ISSN: 2181-4171

# Engineering Problems and Innovations

Vol. 04 Iss. 03 | | Sep. 27th, 2026

IF 2025
11.5

Том - 04 | | Вып. - 03
Tom - 04 | | Son. – 03

## Проблемы инженерии и Инновации

## Muhandislik muammolari va innovatsiyalar



SCAN ME

Google Scholar
INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL
zenodo
Academic Resource Index ResearchBib

**Главный редактор**
*С.И.Зокиров*
*д.ф.ф.-м.н., PhD, ФерГТУ*

Журнал зарегистрирован 28 декабря 2022 года Агентством информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан

**Сертификат № 055940**
**ISSN 2181-4171**

**Языки издания**:
Русский, английский, узбекский

**Председатель эксп. совета**
*Ф.М.Мухтаров*
*д.пед.н, DSc., CAMU*

**Ответственные редакторы разделов**

**Т.М.Абдуллаев**
*д.ф.т.н., PhD, ФерГТУ*

**Н.И.Иброхимов**
*д.ф.ф.-м.н., PhD, ФерГТУ*

**А.Р.Нурматов**
*PhD, д.ф.ист.н.,НамГУ*

**Г.А.Умарова**
*к.п.н., доц., АндМИ*

**Корректоры**
Лазарева Марина Викторовна
Обиджонов Зафаржон Одилжон угли

**Контакты**
*chief_*editor@*epai.uz*
*@ferteach_*uz

**Редакционная коллегия:**

**Б.К.Сарсенбаев -** *д.т.н, проф., акад., дейст. член Нац. Акад. Респ. Казахстан*
**В.Ю.Рудь** - *д.ф.-м.н., Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*
**Н.Б.Бейсенханов** - *д.ф.-м..н., проф. АО "Казахстанско-Британский Технический Университет", Алматы, Казахстан*
**Б.Р.Исмаилов** - *д.т.н., проф. Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова , Шымкент, Казахстан*
**А.В.Аржанников -** *д.ф.-м.н., Новосибирский государственный университет, Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
**А.М.Касимахунова -** *д.т.н., проф. ФерГТУ, Фергана, Узбекистан*
**И.Бйорно -** к.н.,*PhD, Имеритус, Датский технический университет, Копенгаген, Дания*
**Л.К.Мамадалиева -** *д.т.н., проф. ФерГТУ, Фергана, Узбекистан*
**Ж.Т.Айменов -** *д.т.н., проф. Южно-Казахстанский университет им.М.Ауезова, Шымкент, Казахстан*
**Х.Б.Исмаилов -** *к.т.н. доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова , Шымкент, Казахстан*
**В.В.Краснощеков -** *к.т.н. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация*
**М.Д.Шабданов -** *к.т.н. ОшТУ , Ош, Киргизстан*
**В.М.Голубова -** *к.псх.н. Ростовский институт (филиал) ВГУЮ (РПА Минюста России), Ростов-на-Дону, Россия*

**Коллегия экспертного совета**

**О.В.Порубай -** *д.ф.т.н., PhD, доц, ФерГТУ, Узбекистан*
**О.Х.Отакулов -** *к.т.н., доц. ФерГТУ, Узбекистан*
**О.С.Райимжонова** - *д.ф.т.н., PhD, доц, ФерГТУ, Узбекистан*
**Р.А.Нурдинова -** *д.ф.т.н., PhD, доц., ФерГТУ, Узбекистан*
**М.А.Норбутаев -** *д.ф.ф.-м.н., PhD, доц, ФерГТУ, Узбекистан*
**М.Э.Юнусалиев -** *к.т.н., PhD, доц., ФерГТУ, Узбекистан*
**М.И.Исмоилов** - *к.т.н., PhD, доц., ФерГТУ, Узбекистан*
**М.Т.Халилов** - *к.т.н., доц., АндМИ, Узбекистан*
**Г.А.Дадамирзаева -** *д.ф.ист.н., PhD, доц., НамГУ, Узбекистан*
**И.Т.Тожибоев -** *к.ф.-м.-н., доц., ФерГУ, Узбекистан*
**А.Ш.Тухтабаев -** *д.ф.ист.н., PhD, доц., НамГУ, Узбекистан*
**И.М.Исакова** - *д.п.н. доц., ФерГУ, Узбекистан*
**М.М.Турдиматов** - *к.т.н, доц., ФерГТУ, Узбекистан*
**Д.Ф.Тухтасинов -** *д.ф.пед.н., PhD, доц., ФерГТУ, Узбекистан*
**Н.Д.Ботирова** - *д.ф.пед.н., PhD, доц., ФерГТУ, Узбекистан*
**Ш.Ж.Холматов** - *к.ф.н., доц., ФерГТУ, Узбекистан*

При использовании материалов журнала необходимо указывать источник.
Авторы статей несут ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.
Редакция не всегда разделяет мнение авторов и не несет ответственности за недостоверность опубликованных данных.
Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, причиненный публикацией статьи.

**Editor in chief**
*S.I.Zokirov*
*PhD in Phys. and Math. Sc.*

The journal has been registered on December 28, 2022 by the Agency for Information and Mass Communications under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan

**Certificate No. 055940**
**ISSN 2181-4171**

**Languages:**
**Russian, English, Uzbek**

**Chairman of exp. advice**
*F.M.Muxtarov*
*DSc in p. sc., CAMU*

**Responsible section editors**

**T.M.Abdullaev**
*PhD in Tech. Sc., FerSTU*

**N.I.Ibrokhimov**
*PhD in phys. and math. Sc., FerSTU*

**A.R.Nurmatov**
*Ph.D. in hist. sc., NamSU*

**G.A.Umarova**
*Cand. of ped. sc, assoc. prof., AndMI*

**Proofreaders**
Lazareva Marina Viktorovna
Obidjonov Zafarjon Odiljon ugli

**Contacts:**
*chief_*editor@*epai.uz*
*@ferteach_uz*

**Editorial board:**

**B.K.Sarsenbaev–** *Dr. of Tech. Sc., prof. Actual member of the National Acad. Rep. Kazakhstan*
**V.Yu.Rud'**– *Dr. of Phys. and Math. Sc., Ioffe Physicotechnical Institute, St.-Petersburg, Russia*
**N.B.Beisenkhanov**– *Dr. of Phys and Math. Sc. (Ds), full professor in Physics, JSC "Kazakh-British Technical University", Almaty, Kazakhstan*
**B.R.Ismailov**– *Dr. of Tech. Sc., prof., Mukhtar Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan*
**A.V.Arzhannikov–** *Dr. of Sc. in Phys. and Math., prof., Novosibirsk St. University, Budker Institute of Nuclear Physics, Russian Federation*
**A.M.Kasimahunova** - *Dr. of Tech. Sc., prof., FerSTU. Fergana, Uzbekistan*
**I.Bjørnø -** *Assoc. Prof. PH.D, DTU imeritus, København, Denmark*
**L.K.Mamadaliyeva -** *Dr. of Tech. Sc., prof., FerSTU. Fergana, Uzbekistan*
**Zh.T.Aimenov–** *Dr. of Engineering (Ds), prof. Mukhtar Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan*
**Kh.B.,Ismailov -** *PhD in Tech. Sc., Mukhtar Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan*
**V.V.Krasnoshchekov -** *PhD in Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russian Federation, St. Petersburg*
**M.D.Shabdanov–** *Can. of Tech. Sc., Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan*
**V.M.Golubova -** *PhD in Psych., Rostov Institute (branch) VGUYu (RPA of the Ministry of Justice of Russia) Russia, Rostov-on-Don*

**Expert Board**

**O.V.Porubay** - *PhD, assoc. prof., FerSTU, Uzbekistan*
**O.Kh.Otakulov**– *Cand. of tech. sc., assoc. prof., FerSTU, Uzbekistan*
**O.S.Raimzhonova** - *PhD, assoc. prof., FerSTU, Uzbekistan*
**R.A.Nurdinova -** *PhD, assoc. prof., FerSTU, Uzbekistan*
**M.A.Norbutaev -** *PhD, assoc. prof., FerSTU, Uzbekistan*
**E.M.Yunusaliev -** *Ph.D in Technics, assoc. prof., FerPI, Uzbekistan*
**M.M.Ismoilov** - *Cand. of tech. sc., PhD, assoc. prof., FerPI, Uzbekistan*
**M.T.Khalilov** - *Cand. of tech. sc., assoc. prof., AndMI, Uzbekistan*
**G.A.Dadamirzaeva -** *Ph.D in Hist. Sc., NamSU, Uzbekistan*
**I.T.Tojiboev -** *Cand. of Phys. and Math. Sc., assoc. prof., FerSU, Uzbekistan*
**A.Sh.Tukhtabaev -** *Ph.D in Hist. Sc., NamSU, Uzbekistan*
**M.T.Isakova** - *DSc in Psychology, FerSU, Uzbekistan*
**M.M.Turdimatov -** *Cand. of tech. sc., PhD, assoc. prof., FerSTU, Uzbekistan*
**D.F.Tukhtasinov** - *PhD on Ped., assoc. prof., FerSTU, Uzbekistan*
**N.D.Botirova** - *PhD on Ped., assoc. prof., FerSTU, Uzbekistan*
**Sh.J.Kholmatov** - *cand. phil., assoc. prof., FerSTU, Uzbekistan*

When using journal materials, you must indicate the source.
The authors of the articles are responsible for the content of the articles and for the very fact of their publication.
The editors do not always share the opinions of the authors and are not responsible for the unreliability of the published data.
The editorial board of the journal does not bear any responsibility to the authors and / or third parties and organizations for possible damage caused by the publication of the article.

Научно-технический журнал “Проблемы инженерии и Инновации”

Адрес редакции:
150100, Ферганская област, г. Фергана, улица Солим, дом 23/4, кв. 26

E-mail:
chief_editor@epai.uz

Наш сайт:
https://epai.uz/

Учредителем научно-технического журнала
**«Engineering problems and innovations»** является ООО “Fer-Teach”.
Журнал издается с 2023 года, зарегистрирован 28 декабря 2022 года Агентством информации и массовых коммуникаций при Администрации Президента Республики Узбекистан (Сертификат № 055940).

**ISSN: 2181-4171**.

«Инженерные проблемы и инновации» является специализированным журналом в области техники и охватывает все основные направления исследований и разработок в различных областях технических наук: физике, математике, информационных технологиях. В журнале также публикуются научные стати по лингвистике, методике преподавания и истории развития технических наук.

**Языки издания**: Русский, английский, узбекский

When using journal materials, you must indicate the source.
The authors of the articles are responsible for the content of the articles and for the very fact of their publication.
The editors do not always share the opinions of the authors and are not responsible for the unreliability of the published data.
The editorial board of the journal does not bear any responsibility to the authors and / or third parties and organizations for possible damage caused by the publication of the article.

Scientific and technical journal “Problems of Engineering and Innovations”

Address:
150100, Fergana region, Fergana city, Solim street, house 23/4, apt. 26

E-mail:
chief_editor@epai.uz

Website:
https://epai.uz/

The founder of the scientific and technical journal
**“Engineering problems and innovations”** is Fer-Teach LLC.
The journal has been published since 2023, registered on December 28, 2022 by the Agency for Information and Mass Communications under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan
(Certificate No. 055940).

**ISSN: 2181-4171**

"Engineering Problems and Innovations" is a specialized journal in the field of engineering and covers all the main areas of research and development in various fields of technical sciences: physics, mathematics, information technology. The journal also publishes scientific articles on linguistics, teaching methods and the history of the development of technical sciences.

**Languages**: Russian, English, Uzbek

При использовании материалов журнала необходимо указывать источник.
Авторы статей несут ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.
Редакция не всегда разделяет мнение авторов и не несет ответственности за недостоверность опубликованных данных.
Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, причиненный публикацией статьи.

# Исследование закономерностей окислительных процессов в бурых и каменных углях

Шарипова Хабиба Тешаевна[1], Абдурахимова Азиза Уразалиевна[2], Факеров Гурезхон Муродович[3]

[1,2] Филиал Российского химико-технологического университета имени Д.И.Менделеева в городе Ташкенте, Узбекистан
xabibasharipova.63@gmail.com
[3]Бохтарский государственный университет им.Носири Хусрава, Таджикистан

***Аннотация.*** *В работе проведено сравнительное исследование кинетики и механизмов жидкофазного деструктивного окисления бурых углей Шурабского (низкая степень метаморфизма) и каменных углей Фан-Ягнобского (средняя степень метаморфизма) месторождений Республики Таджикистан 50%-й азотной кислотой при температуре 45°C. Впервые построены математические модели топохимического накопления гуминовых кислот псевдопервого порядка с учетом глубины залегания пластов и воздействия техногенного выветривания в отвалах. Установлено, что скорость генерации гуминовых веществ бурыми углями Шураба $k=0,1272÷0,1733\%·мин^{-1}$ в 3–4 раза превышает показатели каменных углей Фан-Ягноба $k=0,0424÷0,0558\%·мин^{-1}$, что обусловлено высокой ароматизацией и молекулярной конденсацией каркаса последних. Выявлен аномальный автокаталитический эффект техногенного выветривания высокозольных отвальных углей $A^d$ = 45,91%, приводящий к скачкообразному росту восприимчивости угля к окислительной деструкции до уровня $k=0,0674\%·мин^{-1}$ и выходу гуминовых кислот до 55,31%.*

***Ключевые слова:*** *бурый уголь, каменный уголь, Шурабское месторождение, Фан-Ягнобское месторождение, азотнокислое окисление, гуминовые кислоты, математическое моделирование, кинетика деструкции, техногенное выветривание.*

# Study of regularities of oxidative processes in brown and bituminous coals

Sharipova Khabiba Teshayevna[1], Abdurakhimova Aziza Urazalievna[2], Fakerov Gurezhon Murodovich[3]

[1,2] Tashkent Branch of Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Uzbekistan
xabibasharipova.63@gmail.com
[3]Nosir Khusrav Bokhtar State University, Tajikistan

***Abstract.*** *This paper present a comparative study on the kinetics and mechanisms of liquid-phase destructive oxidation using 50% nitric acid at 45°C of Shurab brown coals (low coalification rank) and Fan-Yagnob hard coals (medium coalification rank) of the Republic of Tajikistan. For the first time, mathematical pseudo-first-order topochemical models of humic acid accumulation were formulated, considering the seam depth and the impact of technogenic weathering in waste dumps. The generation rate of humic substances from Shurab brown coals $k=0,1272÷0,1733\%·min^{-1}$ was established to be 3–4 times higher*

*than that of Fan-Yagnob hard coals k=0,0424÷ 0,0558%·min$^{-1}$ due to the excessive condensation and aromaticity of the latter's carbon skeleton. An anomalous autocatalytic effect of technogenic open-air weathering on high-ash waste dump coals $A^d$ = 45,91% was captured, which drastically triggers coal susceptibility to oxidative degradation up to k = 0,0674%·min$^{-1}$, reaching a total humic acid yield of 55,31%.*

***Keywords:*** *brown coal, hard coal, Shurab deposit, Fan-Yagnob deposit, nitric acid oxidation, humic acids, mathematical modeling, degradation kinetics, technogenic weathering.*

## Qong‘ir va tosh ko‘mirlarda oksidlanish jarayonlari qonuniyatlarini tadqiq etish

Sharipova Xabiba Teshayevna[1], Abduraximova Aziza Urazaliyevna[2], Fakerov Gurejxon Murodovich[3]

[1,2] D.I. Mendeleyev nomidagi Rossiya kimyo-texnologiya universitetining Toshkent shahridagi filiali, O‘zbekiston
xabibasharipova.63@gmail.com
[3]Nosir Xusrav nomidagi Boxtor davlat universiteti, Tojikiston

***Annotatsiya.*** *Ishda Tojikiston Respublikasining Shurob (past metamorfizm darajasi) va Fon-Yagnob (o‘rtacha metamorfizm darajasi) konlari qong‘ir va tosh ko‘mirlarining 45°C haroratda 50% li azot kislotasi bilan suyuq fazali destruktiv oksidlanishi kinetikasi va mexanizmlari qiyosiy tadqiq qilingan. Ilk bor qatlamlarning joylashish chuqurligi va ag‘darmalardagi texnogen nurash ta’sirini hisobga olgan holda, gumin kislotalarining topokimyoviy to‘planishining psevdobirinchi tartibli matematik modellari tuzilgan. Shurob qong‘ir ko‘mirlarida gumin moddalari hosil bo‘lish tezligi (k=0,1272÷0,1733%·min$^{-1}$) Fon-Yagnob tosh ko‘mirlarining ko‘rsatkichlaridan (k=0,0424÷0,0558%·min$^{-1}$) 3–4 marta yuqori ekanligi aniqlangan, bu esa oxirgilarining karkas qismida yuqori darajadagi aromatizatsiya va molekulyar kondensatsiya mavjudligi bilan izohlanadi. Kulchanligi yuqori bo‘lgan ag‘darma ko‘mirlarining ($A^d$ = 45,91%) texnogen nurashida anomal avtokatalitik effekt aniqlangan bo‘lib, bu ko‘mirning oksidlanish destruksiyasiga moyilligini k=0,0674%·min$^{-1}$ darajagacha va gumin kislotalari unumini 55,31% - gacha keskin o‘sishiga olib keladi..*

***Kalit so‘zlar:*** *qong‘ir ko‘mir, tosh ko‘mir, Shurob koni, Fon-Yagnob koni, azot kislotali oksidlanish, gumin kislotalari, matematik modellashtirish, destruksiya kinetikasi, texnogen nurash.*

### Введение

Центральная Азия обладает колоссальным потенциалом твердых горючих ископаемых, сосредоточенных в углегазовых бассейнах и месторождениях Казахстана, Таджикистана, Узбекистана и Киргизии. В условиях современного тренда на глубокую химическую диверсификацию топливно-энергетического комплекса и углехимии, традиционное прямое сжигание углей низкого и среднего качества признается неэффективным. Это диктует необходимость развития альтернативных технологий безотходной переработки органической массы углей (ОМУ) в ценные органоминеральные удобрения, мелиоранты,

биостимуляторы роста и сорбенты на основе гуминовых веществ (ГВ). [1, 2, 3, 4, 5, 6]

Являясь отличными природными комплексообразователями, гуминовые вещества связывают ионы металлов, превращая их в легкоусвояемые для растений хелатные формы. Это обеспечивает эффективную доставку микроэлементов в ткани растения.

Республика Таджикистан располагает уникальным стратиграфическим разнообразием угольных ресурсов. Особый научный и промышленный интерес представляют два объекта: бурые угли Шурабского месторождения и каменные угли Фан-Ягнобского месторождения. Шурабские бурые угли (марка Б) представляют собой сильнопористые высококислородсодержащие матрицы с обилием периферийных функциональных групп, тогда как каменные угли Фан-Ягноба (марки Ж, К, ОС) характеризуются высокой степенью углефикации, плотной полисопряженной ароматической структурой и промышленной газоносностью. [1,2,3]

Жидкофазное деструктивное окисление минеральными кислотами (в частности, $HNO_3$ является классическим методом регулируемой деструкции макромолекулярного каркаса углей для интенсификации выхода гуминовых веществ. Несмотря на обилие прикладных работ, детальное математическое описание формальной топохимической кинетики окисления центральноазиатских углей с учетом их генезиса, зольности, глубины залегания пластов и условий нахождения в техногенных отвалах до сих пор не носило системного характера. Настоящее исследование направлено на восполнение данного пробела посредством построения верифицированных кинетических моделей псевдопервого порядка для сравнительного анализа реакционной способности углей Шураба и Фан-Ягноба. [1, 2, 9]

**Методика эксперимента**

Уголь окисляли азотной кислотой 30; 40; 50%-ной концентраций. В процессе окисления соотношение уголь: кислота изменялось в пределах 1:0,5; 1:1; 1:2. Температура окисления $45^0$С.

Отходящие газы поглощались в абсорбере гидроксидом аммония.

Продукт окисления — суспензию — разделяли на жидкую и твердую фазы. Последнюю промывали дистиллированной водой для удаления следов азотной кислоты, после чего анализировали на содержание гуминовых кислот. Концентрацию избыточной азотной кислоты контролировали в отходящих газах, фильтрате и промывных водах. В остаточном угле после отделения гуминовых веществ определяли трансформацию элементного состава золы в процессе

окисления.

Для описания процесса жидкофазного окисления бурого угля Шурабского месторождения 50%-й азотной кислотой при постоянной температуре $45^0$C целесообразно использовать кинетическое уравнение псевдопервого порядка или линейно-интенсифицированную эмпирическую модель. Поскольку концентрация кислоты находится в избытке (50%), скорость образования гуминовых кислот (ГК) лимитируется главным образом временем контакта и реакционной способностью органической массы конкретной пробы. Продолжительность окисления варьировалось от 30 мин до 60; 90; 120 минут.

***Обьекты исследования:*** Для исследования реакционной способности органической массы бурого угля пробы отбирали с различных глубин Шурабского месторождения:

- Проба 1: подземные выработки, глубина 200–250 м;
- Проба 2: подземные выработки, глубина 150 м;
- Проба 3: подземные выработки, глубина 70 м;
- Проба 4: поверхностные выходы пласта (зона выветривания)

С месторождения Фан -ягноб обьектами исследования послужили четыре пробы каменного угля:

- Проба 5: ДП «Шахта Фан-ягноб» (восточный фланг), товарный уголь;
- Проба 6: ДП «Шахта Фан-ягноб» (восточный фланг, отвал), лежалый уголь;
- Проба 7: ООО «ТАЛКО ресурс» (западный и центральный фланг), товарный уголь;
- Проба 8: ООО «ТАЛКО ресурс» (западный и центральный фланг, отвал), высокозольные угли отвального комплекса. [2]

**Результаты исследований**

Так как азотная кислота является сильным окислителем и нитрующим агентом механизм влияния концентрации азотной кислоты на уголь заключается в интенсификации процессов окислительной деструкции, нитрования и гидролиза макромолекулярной структуры угля [8].

Азотная кислота воздействует на органическую массу угля (ОМУ) через систему параллельно-последовательных реакций:

- Повышение концентрации $HNO_3$ от 30% до 50% резко увеличивает термодинамическую активность и окислительный потенциал системы. Происходит селективное разрушение относительно слабых алифатических (метиленовых, эфирных) мостиков, связывающих между собой жесткие ароматические ядра (кластеры) угля.
- Высокая концентрация кислоты ускоряет образование высокоактивных

радикалов таких как $NO_2^-$ и $OH^-$, которые атакуют периферийные алкильные цепи и макромолекулярную сетку, приводя к ее фрагментации.

При окислении углей азотной кислотой 30%-ной концентрации кинетическая энергия молекул реагента и их атакующая способность недостаточны для разрушения прочных кристаллитоподобных участков угля. Реакция протекает преимущественно на поверхности раздела фаз (внешняя диффузия) и затрагивает только самые лабильные связи.

Гуминовые кислоты (ГК) по своей природе являются смесью высокомолекулярных полифункциональных соединений. Увеличение их количества при переходе к 50%-ной кислоте объясняется тем, что жесткая и нерастворимая трехмерная структура исходного угля под действием концентрированного окислителя распадается на более мелкие, растворимые в щелочах осколки — макрорадикалы ГК.

Параллельно с расщеплением связей происходит глубокое окисление периферийных углеродных атомов. Это приводит к резкому росту содержания кислородсодержащих функциональных групп — в первую очередь карбоксильных -COOH и фенольных гидроксилов -OH. Именно они обеспечивают растворимость ГК в щелочных средах и определяют их выход.

Более концентрированная $HNO_3$ выступает как эффективный нитрующий агент. Происходит замещение атомов водорода в ароматических ядрах угля на нитрогруппы $-NO_2$. Нитрование разрыхляет структуру угля, делает ее более пористой и доступной для дальнейшего проникновения реагента.

При окислительной деструкции углей азотной кислотой 50%-ной концентрации скорость диффузии реагента внутрь угольной матрицы возрастает за счет частичного растворения и разбухания ОМУ. Окисление переходит из чисто диффузионной области в глубокую кинетическую, вовлекая во взаимодействие внутренние слои угольного вещества.

Дальнейшее повышение концентрации $HNO_3$ (выше 50–60%) обычно нецелесообразно. Происходит переокисление, при котором образовавшиеся гуминовые кислоты начинают разрушаться до низкомолекулярных водорастворимых органических кислот (щавелевой, уксусной, бензолполикарбоновых) и углекислого газа $CO_2$.

Кинетические закономерности жидкофазного окисления угля определяются продолжительностью его контакта с реагентом.[9] Эксперименты, проведенные в интервале времени от 5 до 40 минут, продемонстрировали устойчивую положительную корреляцию между длительностью процесса и выходом гуминовых кислот (ГК) для всех исследованных образцов.

Согласно полученным данным (рис. 1), при воздействии 30%-ной азотной

кислоты на уголь Фан-Ягнобского месторождения (восточный фланг проба №5) в течение 40 минут содержание ГК возрастает от начального количества 1,043% до 2,96%. Наибольшая эффективность процесса зафиксирована при использовании 50%-ного раствора $HNO_3$ и максимальной экспозиции (40 мин).

Характер кинетических кривых (рис. 1) при воздействии 50%-ной $HNO_3$ указывает на резкую интенсификацию деструкции после 20 минут экстракции. На начальном этапе (до 20 мин) протекают преимущественно адсорбционные процессы на межфазной поверхности. Последующий рост выхода ГК в интервале 20–40 минут подтверждает протекание глубокой окислительной деструкции органического вещества угля.

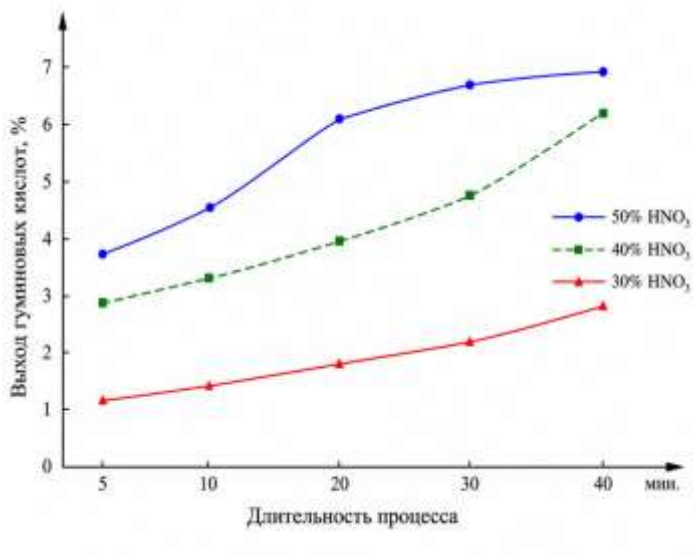



**Рис.1. Динамика выхода ГК при азотно-кислотном окислении угля Фан-ягнобского месторождения в зависимости от концентрации азотной кислоты и длительности процесса**

Для количественной оценки интенсивности образования гуминовых кислот на различных временных интервалах рассчитывали среднюю скорость процесса W, %/мин) по формуле:

$$W = \frac{\Delta C}{\Delta t} = \frac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1}$$

где:

$C_1$ и $C_2$ — выход гуминовых кислот в начальный и конечный моменты времени рассматриваемого интервала, %;

$t_1$ и $t_2$ — границы временного интервала, мин.

На основе экспериментальных данных по окислению углей азотной кислотой 30%-ной концентрации (рост выхода ГК от 1,043% до 2,96% за 40 минут) средняя скорость накопления ГК на всем протяжении процесса составляет:

$$W_{(30\%)} = \frac{2{,}96 - 1{,}043}{40 - 0} = \frac{1{,}917}{40} \approx 0{,}048\ \%/\text{мин}$$

Процесс при данной концентрации протекает монотонно, с невысокой скоростью, что подтверждает его протекание в преимущественно диффузионной или поверхностно-химической области, где энергия активации недостаточна для объемной деструкции угля.

Применение 50%-ной азотной кислоты кардинально меняет кинетический режим, разделяя его на две выраженные стадии (Рис. 1). С целью точного описания выполнен расчет для гипотетических точек скачка, исходное содержание ГК - 1,043%, точка перегиба наблюдается на 20 минуте, конечный выход ГК - 6,16% проявляется на 40 минуте.

В процессе окисления угля до 20 минут скорость образования ГК минимальна. Молекулы окислителя сорбируются пористой матрицей угля. Предположим, что к 20-й минуте выход ГК возрастает незначительно (например, до 1,5%). Тогда скорость первого этапа составляет:

$$W_{1(50\%)} = \frac{1{,}5 - 1{,}043}{20 - 0} \approx 0{,}023\ \%/\text{мин}$$

Низкое значение скорости подтверждает преобладание физико-химической адсорбции над деструктивными процессами.

После насыщения реакционных центров на промежутке времени 20-40 минут происходит резкий скачок выхода ГК до итоговых 6,16%. Скорость процесса на этом этапе равна:

$$W_{2(50\%)} = \frac{6{,}16 - 1{,}5}{40 - 20} \approx 0{,}233\ \%/\text{мин}$$

Сопоставление расчетных величин показывает, что скорость образования гуминовых кислот на втором этапе (20–40 мин) при использовании 50%-ной кислоты (0,233 %/мин) почти в 10 раз превышает скорость на начальном этапе (0,023) %/мин) и почти в 5 раз — среднюю скорость процесса при 30%-ной концентрации 0,048 %/мин.

Это математически доказывает смену лимитирующей стадии процесса: от медленной внешней и внутренней диффузии (в первые 20 минут) к быстрой топохимической реакции деструкции угольного вещества под действием концентрированного реагента.

Эффективность процесса окисления угля существенно зависит от массового соотношения твердой и жидкой фаз (уголь:кислота), которое в

настоящей работе изменяли от 1:0,5 до 1:2. Из рис.2 следует, что наибольший прирост выхода гуминовых кислот (ГК) зафиксирован при использовании 50%-й $HNO_3$ в течение 30 минут и соотношении реагентов 1:2. Данный режим обеспечил интенсификацию процесса, выразившуюся в увеличении содержания ГК в 12 раз (от 1,043 % до 12,03 %).

Для сравнения кинетики процесса окисления образцов бурого и каменного углей из месторождений Шураб и Фан-ягноб были отобраны пробы сырья и проведены эксперименты по их окислению при оптимальных условиях: соотношение уголь:кислота=1:2, температура – 45°С и концентрация азотной кислоты – 50%. Продолжительность процесса менялась от 30 мин до 60, 90, 120 минут.

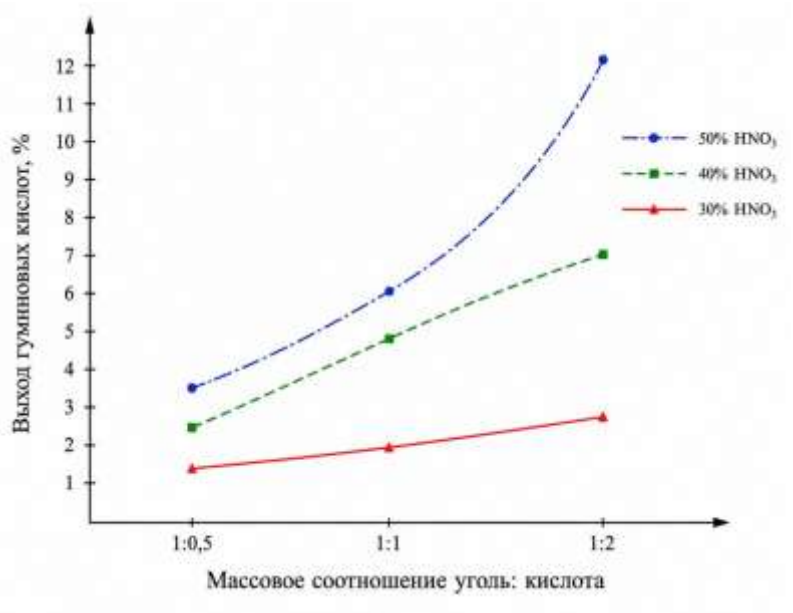



**Рис.2 Влияние массового соотношения уголь:кислота на степень окисления угля Фан – Ягнобского месторождения**

При окислении угля азотной кислотой происходит деструкция угля при котором происходит взаимодействие как органической части, так и неорганической части угля окислителем. Поэтому процесс азотнокислого окисления угля сопровождается перераспределением образующихся оксидов азота между тремя фазами: эмиссия оксидов азота в газовую среду, формирование твердого азотсодержащего остатка (нитроугля) и остальная часть при промывке нитроугля переходит в промывные воды.

Результаты динамики распределения оксидов азота в зависимости от длительности процесса окисления, приведены в табл. 1

Во всех пробах без исключения наблюдается строгая прямая зависимость: с увеличением времени окисления от 30 до 120 минут степень испарения кислоты монотонно растет.

Для Шуробских углей испарение оксидов азота увеличивается с 3,69% (при 30 мин) до 13,27% (при 120 мин). Наибольшая летучесть зафиксирована у пробы №1 (16,15%).

Для Фан-Ягнобских углей испарение на начальных этапах (30–90 мин) идет медленнее (в среднем около 2–4%), но резко возрастает к 120 минутам реакции (достигая в среднем 8,76%, максимум — у пробы №8: 12,97%).

**Таблица 1. Кинетика процесса окисления образцов угля месторождения Шураб и Фан-ягноб при оптимальных условиях**

| № опыта | № пробы | Продол. | Степень испаре | Содержание $HNO_3$ в фильтрате и промывной воде,% | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Фильтрат | Промывная вода |
| 1 | 1 | 30 | 7,84 | - | 26,74 |
| 2 | | 60 | 11,02 | 24,76 | 26,46 |
| 3 | | 90 | 14,47 | 23,94 | 27,09 |
| 4 | | 120 | 16,15 | 22,37 | 25,52 |
| 5 | 2 | 30 | 2,98 | - | 26,77 |
| 6 | | 60 | 3,13 | 33,39 | 31,5 |
| 7 | | 90 | 7,48 | 27,09 | 23,94 |
| 8 | | 120 | 11,56 | 23,93 | 24,57 |
| 9 | 3 | 30 | 0,86 | - | 21,7 |
| 10 | | 60 | 1,43 | 28,48 | 41,58 |
| 11 | | 90 | 1,74 | 24,57 | 24,57 |
| 12 | | 120 | 10,46 | 22,93 | 22,37 |
| 13 | 4 | 30 | 3,06 | - | 22,01 |
| 14 | | 60 | 3,75 | 33,39 | 30,56 |
| 15 | | 90 | 4,72 | 28,35 | 25,83 |
| 16 | | 120 | 14,92 | 27,55 | 22,37 |
| 17 | 5 | 30 | 2,13 | 46,62 | 16,38 |
| 18 | | 60 | 2,39 | 34,02 | 22,68 |
| 19 | | 90 | 2,55 | 32,13 | 15,44 |
| 20 | | 120 | 3,78 | 30,24 | 17,01 |
| 21 | 6 | 30 | 2,12 | - | 23,98 |
| 22 | | 60 | 2,45 | 34,65 | 27,91 |
| 23 | | 90 | 2,67 | 31,87 | 13,36 |
| 24 | | 120 | 11,28 | 30,19 | 12,35 |
| 25 | 7 | 30 | 1,42 | - | 24,67 |
| 26 | | 60 | 1,54 | 37,81 | 21,42 |
| 27 | | 90 | 2,48 | 32,76 | 11,66 |
| 28 | | 120 | 7,02 | 31,25 | 15,75 |
| 29 | 8 | 30 | 3,53 | - | 22,94 |
| 30 | | 60 | 3,84 | 39,69 | 30,24 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 31 | | 90 | 8,53 | 37,49 | 16,07 |
| 32 | | 120 | 12,97 | 36,64 | 20,79 |

Для большинства образцов при окислении в течение 30 минут переход кислоты в фильтрат не наблюдается. Это указывает на то, что на начальном этапе жидкая фаза фильтрата либо еще не отделилась, либо вся кислота удерживалась матрицей угля. Исключением является проба №5, где через 30 минут окисления в фильтрат перешло 46,62% кислоты.

На интервале от 60 до 120 минут прослеживается тенденция к снижению доли азотной кислоты в фильтрате. У Шуробского месторождения средний показатель падает с 30,01% до 24,20%, а у Фан-Ягнобского — с 36,54% до 32,08%. Это объясняется постепенным расходованием свободной кислоты на окисление органической массы угля и образование нитропродуктов.

Переход кислоты в промывные воды отражает количество избыточной или слабосвязанной кислоты, удаляемой при промывке полученного нитроугля.

Максимальные значения для обоих месторождений фиксируются преимущественно на 60 минуте окисления (в среднем 32,53% для Шуробского и 25,56% для Фан-Ягнобского), после чего к 120 минутам наблюдается постепенное снижение концентрации в промывных водах.

Сравнительный анализ месторождений показывает, что Шуробский бурый уголь более активно способствует испарению азотной кислоты в ходе деструкции (средние значения испарения выше на всех временных отметках).

Фан-Ягнобский каменный уголь демонстрирует более высокие показатели содержания кислоты в фильтрате (в среднем на 5–8% выше, чем у Шуробского на аналогичных временных отрезках), что может быть связано со структурными особенностями и меньшей реакционной способностью каменного угля по сравнению с бурым, из-за чего кислота медленнее расходуется внутри системы.

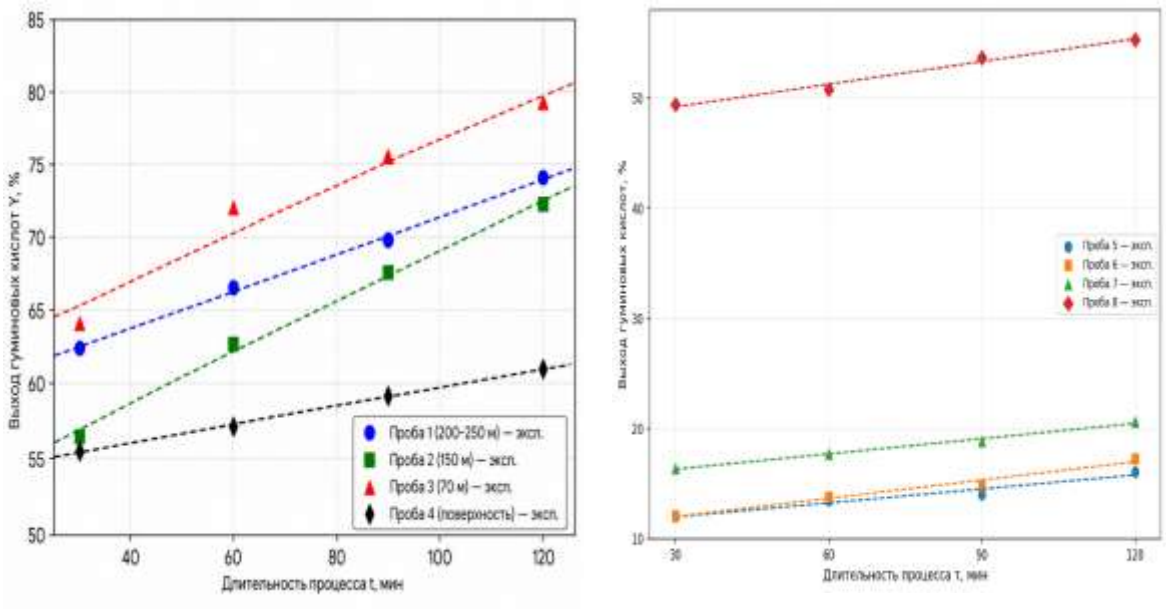
Так как оставшаяся часть азотной кислоты расходуется на образование нитроугля (связывается с органической матрицей), по разности от 100% можно судить о динамике нитрования. Суммарная доля улетевшей и смытой кислоты стабилизируется в районе 50–70%. Оставшиеся 30–50% азотной кислоты эффективно участвуют в химическом связывании с угольным веществом.

Методом наименьших квадратов (МНК) по экспериментальным точкам были рассчитаны индивидуальные уравнения кинетики для каждой из четырех проб бурых углей Шуробского месторождения:

Основное технологическое назначение процесса окисления угля азотной кислотой — увеличение количества гуминовых кислот (основа органоминеральных удобрений), производство нитроуглей, глубокая десульфуризация (удаление пирита) и травление пор углеродных сорбентов. [1,

2, 3, 4, 5, 6]

Для изучения кинетических закономерностей жидкофазного окисления угля пробы углей Шурабского и Фан-Ягнобского месторождений подвергли азотнокислотной переработке при температуре 45$^0$C, массовом соотношении уголь:кислота= 1:2, концентрация кислоты 50%.




**а)** **б)**

**Рис.3 Влияние длительности процесса окисления углей Шуробского (а) и Фан-ягнобского(б) месторождений на выход гуминовых кислот**

Экспериментальные данные по выходу гуминовых кислот Y,% в интервале времени от 30 до 120 минут обработаны с помощью методов формальной гетерогенной кинетики. Установлено, что на исследуемом временном отрезке накопление целевого продукта с высокой точностью $R^2$ =95 описывается линейным кинетическим уравнением псевдопервого порядка:

$$Y(t)=k\,t+Y_0$$

где:*Y(t)* — выход гуминовых кислот в данный момент времени, %;

*k* — константа скорости накопления гуминовых кислот (интенсивность процесса окисления), %·мин$^{-1}$;

*t* — длительность процесса окисления, мин;

$Y_0$ — экстраполированный начальный выход ГК с учетом легкоокисляемой фракции

Результаты математического моделирования и расчета кинетических параметров для исследуемых проб углей сведены в таблицу 2. Анализ полученных результатов позволяет выявить явную зависимость реакционной способности угля от глубины его залегания и степени природного выветривания.

**Таблица 2. Кинетические параметры окисления азотной кислотой бурого угля Шурабского и каменного угля Фан-ягнобского месторождений**

| № пробы | Зольность на сухую массу $A^d$, % | Исходное содерж. ГК, % | Кинетическое уравнение модели t = 30–120 мин | Константа скорости k, %·мин$^{-1}$ | Экстраполир. выход $Y_0$, % | Коэф. детерм. $R^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9,02 | 19,31 | Y = 0,1272t + 58,69 | 0,1272 | 58,69 | 0,9962 |
| 2 | 8,01 | 24,01 | Y = 0,1733t + 51,76 | 0,1733 | 51,60 | 0,9952 |
| 3 | 10,97 | 20,73 | Y = 0,1634t + 60,50 | 0,1634 | 60,50 | 0,9533 |
| 4 | 10,05 | 10,74 | Y = 0,0620t + 53,55 | 0,0620 | 53,55 | 0,9954 |
| 5 | 27,92 | 1,043 | Y= 0,0424 t+10,99 | 0,0424 | 10,99 | 0,9586 |
| 6 | 27,12 | 1,301 | Y= 0,0558 t+10,26 | 0,0558 | 10,26 | 0,9747 |
| 7 | 22,05 | 0,711 | Y= 0,0464 t+15,01 | 0,0464 | 15,01 | 0,9958 |
| 8 | 45,91 | 8,157 | Y= 0,0674t+47,17 | 0,0674 | 47,17 | 0,9684 |

Высокие значения коэффициентов детерминации $R^2$ = 0,9533÷ 0,9962 строго доказывают адекватность выбранной модели и свидетельствуют о том, что при температуре 45°C процесс деструкции угольной матрицы протекает в стабильном кинетическом режиме, не лимитируемом внешней диффузией реагента. Сравнение экспериментальных кривых приведено на рисунке 3.

Комплексный анализ кинетических параметров k, $Y_0$ и исходного состава проб позволяет вскрыть глубинную физико-химическую природу протекающих процессов.

Как видно из табл.2 для бурых углей Шуробского месторождения характерно повышенная скорость нежели для каменных углей Фан-ягнобского месторождения.

Анализы результатов показывают, что при окислении угля Шуробского месторождения значения константы скорости 1-3 проб имеют максимальные значения 0,1272-0,1634%·мин$^{-1}$ наибольшая скорость окисления и увеличение количества ГК наблюдается в пробе 2 (глубина 150м) k=0,1733%·мин$^{-1}$.

Минимальная скорость окисления зафиксирована для образца, отобранного с поверхности пласта (проба 4) k = 0,0620%·мин$^{-1}$, что в 2,6–2,8 раза ниже показателей подземных проб. Это обусловлено тем, что уголь на поверхности уже подвергся естественному долговременному окислению кислородом воздуха и влагой (гипергенезу). Его структура частично деградировала, наиболее активные периферийные фрагменты макромолекул

оказались разрушены или трансформированы, что снизило восприимчивость матрицы к воздействию жесткого окислителя $HNO_3$.

С увеличением глубины от 70 до 150 метров наблюдается рост константы скорости реакции с 0,1634 до 0,1733%·мин$^{-1}$. Проба 3 (70 м) и проба 2 (150 м) обладают максимальной реакционной способностью, при этом проба 3 достигает наибольшего абсолютного выхода ГК-79,27% за 120 мин благодаря высокому стартовому потенциалу легкоокисляемых алифатических цепочек $Y_0$ = 60,50%

Повышенная зольность пробы 2- 15,95% по сравнению с глубоководной пробой 1 не снижает скорость реакции, а напротив, указывает на возможный синергетический или автокаталитический эффект со стороны соединений железа или других переходных металлов, входящих в состав золы и инициирующих радикальное расщепление связей в органической массе под действием $HNO_3$.

При умеренной зольности пробы №3 - 10,02% и высоком исходном содержании ГК 20,73%, данный уголь залегает в зоне оптимального природного метаморфизма («мягкого» естественного окисления кислородом подпочвенных вод). Его макромолекулярная структура разрыхлена, но не разрушена эрозией, что обеспечивает высокую доступность алифатических периферийных цепей для быстрой деструкции.

При дальнейшем погружении до глубины 200–250 метров (проба 1) константа скорости снижается до 0,1272%· мин$^{-1}$. Данный факт объясняется увеличением степени углефикации (метаморфизма) органической массы угля под действием повышенного горного давления и температур. Происходит уплотнение структуры, рост доли ароматических конденсированных ядер и снижение количества доступных периферийных алкильных заместителей, что затрудняет протекание деструктивного жидкофазного окисления.

Таким образом, кинетические параметры k и $Y_0$ выступают в качестве чувствительных индикаторов структурных изменений бурого угля Шурабского месторождения, отражая сложный баланс между процессами естественного выветривания на поверхности и метаморфической эволюции полисопряженной матрицы на больших глубинах.

Сопоставление кинетических параметров деструкции бурых углей Шурабского месторождения и каменных углей Фан-Ягнобского месторождения выявило фундаментальные различия, обусловленные степенью их метаморфизма и углефикации:

Скорость накопления ГК у бурых углей Шураба k=0,1272 ÷ 0,1733%· мин$^{-1}$ для подземных проб в 3.0–4.0 раза превышает аналогичные показатели каменных углей Фан-Ягноба k = 0,0424÷0,0558%·мин$^{-1}$. Это обусловлено тем, что каменные угли обладают высококонденсированной, жесткой

полиароматической матрицей со значительно меньшим количеством периферийных алифатических мостиков, доступных для нуклеофильного гидролитического расщепления азотной кислотой.

Уникальным научным результатом является кинетика окисления пробы 8 (отвал ТАЛКО ресурс). Несмотря на экстремальную зольность $A^d$ = 45,91%, данный образец демонстрирует максимальный валовый выход ГК 55,31% за 120 мин, самую высокую константу скорости k = 0,0674% $мин^{-1}$ и аномально высокий стартовый параметр $Y_0$=47,17%. Это объясняется эффектом техногенного каталитического выветривания. Длительное нахождение мелкодисперсного высокозольного угля в отвалах привело к инициированию процессов окисления кислородом воздуха, катализируемых минеральными фазами (вероятно, сульфидами железа), что привело к предварительной деструкции полисопряженного каркаса и накоплению предгуминовых субстанций (исходный выход ГК — 8,157%, что в 8 раз выше товарного угля).

В отличие от Шурабского бурого угля, где поверхностная Проба 4 показала падение кинетики из-за эрозии и смыва гуматов, лежалые каменные угли Фан-Ягноба из отвалов (Пробы 6 и 8) претерпевают механическую деструкцию структурных блоков, что увеличивает удельную площадь поверхности и ускоряет реакцию окисления азотной кислотой в сравнении со свежедобытыми товарными углями (Пробы 5 и 7).

С целью изучения влияния процесса окисления угля азотной кислотой на структуру органического вещества сырья в исходном и окисленном угле Шуробского месторождения (проба 1 окисленная в течение 60 минут), а также в гуминовых кислотах извлеченных из исходного и окисленных углей, в угольном остатке были определены функциональные группы. Результаты сведены в табл.3.

**Таблица 3. Содержание функциональных групп в угле и продуктах его окисления азотной кислотой**

| № | Вещество | Влага, % | Зола, % | ОМУ, % | ГК на ОМУ, % | Функциональные группы, мг-экв/г | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $COOH^-$ + $OH^-$ | $COOH^-$ | $OH^-$ |
| 1 | Исходный угль | 10,1 | 9,05 | 81,22 | 19,31 | 5,51 | 1,94 | 3,57 |
| 2 | Окисленный угль | 7,14 | 1,97 | 91,89 | 66,63 | 10,77 | 4,86 | 5,91 |
| 3 | Гуминовые кислоты исходного угля (NaOH) | 48,31 | | | | 9,58 | 4,25 | 5,33 |
| 4 | Гуминовые кислоты окисленного угля (NaOH) | 52,04 | | | | 13,60 | 7,89 | 5,71 |
| 5 | Остаток исходного угля (шлам) | 58,21 | 11,88 | 9,91 | 2,03 | 3,95 | 0,82 | 3,13 |

Анализ экспериментальных данных (табл.3) наглядно иллюстрирует

высокую эффективность деструктивно-окислительного воздействия азотной кислоты на органическую массу угля (ОМУ), что выражается в глубокой перестройке его функционального состава.

Резкий рост общей кислотности окисленного угля с 5,51 до 10,77 мг-экв/г (прирост на 5,26 единиц) обусловлен протеканием параллельных процессов электрофильного нитрования ароматических фрагментов и деструкции алифатических мостиков. Интенсивное накопление карбоксильных групп — **с** 1,94 до 4,86 мг-экв/г (в 2,5 раза) — экспериментально подтверждает протекание жесткого окисления бензольных колец и концевых алкильных цепей под действием азотной кислоты. Одновременно с этим, фиксация роста фенольных гидроксилов с 3,57 до 5,91 мг-экв/г указывает на промежуточные стадии окислительного гидроксилирования С–Н связей через образование гидроперекисей и спиртов. Окислительная деполимеризация макромолекулярной сетки угля за счет разрыва метиленовых и этиленовых мостиков приводит к резкому повышению выхода гуминовых кислот (ГК) — с 19,31% до 66,63% на ОМУ (рост в 3,4 раза). Накопление полярных кислородсодержащих групп делает фрагменты угля гидрофильными и легкорастворимыми в щелочах.

## Выводы

Математическое моделирование кинетики накопления гуминовых кислот при азотнокислом окислении бурого угля Шурабского месторождения подтвердило адекватность линейной модели псевдопервого порядка $R^2$= 0,95 в интервале 30–120 мин.

Обнаружена экстремальная зависимость реакционной способности угля от глубины отбора проб: максимальной скоростью окисления обладают подземные пласты средних глубин (70–150 м) с константами скорости k = 0,1634 ÷0,1733%·мин$^{-1}$.

Поверхностные выходы угля (проба 4) наименее перспективны для промышленной переработки из-за высокой зольности 22,01% и глубокой природной деградации лабильной фазы, снижающей скорость синтеза ГК в 2,8 раза.

## Список использованной литературы

1. Sulaimanova, B., Overland, I., Sabyrbekov, R., & Vakulchuk, R. (2023). Energy Transition in Central Asia: A Systematic Literature Review. *Open Research Europe*, 3(45), 112–128.
2. Факеров Г.М., Эркаев А.У., Шарипова Х.Т., Мирзоев Б. Исследование процесса получения органоминеральных удобрений азотнокислотным окислением углей Фан-ягнобского месторождения // Universum: технические науки: научный журнал - №8(101),

август 2022. Часть 2, стр. 55-65.

3. Kairalapov, M. S., & Erkin, A. (2025). Extraction of humic acids from Shubarkol brown coal by probabilistic planning method. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 60(1), 89–96.
4. Fadillah, A., & Budiman, A. (2025). Kinetic Modeling of Humic Acid Production from Oxidized Low-Rank Coal utilizing Green Oxidants. *Egyptian Journal of Chemistry*, 68(6), 435–447.
5. Permatasari, D., & Abdullah, E. C. (2025). Reuse of nitric acid in the oxidative pretreatment step for preparation of humic acids from low rank coal. *International Journal of Coal Science & Technology*, 12(2), 74–85.
6. Zainuddin, Z., & Ishak, M. A. (2021). Extraction and Chemical Characterization of Humic Acid from Low-Rank Coals. *Sustainability*, 13(16), 8969.
7. Kucherenko, V. A., & Tamarkina, Y. V. (2022). Structural transformations of hard and brown coals during liquid-phase oxidation. *Coke and Chemistry*, 65(8), 312–322.
8. Fakerov G.M., Sharipova Kh.T., Mirzoev B., Erkaev A.U. Study of chemical and mineralogical composition of low-grade phosphorites and carbons of Tajikistan using modern physico-chemical analysis methods // International journal of scientific & technology research volume 9, issue 09, september 2020 issn 2277-8616, page 346-355.
9. Мустафина, Р. А., & Ковалева, М. А. (2024). Влияние времени на процесс модификации и деминерализации гуминовых кислот растворами серной и азотной кислот. *Химия твердого топлива*, (3), 45–51.
10. Li, M., & Wang, X. (2023). Conversion of coal residue into humic acids via catalytic oxidation over transition metal oxide catalysts. *Fuel Processing Technology*, 241, 107–119.