, возможности регенерации сорбента и снижению количества вторичных отходов. Показана перспективность использования ионообменной технологии для комплексной переработки зольных техногенных отходов и извлечения из них стратегически значимых компонентов.

Ключевые слова: скандий, зольные техногенные отходы, ионный обмен, ионообменный сорбент, сорбционное выщелачивание, десорбция, кальций, щавелевая кислота, оксалат скандия.

Введение. Рациональное использование техногенных отходов является одним из актуальных направлений современной металлургии, химической технологии и ресурсосберегающего производства. Зольные отходы, образующиеся при различных промышленных процессах, представляют собой сложные многокомпонентные системы, содержащие оксиды кремния, алюминия, железа, кальция, магния и других элементов. В зависимости от происхождения золы в её

составе могут присутствовать редкие и редкоземельные элементы, в том числе скандий [1, 2].

Скандий относится к стратегически важным металлам, обладающим ценными физико-химическими свойствами. Он применяется при производстве специальных алюминиевых сплавов, в энергетике, электронной промышленности, материаловедении и других высокотехнологичных областях.

Одной из особенностей скандия является его сравнительно низкая концентрация в природном и техногенном сырье. Поэтому традиционное извлечение скандия из бедного сырья требует применения эффективных методов концентрирования и разделения. Ионный обмен представляет интерес благодаря возможности селективного извлечения ионов металлов из сложных многокомпонентных растворов [2].

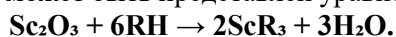
Исследования по переработке угольной золы показывают перспективность ионообменного извлечения скандия из растворов выщелачивания. В частности, показано, что селективные ионообменные смолы способны эффективно концентрировать скандий даже в присутствии значительных количеств железа и алюминия.

Целью настоящей работы является исследование технологической возможности извлечения скандия из зольных техногенных отходов с использованием ионообменного сорбента КУ-2-8 и получения концентрата скандия в форме оксида Sc_2O_3 .

Материалы и методика исследования. В качестве исходного сырья использовали водную суспензию зольных техногенных отходов. В качестве ионообменного материала применяли катионообменный сорбент КУ-2-8 в Н-форме, обозначаемый в технологической схеме как RH.

Результаты и их обсуждение. Метод ионного обмена в технологии редких металлов широко применяют для выделения их соединений из разбавленных растворов.

На первой стадии водную суспензию зольных отходов контактируют с сорбентом КУ-2-8, находящимся в Н-форме. При взаимодействии с содержащимися в золе соединениями скандия происходит их переход в растворимую форму и последующее связывание ионов скандия функциональными группами сорбента [3, 4]. Условно процесс взаимодействия оксида скандия с Н-формой катионита может быть представлен уравнением:



Здесь RH обозначает ионообменный сорбент в Н-форме, а ScR_3 — сорбированную форму скандия.

В результате процесса образуется насыщенный сорбент, содержащий скандий и сопутствующие катионы, в первую очередь кальций. Именно наличие сопутствующих компонентов определяет необходимость проведения последующей селективной десорбции.

КУ-2-8 относится к сильнокислотным катионообменным материалам и

характеризуется наличием функциональных групп, способных к обратимому обмену катионов.

При контакте сорбента с многокомпонентной системой происходит конкуренция различных катионов за обменные центры. Поэтому эффективность извлечения скандия определяется не только его концентрацией, но и химической природой сопутствующих компонентов, кислотностью среды, продолжительностью контакта и свойствами самого сорбента.

Для оценки эффективности процесса могут использоваться степень извлечения и сорбционная ёмкость. Степень извлечения скандия рассчитывается по выражению:

$$R = (C_0 - C_e) / C_0 \times 100 \%,$$

где C_0 — начальная концентрация скандия в растворе, мг/л;

C_e — равновесная концентрация скандия после сорбции, мг/л.

Сорбционная ёмкость определяется по формуле: $q = (C_0 - C_e)V/m$,

где q — сорбционная ёмкость, мг/г;

V — объём раствора, л;

m — масса сорбента, г.

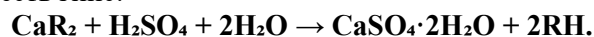
Принципиальная технологическая последовательность процесса включает следующие стадии:

водная суспензия зольных отходов → сорбционное выщелачивание → насыщенный скандий содержащий сорбент → десорбция кальция → десорбция скандия → оксалат скандия → сушка и прокаливание → концентрат Sc_2O_3 .

Особенностью предлагаемой технологии является совмещение процессов извлечения скандия из исходной системы и его концентрирования на ионообменном материале.

После насыщения сорбента скандием и сопутствующими катионами проводится стадия твёрдофазной десорбции кальция.

Согласно представленной технологической схеме, для этой цели используется серная кислота. При взаимодействии кальциевой формы сорбента с серной кислотой образуется малорастворимый сульфат кальция дигидрат, то есть гипс:



Образование $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ позволяет вывести кальций из системы в форме твёрдой фазы и одновременно регенерировать обменные центры сорбента.

Получаемая суспензия сульфата кальция может рассматриваться как побочный продукт процесса и потенциально направляться на дальнейшее изучение и переработку.

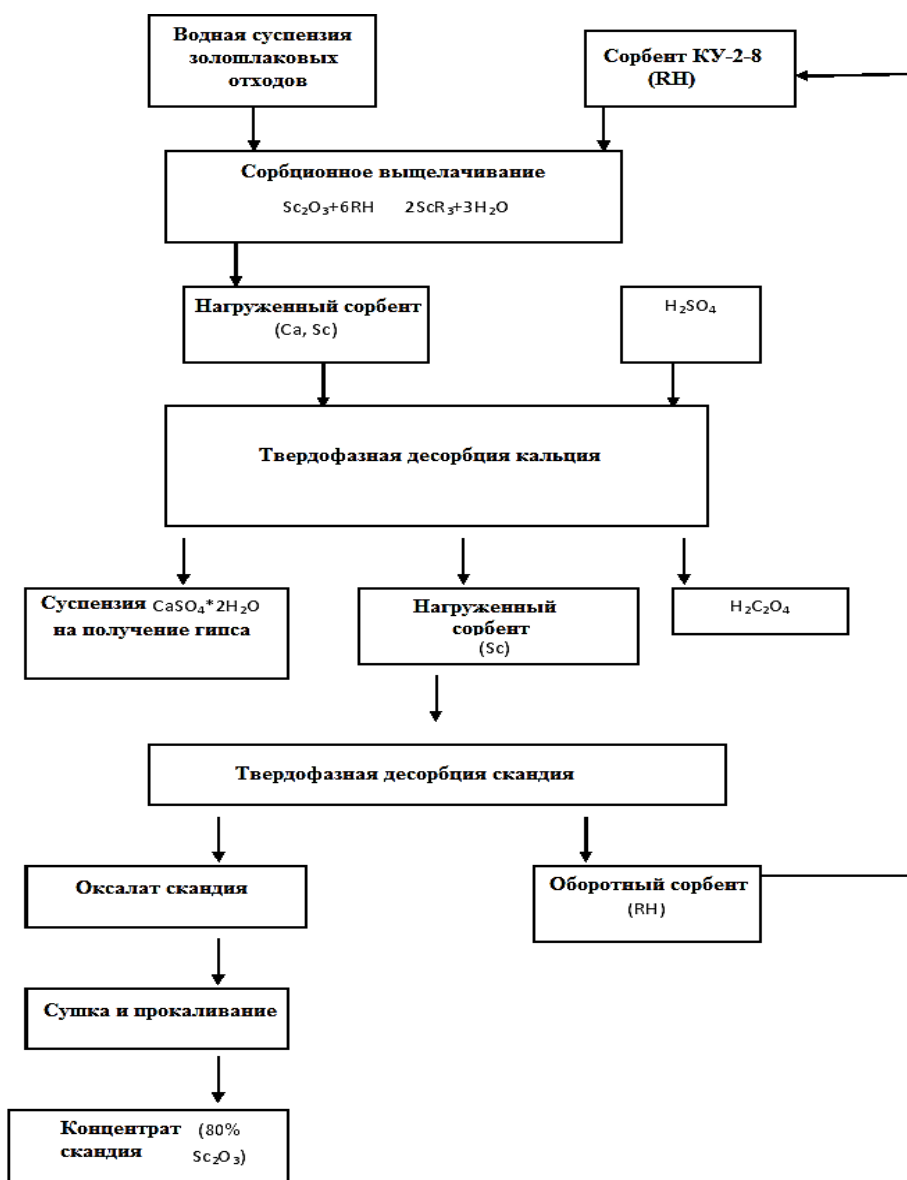
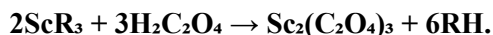


Рис. 1. Сорбционная схема извлечения скандия из золошлаковых отходов углей

После удаления кальция насыщенный скандий содержащий сорбент подвергают десорбции щавелевой кислотой $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

Согласно представленной схеме, процесс может быть условно выражен следующим уравнением:

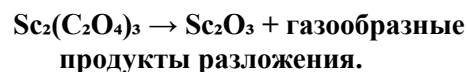


В результате образуется оксалат скандия, а ионообменный материал переводится обратно в регенерированное состояние.

Использование щавелевой кислоты на стадии выделения скандия представляет интерес вследствие способности скандия образовывать малорастворимый оксалат. Осаждение скандия в виде оксалата является известным подходом к его концентрированию и последующему получению оксида.

Полученный оксалат скандия подвергают сушке и последующему прокаливанию.

При термическом разложении оксалата происходит образование оксида скандия:



Таким образом, конечным продуктом технологической цепочки является концентрат скандия в форме Sc_2O_3 .

Согласно представленной технологической схеме, полученный концентрат характеризуется содержанием 80 % Sc_2O_3 . Данный показатель следует рассматривать как экспериментальный результат конкретной исследуемой технологической схемы и подтверждать методами химического анализа.

Одним из важных преимуществ ионообменной технологии является возможность многократного использования сорбента.

После десорбции скандия КУ-2-8 переходит в регенерированное состояние и может возвращаться на стадию сорбционного выщелачивания.

Таким образом, технологическая схема предусматривает замкнутый цикл движения сорбента:

КУ-2-8 → сорбция Sc → десорбция Ca → десорбция Sc → регенерированный КУ-2-8 → повторная сорбция.

При разработке технологии необходимо определить изменение сорбционной ёмкости после каждого цикла. Для этого целесообразно провести не менее нескольких последовательных циклов «сорбция–десорбция» и определить степень извлечения скандия для каждого цикла.

Предложенная схема имеет ряд технологических преимуществ. Во-первых, скандий извлекается непосредственно из техногенного сырья, что позволяет рассматривать зольные отходы как потенциальный вторичный источник ценного металла.

Во-вторых, применение ионообменного сорбента обеспечивает стадию концентрирования скандия. Это особенно важно для бедных техногенных растворов, в которых содержание скандия значительно ниже концентраций основных компонентов.

В-третьих, последовательное удаление кальция перед выделением скандия способствует снижению количества сопутствующих компонентов в конечном продукте. Селективность разделения является принципиально важной характеристикой при переработке золы, поскольку железо, алюминий, кальций и другие элементы могут конкурировать со скандием за активные центры сорбента.

Исследования ионообменного извлечения скандия из золы показывают, что выбор сорбента является одним из ключевых факторов процесса: специализированные смолы способны обеспечивать высокую селективность по отношению к Sc даже при наличии значительных концентраций Fe и Al.

Получение скандия в форме оксалата также является технологически обоснованной стадией, поскольку оксалат может быть далее подвергнут термическому разложению с образованием Sc_2O_3 .

Использование зольных техногенных отходов в качестве вторичного сырья позволяет снизить объём отходов, направляемых на длительное хранение, и одновременно получить дополнительный источник скандия.

Предлагаемая схема предусматривает возврат ионообменного сорбента в технологический цикл, что потенциально позволяет снизить расход сорбционного материала. Кроме того, выделение кальция в виде $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и получение концентрата Sc_2O_3 позволяют разделить основные материальные потоки.

Вместе с тем экологическая оценка процесса должна учитывать расход серной и щавелевой кислот, состав промывных растворов, возможность их повторного использования и необходимость безопасной переработки образующихся твёрдых отходов.

Заключение. Таким образом, исследование показывает перспективность применения ионообменного сорбента КУ-2-8 для извлечения скандия из зольных техногенных отходов.

Предложенная технологическая схема включает сорбционное выщелачивание скандия, получение насыщенного сорбента, селективное удаление кальция серной кислотой с образованием $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, последующую десорбцию скандия щавелевой кислотой с образованием оксалата скандия и его термическое превращение в Sc_2O_3 .

Существенным преимуществом процесса является возможность регенерации и повторного использования ионообменного сорбента. Согласно представленной экспериментальной схеме, конечный концентрат содержит 80 % Sc_2O_3 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С., Буторова И.А., Таранов Р.А., Виноградов М.С., Воробьева А.А., Сенник Е.В., Афонин А.В., Молчан В.М. Разработка комплексной технологии выщелачивания редкоземельных металлов из угольной золы // Экология и промышленность России. 2015. №4. С. 10–14.
2. Соколова Ю. В., Пироженов К.Ю. Сорбция скандия из сернокислых растворов с использованием фосфорсодержащих ионитов промышленных марок // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т. 15. Вып. 4. С. 563–570.
3. T. Kamolov. Study of the Effect of Phase Composition on the Leaching of Basic Ash-Forming Elements // ISSN: 2350-0328 International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 7, Issue7, July 2020
4. Kamolov T.O., Sharipov Kh.T., Borbat V.F., Akhmedova F.S., Bozorov A.N. Thermodynamic Evaluation of Possibility of Fluoride Processing of Some Types of Technogenic Raw Material // ISSN: 2350-0328 International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 7, Issue 12, December 2020. Copyright to IJARSET www.ijarset.com - 15940.
5. Hasan Sharipov, Tursunboy Kamolov, Fotima Akhmedova, Farxod Navrozov, Otabek Abdullayev Use of Hydrometallurgical Methods for Extracting Rare-Earth Elements from Ash and Slag // ISSN: 2350-0328 International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 7, Issue 7, July 2020

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 отраслей 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