MÜNDƏRİCAT
СОДЕРЖАНИЕ
CONTENT

GEOLOGİYA VƏ GEOFİZİKA
ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА /
GEOLOGY AND GEOPHYSICS

4
Ələkbərova S.Ə., Ələkbərov E.F.
Geoloji-geofiziki məlumatlar əsasında Orta Kür çökəkliyinin Eosen çöküntülərinin paleocoğrafi və litofasial meyarlara görə neftqazlılığının qiymətləndirilməsi
Алекберова С.А., Алекберов Э.Ф.
Оценка нефтегазоносности эоценовых отложений в Среднекунринской впадине согласно палеогеографическим и литофациальным критериям на основе геолого-геофизических данных
Alakbarova S.A., Alakbarov E.F.
Assessment of the oil and gas potential of Eocene deposits in the Middle Kura Depression based on geological-geophysical data, using paleogeographical and lithofacial criteria

11
Hüseynov R.M., Xəlilov E.F., Mirzəyeva G.N.
Mezokaynozoy çöküntü kompleksinin struktur-tektonik xüsusiyyətlərinin təhlili (Gəncə monoklinalı timsalında)
Гусейнов Р.М., Халилов Э.Ф., Мирзаева Г.Н.
Структурно-тектонический анализ мезо-кайнозойского осадочного комплекса (на примере Гянджинской моноклинали)
Huseynov R.M., Khalilov E.F., Mirzayeva G.N.
Analysis of structural and tectonic features of the meso-cenozoic sedimentary complex (case study of the Ganja monocline)

QUYULARIN QAZILMASI
БУРЕНИЕ СКВАЖИН /
WELL DRILLING

17
Orudjov Yu.A., Mammadov F.K., Salimova E.N.
Machine time of drill string descent for one well drilling cycle
Orucov Y.Ə., Məmmədov F.X., Səlimova E.N.
Qazma kəmərini işə salmaq üçün tələb olunan maşın vaxtının müəyyən edilməsi
Ю.А. Оруджов, Ф.Х. Мамедов, Э.Н. Салимова
Определение машинного времени спуска бурильной колонны за один цикл бурения скважины

NEFT VƏ QAZ YATAQLARININ İŞLƏNMƏSİ VƏ İSTİSMARI
РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ /
DEVELOPMENT AND OPERATION OF OIL AND GAS FIELDS

22
Hüseynova M.Ə., Ağayeva N.A., Cabbarova K.Ş., Hüseynli X.X.
Neftin su ilə sıxışdırılması prosesinin qalıq neftin çıxarılmasına təsirinin tədqiqi
Гусейнова М.А., Агаева Н.А., Джаббарова К.Ш., Гусейнли Х.Х.
Исследование влияния процесса вытеснения нефти водой на извлечение остаточной нефти
Huseynova M.A., Aghayeva N.A., Jabbarova K.Sh., Huseynli Kh.Kh.
Investigation of the influence of the process of oil displacement by water on the recovery of residual oil

Redaksiya
"Azərbaycan neft təsərrüfatı"

Baş redaktor
İ.S.Quliyev

Baş redaktorun müavinləri
E.Q.Şahbazov
M.N.Şixiyev

Məsul katib
S.F.Əbdülsalamlı

Referent
K.T.Səfərova

Aparıcı mühasib
Ş.N.Məmmədova

İqtisadçı
M.H.Cavadova

Redaksiya şöbəsinin rəhbəri
X.A.Qədimova

Redaksiya şöbəsi rəhbərinin müavini
A.R.Muradova

Böyük elmi redaktor
L.Ə.Şixiyeva

Böyük redaktor
L.M.Şükürova

Xüsusi müxbir
A.Q.Əhmədov

Tərtibat şöbəsinin rəhbəri
V.V.Şorkin

Tərtibat şöbəsinin mütəxəssisləri
Ə.Z.Abdullayev
Z.R.Əsgərov
E.Ə.Seyfullayeva

Редакция
"Азербайджанское нефтяное хозяйство"

Главный редактор
И.С.Гулиев

Заместители главного редактора
Э.Г.Шахбазов
М.Н.Шихиев

Ответственный секретарь
С.Ф.Абдулсаламлы

Референт
К.Т.Сафарова

Ведущий бухгалтер
Ш.Н. Мамедова

Экономист
М.Г.Джавадова

Руководитель редакционного отдела
Х.А.Гадимова

Заместитель руководителя редакционного отдела
А.Р.Мурадова

Старший научный редактор
Л.А.Шихиева

Старший редактор
Л.М.Шукюрова

Специальный корреспондент
А.Г.Ахмедов

Руководитель отдела оформления
В.В.Шоркин

Специалисты отдела оформления
А.З.Абдуллаев
З.Р.Аскеров
Э.А.Сейфуллаева

NEFTQAZÇIXARMANIN TEXNİKA VƏ TEXNOLOGİYASI
ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ / TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF OIL-GAS PRODUCTION

Asadov M.M., Aliyev E.N., Salimli A.M.
New conceptual approaches to the mechanism of action of Janus nanoparticles for enhanced oil recovery
Əsədov M.M., Əliyev E.N., Səlimli A.M.
28 Yanus nanohissəciklərinin neft hasilatını artırmaq üçün təsir mexanizminə yeni konseptual yanaşmalar
Асадов М.М., Алиев Э.Н., Салимли А.М.
Новые концептуальные подходы к механизму действия янус-наночастиц для повышения нефтеотдачи

İSTEHSALAT PROSESLƏRİNİN AVTOMATLAŞDIRILMASI
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ / AUTOMATION OF INDUSTRIAL PROCESSES

Xurşudov D.Q.
Ətraf mühitin monitorinq sistemi və qaz xromatoqrafiyasının inteqrasiyası yeni yanaşmada
Хуршудов Д.Г.
35 Интеграция системы экологического мониторинга и газовой хроматографии в новом подходе
Xurshudov D.G.
Environmental monitoring system and gas chromatography integration in a new approach

NEFT-MƏDƏN AVADANLIĞI
НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ / OIL FIELD EQUIPMENT

Həsənova N.A.
Neft-mədən avadanlıqlarında plastik kütlədən olan detalların keyfiyyətinin qiymətləndirilməsinin tədqiqi
Гасанова Н.А.
44 Исследование по оценке качества пластиковых деталей в нефтепромысловом оборудовании
Gasanova N.A.
A study to assess the quality of plastic parts in oilfield equipment

NEFT SƏNAYESİNDƏ NANOTEXNOLOGİYALAR
НАНОТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ / NANOTECHNOLOGY IN OIL INDUSTRY

Şahbazov E.Q., Nağıyev C.Ə., Həsənova A.M.
Neft hasilatında lay sularının radionuklidlərdən nanotexnologiyanın tətbiqi ilə təmizlənməsi prosesinin elmi əsaslarının işlənməsinə dair
Шахбазов Э.Г., Нагиев Дж.А., Гасанова А.М.
48 О разработке научных основ процесса очистки пластовых вод от радионуклидов при добыче нефти с применением нанотехнологий
Shakhbazov E.G., Nagiyev J.A., Hasanova A.M.
On the development of the scientific basis of the process of radionuclides in produced water in oil production through the application of nanotechnology

NEFT EMALI VƏ NEFT KİMYASI
НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА И НЕФТЕХИМИЯ / OIL REFINING AND PETROLEUM CHEMISTRY

Аббасов В.М., Эфендиева Л.М., Черепнова Ю.П., Бабаева Б.А., Эфендиева Н.Х.
Исследование процесса окисления нефтяного гудрона в присутствии катализаторов, синтезированных на основе природных нефтяных кислот
Abbasov V.M., Əfəndiyeva L.M., Çerepnova Y.P., Babayeva B.Ə., Əfəndiyeva N.X.
52 Təbii neft turşularının əsasında sintez edilmiş katalizarotların iştirakı ilə neft qudronunun oksidləşdirilməsi prosesinin tədqiqi
Abbasov V.M., Afandiyeva L.M., Cherepnova Yu.P., Babayeva B.A., Afandiyeva N.H.
Study of the process of oxidation of oil tar in the presence of catalysts synthesized based on natural petroleum acids

İQTİSADİYYAT, İDARƏETMƏ, HÜQUQ
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ, ПРАВО /
ECONOMY, MANAGEMENT AND LAW

57 **Zhao X.M., Rustamov I.Sh.**
Construction and application of supply chain performance evaluation system for petroleum enterprises
Çjao S.M., Rüstəmov İ.Ş.
Neft müəssisələrinin tədarük zəncirinin fealiyyətinin qiymətləndirilməsi sisteminin qurulması və tətbiqi
Чжао С.М., Рустамов И.Ш.
Разработка и применение системы оценки эффективности целей поставок для нефтегазовых предприятий

GƏNC ALİM VƏ MÜTƏXƏSSİSLƏR
МОЛОДЫЕ УЧЕНЫЕ И СПЕЦИАЛИСТЫ /
YOUNG SCIENTISTS AND PROFESSIONALS

64 **Mahmudov A.N.**
Exchange rate policy and currency risk in Azerbaijan – in the context of economic resilience
Mahmudov A.N.
Azərbaycanda məzənnə siyasəti və valyuta riski – İqtisadi dayanıqlıq kontekstində
Махмудов А.Н.
Валютная политика и валютные риски в Азербайджане – в контексте экономической устойчивости

73 **Məmmədov K.S.**
Qeyri-bircins neft layının işlənməsində suyun selektiv təcridi prosesini tənzimləməklə cari neftvermə əmsalının qiymətləndirilməsi
Мамедов К.С.
Оценка текущего коэффициента нефтеотдачи путём регулирования процесса селективной изоляции воды при разработке неоднородного нефтяного пласта
Məmmədov K.S.
Evaluation of the current oil recovery factor by regulating the selective water shut-off process in the development of a heterogeneous reservoir

YUBİLYARI TƏBRİK EDİRİK
ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА /
CONGRATULATIONS TO ANNIVERSARY CELEBRANT

78 Axundov Şahin Xosrov oğlu – 65 il !

79 Azərbaycanın neft-qaz sənayesinə və geologiya elminə həsr olunmuş ömür

Yığılmağa verilib 14.09.2026. Çapa imzalanıb 27.10.2026.
Format 60 x 84 1/8. Tabaşirli kağız.
Ofset çap üsulu. Şərti çap vərəqi 9.3 Hes.-nəş.vərəqi 9.7
Tirajı 500 nüsxə. Sifariş
Qiymət sərbəstdir. Qeydiyyat №-si 256.

Redaksiyanın ünvanı: Bakı, AZ1112,
Həsən bəy Zərdabi prospekti, 88a.
Telefon: +(99412) 521-15-48.
Telefon / faks: +(99412) 433-89-64.
www.ant.socar.az
e-mail: office.aoi@socar.az

"Neftqazelmitədqiqatlayihə" İnstitutu,
Mərkəzləşdirilmiş Mətbəə.
Ünvan: Bakı, AZ1112,
Həsən bəy Zərdabi prospekti, 88a.

EDITORIAL STAFF
"Azerbaijan Oil Industry"

Editor-in-Chief
I.S.Guliyev

Deputy Editors-in-Chief
E.G.Shahbazov
M.N.Shikhiyev

Executive secretary
S.F.Abdulsalamly

Referent
K.T.Safarova

Senior accountant
Sh.N.Mammadova

Economist
M.G.Javadova

Chief of Editorial department
Kh.A.Gadimova

Deputy Chief of Editorial department
A.R.Muradova

Senior science editor
L.A.Shikhiyeva

Senior editor
L.M.Shukurova

Special correspondent
A.G.Ahmadov

Chief of Formatting department
V.V.Shorkin

Formatting department specialists
A.Z.Abdullayev
Z.R.Asgerov
E.A.Seyfullayeva

UOT 550.31.550.8

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-4-10

Geoloji-geofiziki məlumatlar əsasında Orta Kür çökəkliyinin Eosen çöküntülərinin paleocoğrafi və litofasial meyarlara görə neftqazlılığının qiymətləndirilməsi

S.Ə. Ələkbərova, y.e.ü.f.d.[1], E.F. Ələkbərov, y.e.ü.f.d.[2]
[1]Geologiya İnstitutu,
[2]SOCAR

e-mail: 3-seadet@mail.ru

Açar sözlər: Orta Kür, Eosen, litofasial, çöküntü, neftqazlılıq, paleocoğrafiya, litologiya, gil, tuf.

Orta Kür çökəkliyində Eosen çöküntülərinin təhlili vulkan məhsulları, terrigen və çöküntü materiallarının daxil olduğu azalan geokimyəvi mühitə malik dəniz hövzəsində baş verməsini göstərir. Bu da enmə və qalxma zonalarının əmələ gəlməsinə, çöküntü hövzəsində şəraitin dəyişməsinə, həmçinin müxtəlif zaman dövrlərində hövzəyə daxil olan materialların tərkibinin dəyişməsinə gətirib çıxarır.

Paleocoğrafi şərait çöküntülərin litofasial xüsusiyyətləri, hövzə dibinin enib-qalxması ilə, həmçinin quru ilə dənizin sərhəddinin müəyyən olunmasında mühüm rol oynayır. Rayonun neftqazlılığının müəyyən edilməsində neft və qazın toplanmasının əlverişli şəraitinin olub-olmadığını müəyyənləşdirmək üçün ayrı-ayrı lokal strukturların quruluşlarının öyrənilməsində, paleocoğrafi şəraitlə yanaşı paleotektonik şəraitin də rolu böyükdür. Qeyd olunan çöküntülərdə karbohidrogen yataqlarının əmələ gəlməsi üçün əlverişli tektonik və fasial şəraitlər mövcud olmuşdur. Kompleksin kəsilişində Eosen çöküntülərinin terrigen-karbonatlı rezervuarları Böyük Qafqazın cənub-şərq hissəsində yeni neft-qaz yataqlarının axtarışı üçün daha əlverişli şəraitlə xarakterizə olunur. Bu çöküntülərin rezervuarlarında karbohidrogenlərin yataq şəklində toplanması Kür çökəkliyinin bort hissəsində əlverişli geoloji şəraitin mövcud olmasını göstərir.

Оценка нефтегазоносности эоценовых отложений в Среднекунринской впадине согласно палеогеографическим и литофациальным критериям на основе геолого-геофизических данных

С.А. Алекберова, д.ф.н.з.[1], Э.Ф. Алекберов, д.ф.н.з.[2]
[1]Институт геологии,
[2]SOCAR

Ключевые слова: Средняя Кура, эоцен, литофациальный, отложения, нефтегазоносность, палеогеография, литология, глина, туф.

Анализ эоценовых отложений в Среднекуринской впадине указывает на их формирование в условиях морского бассейна с восстановительной геохимической средой, куда поступали продукты вулканизма, терригенные и осадочные материалы. Это привело к образованию зон опускания и поднятия, изменению условий в седиментационном бассейне, а также к вариациям состава материала, поступающего в бассейн в разные периоды времени.

Палеогеографические условия играют важную роль в определении литофациальных характеристик осадков, колебаний дна бассейна, а также в установлении границ между сушей и морем. Наряду с палеогеографической обстановкой, большую роль в изучении строения отдельных локальных структур играет палеотектонический режим, позволяющий определить наличие благоприятных условий для аккумуляции нефти и газа. В указанных отложениях существовали подходящие тектонические и фациальные условия для формирования залежей углеводородов. Терригенно-карбонатные резервуары эоценовых отложений в разрезе комплекса характеризуются более благоприятными условиями для поиска новых месторождений нефти и газа в юго-восточной части Большого Кавказа. Скопление углеводородов в виде залежей в резервуарах этих отложений свидетельствует о наличии благоприятных геологических условий в бортовой части Куринской впадины.

Assessment of the oil and gas potential of Eocene deposits in the Middle Kura Depression based on geological-geophysical data, using paleogeographical and lithofacial criteria

S.A. Alakbarova, PhD in Soil Sc.[1], E.F. Alakbarov, PhD in Soil Sc.[2]
[1]Institute of Geology,
[2]SOCAR

Keywords: Middle Kura, Eocene, lithofacial, sediment, oil and gas potential, paleogeography, lithology, clay, tuff.

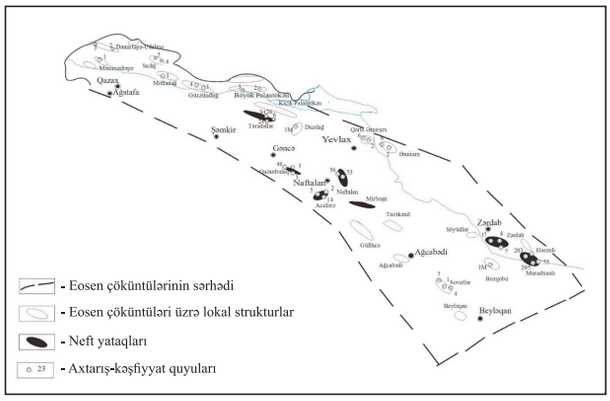
Analysis of the Eocene facies in the Middle Kura Basin shows that it occurred in a marine basin with a decreasing geochemical environment, including volcanic products, terrigenous and sedimentary materials. This leads to the formation of subsidence and uplift zones, changes in conditions in the sedimentary basin, as well as changes in the composition of materials entering the basin at different times.

Paleogeographic conditions play an important role in determining the lithofacies characteristics of sediments, the uplift of the basin bottom, as well as the boundary between land and sea. In determining the oil and gas potential of the region, in studying the structures of individual local structures to determine whether there are favorable conditions for the accumulation of oil and gas, along with paleogeographic conditions, paleotectonic conditions also play a major role. Favorable tectonic and facies conditions existed in the mentioned sediments. The terrigenous-carbonate reservoirs of Eocene sediments in the intersection of the complex are characterized by more favorable conditions for the search for new oil and gas fields in the southeastern part of the Greater Caucasus. The accumulation of hydrocarbons in the reservoirs of these sediments in the form of deposits indicates the presence of favorable geological conditions in the side part of the Kura depression.

Azərbaycanda neft-qaz hasilatı Orta Kür çökəkliyinin Eosen çöküntülərində karbohidrogen ehtiyatlarının artırılması çox aktualdır. Çökəkliyin əsas neftli-qazlı kompleksləri olan Paleogen-Miosen yaşlı süxur komplekslərinin paleostruktur inkişafını, neft-qazın generasiyasının başlanması vaxtının, miqrasiya istiqamətlərinin müəyyən edilməsi, neft-qaz yataqlarının formalaşması və qorunub saxlanılması baxımından böyük əhəmiyyət kəsb edir. Geoloji-geofiziki tədqiqatların və ərazidə qazılmış dərin parametrik və kəşfiyyat quyularının məlumatları Orta Kür çökəkliyinin Eosen çöküntülərinin yataqlarında potensial neft-qaz ehtiyatlarının olduğunu göstərir [1−6].

Çökəkliyin geoloji quruluşu haqqında məlumatlar böyük həcmdə struktur kəşfiyyat, dərin kəşfiyyat qazması, geoloji-geofiziki tədqiqatlar nəticəsində əldə edilmişdir. Orta Kür çökəkliyi böyük qalınlıqlı Paleogen-Miosen yaşlı çöküntülərindən təşkil olunmuş, üstəgəlmə tipli qırılmalarla mürəkkəbləşmişdir. Bu çöküntülər özülləri Mezozoy yaşlı karbonatlı və vulkanogen süxurlardan ibarət olan bəzi sahələrdə Paleogen-Miosen komplekslərinin çöküntüləri perspektivli neftli-qazlı obyektlərə malik olmuşdur. Orta Kür çökəkliyinin Eosen dövründə çöküntütoplanma şəraiti daima əlverişli olmuş və bu stratiqrafik intervalın kəsilişində yaxşı keçiriciliyə malik və davamlı süxur örtüklərinin olması, həmçinin bəzi sahələrdə onlardan sənaye əhəmiyyətli neftin alınması deyilənləri təsdiq edir [2, 3, 5, 6].

Çökəklikdə perspektivli hesab olunan Eosen dövründə Böyük Qafqazın qalxması və Kür çökəkliyinin enməsi nəticəsində terrigen-karbonat süxurlarının böyük qalınlıqda toplanmasına şərait yaranmışdır. Bu proses dağarası hövzənin kontinental-dəniz Molass çöküntülərinin toplanması dövründə baş vermişdir. Dəmirtəpə-Udabno, Məmmədtəpə, Tərsdəllər, Zərdab, Əmirarx, Muradxanlı və s. strukturlarda qazılmış dərin kəşfiyyat quyularının məlumatlarına və geoloji-geofiziki, paleocoğrafi tədqiqatların kompleks öyrənilməsi əsasında çökəkliyin litoloji-fasial əmələgəlmə xüsusiyyətlərinə görə bu çöküntülərin karbonatlı, gilli və vulkanik-çökmə süxurların korrelyasiyası nəticəsində alınan yeni məlumatlara əsasən tədqiqat ərazisinin paleocoğrafi və litofasial meyarlara görə neftqazlılıq perspektivliyini qiymətləndirmək mümkün olmuşdur (şəkil 1).



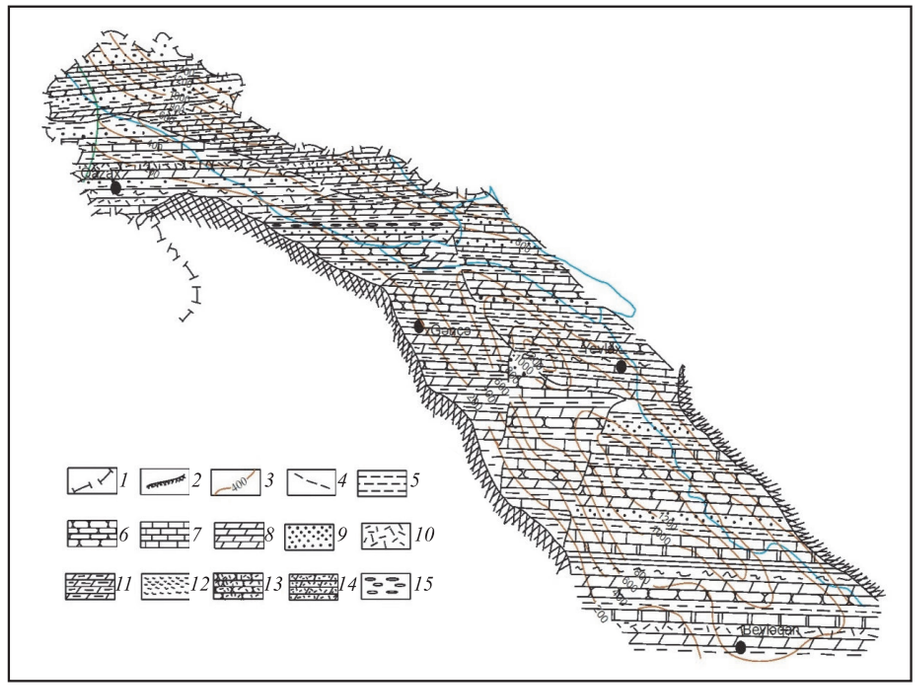
Şəkil 1. Orta Kür çökəkliyi. Strukturların yerləşmə sxemi

Orta Kür çökəkliyinin neftqazlılıq perspektivliyinin qiymətləndirilməsi üçün neftqazlılığın litofasial xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi hövzəni təşkil edən çöküntü örtüyündə toplanmış üzvi

maddələrin karbohidrogenlərə çevrilməsi, onların miqrasiyası və yataq əmələgətirmə şəraitinin müəyyən edilməsinə şərait yaradır. Mövcud materiallara əsasən qeyd etmək olar ki, bu çöküntülərin neftliliyi çökəkliyin Yevlax-Ağcabədi (Muradxanlı, Bozqobu, Zərdab və Cəfərli yataqları), Kür və Qabırrı çaylararası (Tərsdəllər, Məmmədtəpə Gürzündağ və s. yataqları) həmçinin Gəncə neftli-qazlı rayonlarında məlumdur terrigen, terrigen-karbonat və effuziv kollektorlarından çoxsaylı neft-qaz təzahürləri qeyd olunub və onlarda sənaye əhəmiyyətli neft alınmışdır. Bu fakt əsas verir ki, qeyd olunan çöküntülərdə karbohidrogen yataqlarının əmələ gəlməsi üçün əlverişli tektonik, fasial və geoloji-geokimyəvi şəraitlər mövcud olub [1–3, 7].

Çökəkliyin Eosen dövr çöküntülərinin litostratiqrafik xüsusiyyətlərini öyrənmək üçün həm indiyə qədər aparılmış tədqiqat işlərindən, həm qonşu rayonların, həm də quyu məlumatlarından istifadə edilmişdir. Geoloji-geofiziki materialların dərin araşdırılması, Eosen çöküntülərinin struktur-tektonik xüsusiyyətlərinin tədqiqi rayonun geotektonik inkişafı, çöküntütoplanmanın paleocoğrafi və paleotektonik şəraitlərinin öyrənilməsinə imkan vermişdir. Bu dövrdə ərazinin çökməsi nəticəsində çöküntütoplanma prosesi daha intensiv olmuş və dənizin transqressiyası baş vermişdir. Bu da hövzənin paleocoğrafi inkişafında böyük rol oynamış və nəticədə dəniz sahəsinin genişlənməsi, qurunun isə daralması baş vermişdir. Ərazi üzrə qeyd olunan çöküntülərin litofasial və qalınlıqlar xəritəsinin, həmçinin strukturlar üzrə müqayisə sxemlərini əks etdirən qrafiklərin tərtibi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Eosen dövrünün ayrı-ayrı zaman intervallarında çöküntülərin litoloji tərkibi və onların qalınlıqlarının paylanması müəyyən edilmişdir. Tərtib olunmuş qalınlıqlar xəritəsindən göründüyü kimi, qeyd olunan çöküntülər rayonun bütün ərazisində müşahidə olunur. Kəsilişində əsasən vulkanogen-terrigen və karbonatlı süxurlar iştirak edən Eosen çöküntülərinin qalınlığı ərazi boyu dəyişərək 400–1200 m-ə qədər dəyişir (şəkil 2). Rayonun şimal hissəsindən çöküntütoplanma hövzəsinin mərkəzinə, cənub-şərq istiqamətdə Eosenin kəsilişində qumlu-alevritli, karbonatlı-gilli horizontların və qalınlıqlarının artması müşahidə olunur.

Çökəkliyin şimal-qərbində yerləşən Kür və Qabırrı çaylararası neftli-qazlı rayonunun hövzəsində Eosen dövründə çöküntütoplanma şəraiti daima əlverişli olmuşdur. Tərsdəllər, Dəmirtəpə-Udabno, Gürzündağ və Böyük Palantökən sahələrində Orta Eosen kollektorlarından alınmış sənaye əhəmiyyətli neft axınları göstərir ki, bu çöküntülər rayonun digər sahələri də əlverişli şəraitlərdə neftli-qazlı ola bilər [2, 5]. Bu baxımdan çökəkliyin dərində yerləşən yataqlarının neft-qaz potensia-



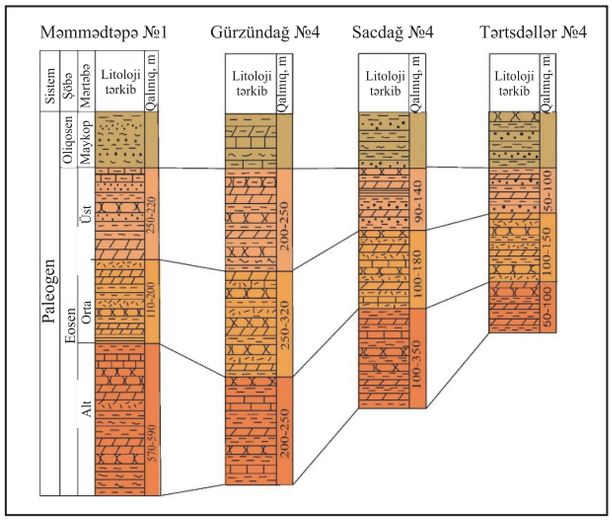
Şəkil 2. Eosen çöküntülərinin litofasial və qalınlıqlar xəritəsi:
1 – dövlət sərhədi; *2* – Eosen çöküntülərinin pazlaşma zonası; *3* – izopaxitlər; *4* – litofasial zonaların sərhədi; *5* – gillər; *6* – qumdaşılar; *7* – əhəngdaşılar; *8* – mergellər; *9* – qumlar; *10* – tuflar; *11* – gilli mergellər; *12* – alevritlər; *13* – tuflu qumdaşılar; *14* – tuflu mergellər; *15* – kobud dənəli süxurlar

lının qiymətləndirilməsi geofiziki materialların analizinin nəticələri və süxur nümunələrinin çöl və laboratoriya tədqiqatlarının məlumatlarının sistemləşdirilib hərtərəfli öyrənilməsi vacibdir.

Kür və Qabırrı çaylararası və Yevlax-Ağcabədi neftli-qazlı rayonlarında Eosen çöküntüləri karbonat, terrigen və çökmə-vulkanogen kollektorları ilə xarakterizə olunur. Əsasən neftqazlılıqla əlaqədar olan karbonat çöküntüləri isə daha geniş yayılmışdır. Çöküntülərin yuyulma sahələrinin alçaq və düzənlik olması rayonun paleocoğrafiyasında və paleotektonik quruluşunda əsaslı dəyişikliklərin baş verməsinə səbəb olmuşdur (bax: şəkil 2).

Eosen dövründə Paleosendən fərqli olaraq, yuyulma sahələrində qalxma, çöküntü hövzələrində isə enmə prosesləri intensivləşdiyindən daha çox çöküntü toplanır. Böyük qalınlığa malik Eosen çöküntüləri litoloji cəhətdən bir-birindən fərqlənən alt, orta və üst hissəyə bölünür.

Erkən Eosenin əvvəlində eroziyanın əsas sahələrində Kiçik Qafqazın qalxması ilə ərazinin ayrı-ayrı bölgələrində qeyri-bərabər çökmə prosesi getmiş və hövzədə baş verən tektonik gərginlik əhəmiyyətli dərəcədə artaraq transqressiyanın inkişafı ilə əlaqədar olaraq, şimal sahə tamamilə su ilə əhatə olunmuşdur. Cənub-şərq istiqamətində Yevlax Ağcabədi çökəkliyinin şimal-qərbində Dəliməmmədli sahəsində də Erkən Eosendə qalınlığı 100–200 m olan gillər toplanır. Burada Alt Eosenin kəsilişində mergellərin gilli süxurlarla əvəz olunması müşahidə olunur. Rayonun cənub-qərbində Qıraq Kəsəmən, Quşquna sahələrində Alt Eosen əsasən qumlu-gilli çöküntülərdən ibarət olub, şimal-şərq istiqamətlərində qumlu süxurların artması ilə müşahidə olunur. Karbonat süxurları Alt və Orta Eosenin gilli-əhəngdaşılı tuflu və qumlu-gilli-karbonatlı çöküntüləri ilə təmsil olunur.



Şəkil 3. Kür və Qabırrı çaylararası neftli-qazlı rayonunun Eosen çöküntülərinin litofasial kəsilişlərinin müqayisəli sxemi (şərti işarələrə bax: şəkil 1)

Alt Eosen çöküntüləri Kür və Qabırrı çaylararasında, Kür çökəkliyinin şimal yamacı istiqamətində ensiz zolaq şəklində uzanan sahədə qalınlığı 500 m-ə çatan kobuddənəli karbonatlı-terrigen çöküntülər müşahidə olunur. Rayonun bir sıra strukturlarında qazılmış quyularda (Məmmədtəpə, Gürzündağ, Sacdağ və Tərsdəllər sahələrində) tam kəsilişi ilə açılmış və əsasən karbonatlı gillərin iştirakı ilə təmsil olunan üst hissə isə qumdaşı və mergellərin növbələşməsindən ibarətdir (şəkil 3).

Ümumiyyətlə, Kür və Qabırrı çaylararası rayonda Alt Eosen çöküntülərinin qalınlığı dəyişərək 50–590 m arasında geniş intervalda dəyişir. Çöküntülərin qalınlığı zonanın qərb hissəsində 100–210 m olduğu halda, şərqə doğru 100–250 m arasında dəyişir. Məmmədtəpə sahəsində Alt Eosen karbonatlı gillərdən, qumdaşı və alevritlərin növbələşməsindən ibarətdir. Kəsilişin alt hissəsi 200 m qalınlığa malik olub, yaşılımtıl boz, karbonatlı və tuflu-qumdaşı layların mergel dəstəsi ilə xarakterizə olunur. Tərsdəllər sahəsində Alt Eosen çöküntüləri bir sıra quyularda litoloji tərkibcə əsasən karbonatlı gillərdən ibarət olub, üst hissədə qumdaşı və mergellərdən təşkil olunmuş və tam kəsilişi ilə açılmışdır. Sahə üzrə cənub-şərqdə çöküntülərin qalınlığı 50–100 m qədər tədricən azalır Tərsdəllər qalxımı rayonunda onların pazlaşması müşahidə olunur. Bu da Şəmkir qalxımı zonasında olan qalxma ilə əlaqədardır. Tərsdəllər sahəsində çöküntülərin litoloji tərkibi şərq-cənub-şərq istiqamətdə terrigen-karbonat litofasiya ilə əvəz olunur.

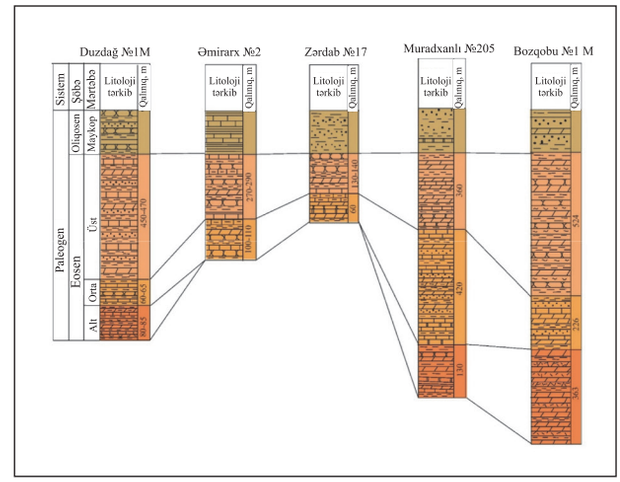
Burada ayrı-ayrı sahələr üzrə Alt Eosen çöküntülərinin litofasial xüsusiyyətlərinin müqayisəsi göstərir ki, bu zonaların eyniyaşlı çöküntülərinin kəsilişləri oxşardır. Tbilisiyanı bölgədə çöküntülərin qalınlığı 1200 m-ə qədər olub, aralarında əhəngli qumdaşı, tuflar, terrigen-karbonatlı litofasiyadan ibarətdir [1, 3, 6]. Bu isə onu deməyə əsas verir ki, Kür və Qabırrı çaylararası rayonunun şimal zonasının bütün ərazisində Alt Eosen çöküntüləri qonşu Şərqi Gürcüstanda olduğu kimi terrigen-karbonat litofasiyadan ibarət olacaq və çöküntülərin qalınlığı şimal istiqamətdə 800–1100 m-ə qədər olub, çöküntütoplanma hövzəsinin müxtəlif sahələrində çökmə prosesinin intensivliyinin müxtəlif olduğunu göstərir (Alaçıq, Yaylacıq, Armudlu, Eldaroyuğu və s.).

Orta Kür çökəkliyinin cənub-şərqində yerləşən

Yevlax-Ağcabədi hövzəsində geniş yayılmış və Alt və Üst Eosen çöküntülərinin kəsilişində neftli-qazlı qumlu-alevritli və qumlu-mergelli, Orta Eosen isə terrigen karbonat (tuflu qumdaşıları, mergellər və əhəngdaşıları) çöküntüləri ilə əlaqədardır. Qeyd olunan sahələrdə qazılmış quyuların bəzilərində müxtəlif debitli (0.5–1 t-dan 6 t-a qədər) neft alınmışdır [1, 2, 6]. Bu fakt oxşar geoloji şəraitdə yerləşən Duzdağ və Bozyeri qalxımlarında Orta Eosenin perspektivliyini müsbət qiymətləndirməyə əsas verir.

Orta Eosen çöküntüləri çökəkliyin şimal-qərb hissəsində 300–350 m-ə qədər qalınlığa malikdir və tərkibcə tuflu karbonat süxurların, gillərin və qumdaşıların növbələşməsindən ibarətdir. Gürzündağ, Keyrük-Keylan, Tərsdəllər strukturlarının Orta Eosen kəsilişlərində tuf və tuffitlər geniş şəkildə təmsil olunur. Bu çöküntülərin litofasial dəyişikliyə malik olması Kür və Qabırrı çaylararası rayonunun şimal-şərqindən Qabırrı və Alazan çayları arasındakı ən dərin hissəsindən karbohidrogenlərin toplanma zonalarına doğru miqrasiyası üçün əlverişli geoloji şəraitin olmasını göstərir. Orta Eosen çöküntüləri Məmmədtəpə sahəsində vulkanogen-çökmə fasiyada təsvir olunur. Çöküntülərin qalınlığı zonanın qərb hissəsində (Dəmirtəpə-Udabno, Məmmədtəpə) 200 m-ə qədər təşkil edərək, cənub-şərqə doğru Keyrük-Keylan, Tərsdəllər sahələrində 100–150 m-ə qədər azalır. Tərsdəllər sahəsinin cənub-şərq hissəsində 250–300 m qalınlığa malikdir.

Çökəkliyin Orta Eosen çöküntülərini Dəliməmmədli, Borsunlu, Qazanbulaq və Tərtər sahələrində mergel və mergelüstü lay dəstəsini açan quyularda müxtəlif intensivlikdə neft-qaz təzahürləri qeyd olunmuşdur. Bunu nəzərə alaraq, oxşar geoloji şəraitdə yerləşən Duzdağ və Bozyeri qalxımlarında Orta Eosen kollektorları müsbət qiymətləndirilə bilər. Üst Eosenin dabanında yer alan mergelüstü (qumlu-alevritli-mergelli) dəstə ilə əlaqəli neft yatağı qalxımın cənub-şərq hissəsində aşkar edilmişdir. Zərdab sahəsində sözü gedən stratiqrafik intervaldan sənaye əhəmiyyətli neft alınmışdır. Əmirarx sahəsində 2 №-li quyuda Orta Eosenin 5000–5100 m dərinlik intervalında yerləşən mergelüstü dəstənin çatlı mergelli süxurlarından sınaq prosesində 20 t/gün debitli neft alınmışdır [5, 6]. Qeyd olunanlar şimal-şərq bortun mərkəzi hissəsində yerləşən Muradxanlı-Zərdab-Əmirarx qalxımlar zonalarının cənub-qərb qanadı boyu Orta və Üst Eosen çöküntülərinin neft-qaz perspektivliyi baxımından müəyyən dərəcədə maraqlı olmasını sübut edir. Onu da qeyd edək ki, Eosen çöküntüləri ilə əlaqədar neft-qaz yataqlarının axtarış perspektivliyi Duzdağ-Şirvanlı-Sovetlər zonasında da yüksək qiymətləndirilir. Müqayisə sxemindən göründüyü kimi, Yevlax-Ağcabədi çökəkliyində Eosen çöküntüləri Orta və Üst dövrlərdə terrigen, mergelli gillərin, əhəngdaşı və qumdaşı süxurlarının növbələşməsi ilə təsvir olunmuşdur (şəkil 4).



Şəkil 4. Yevlax-Ağcabədi neftli-qazlı rayonunun Eosen çöküntülərinin litofasial kəsilişlərinin müqayisəli sxemi (şərti işarələr şəkil 1-də verilmişdir)

Üst Eosen dövründə Kür çökəkliyinin şimal hissəsində baş verən yuyulma Orta Eosenə nisbətən qalxma hərəkətlərinin intensivliyinin artması ilə müşahidə olunur. Reqressiya zamanı Son Eosenin qumlu-alevritli süxurların tərkibi qismən dəyişmişdir ki, bu da Erkən Eosendən aktiv tektonik hərəkətlərin irsi olması və Kiçik Qafqazın dağılmış relyefi ilə əlaqədardır. Kür çökəkliyində ikinci neftli-qazlı hövzənin ərazisi, Qərbi Azərbaycan və qismən də, Şərqi Gürcüstan ərazisinə aid edilən Qabırrı-Acınohur depressiyasına uyğun gəlir [8]. Kristallik bünövrə üzrə aydın seçilən və ümumiqafqaz istiqamətində uzanan hövzənin dərin hissəsi olan Qabırrı və Alazan çayları arasındakı zonada qeyd olunur.

Üst Eosen dövrünün əvvəllərində toplanan qumlu-alevritli dəstə ilə əlaqədar kiçik ehtiyatlı neft yığımları Qazanbulaq, Dəliməmmədli və Gödəkboz sahələri ilə əlaqədardır. Qeyd olunan yataqlarda neft kollektorları az qalınlıqlı qumdaşı, çatlı mergel və gil təbəqəciklərindən ibarətdir. Ümumiyyətlə, Eosen çöküntülərində neft-qaz axtarışında əhəmiyyətli nəticə hövzənin şimal-şərq bortunda əldə edilmişdir.

Rayonun cənub-şərq hissəsində yerləşən Muradxanlı sahəsində Orta və Üst Eosen, Cəfərlidə isə Orta Eosen çöküntülərində sənaye əhəmiy-

yətli neft yataqları alınmışdır. Neft kollektorları mürəkkəb həcmli çatlı-məsaməli qumdaşı, mergel və tuflu-qumdaşı laylarından ibarətdir. Rayonun şimal-şərqində yerləşən Muradxanlı-Zərdab-Əmirarx qalxımlar zonalarının cənub-qərb istiqamətində Orta Eosen çöküntülərinin neftli-qazlı olduğu müəyyən edilmişdir [5, 6]. Eosen çöküntülərinin litofasial xüsusiyyətləri və qalınlıqlarının təhlili göstərir ki, cənub-qərb hissədə Orta Eosen çöküntüləri qalınlığı kəskin azalmış, zəif çatlılıq və neftqazlılıqla fərqlənirlər [1–3, 7]. Neftqazlılığın litofasial xüsusiyyətlərinin analizi hövzənin cənub-qərb bortunda Eosen çöküntüləri ilə əlaqədar neft-qaz yataqlarının axtarış perspektivliyi Duzdağ, Şirvanlı, Sovetlər zonasında yüksək qiymətləndirilir.

Kür və Qabırrı çaylararası rayonunda Üst Eosenin üst hissəsi əsasən gillərdən ibarət olub, ayrı-ayrı sahələrin kəsilişlərində mergel və qumdaşı layları iştirak edir. Tədqiq olunan rayonda Üst Eosen çöküntüləri gilli litofasiyaya malik olub, mergellər, qumdaşıları və tufogen süxurların növbələşməsindən ibarətdir və qalınlığı 200–400 m arasında dəyişir. Bu çöküntülər rayonun cənub-qərb sahəsində qumlu-gilli litofasiyada, şimal-şərqində isə əsasən terrigen-karbonat süxurların iştirakı ilə təmsil olunur. Kəsilişin aşağı hissəsi cənub-qərbdə Tovuz, Qazax, Qıraq Kəsəmən və şimal-qərbdə Dəmirtəpə-Udabno, Sacdağ, Molladağ sahələrində qumlu-gilli litofasiya və qalınlığın 200–250 m, cənub-şərq istiqamətinə doğru azalır və 150–200 m təşkil edir (bax: şəkil 3). Burada Eosen çöküntülərinin əmələ gəlməsi üçün paleocoğrafi şəraitin daha ətraflı öyrənilməsi geoloji və geofiziki tədqiqat işlərinin birlikdə aparılması ilə sıx əlaqədardır. Kür və Qabırrı çaylararası bölgədə Üst Eosen çöküntüləri əsasən gilli litofasiyada yayılmış və bu süxurlar səpələnmiş üzvi maddələr və karbonlaşmış bitki materialı ilə nəzərəçarpacaq dərəcədə artır. Ərazinin cənub hissəsi gilli litofasiya ilə, şimal hissəsi isə terrigen-karbonat litofasial xüsusiyyətlə fərqlənir. Üst Eosenin qalınlığı şimal-şərqdən cənubi-qərb hissəsi istiqamətində 200–400 m təşkil edir.

Üst Eosendə, transqressiyanın inkişafı ilə əlaqədar olaraq, güman etmək olar ki, şimal hissə tamamilə su altında qalıb və Şəmkir ərazisinin kiçik bir sahəsi açıq qalmışdır. Kür çökəkliyinin şimal hissəsində Üst Eosen hövzəsi öz sərhədlərini xeyli genişləndirmişdir və qumlu-alevral süxurlarla xarakterizə olunur. Üst Eosen çöküntüləri Kür və Qabırrı çayları arasında geniş yayılmış və kəsilişinin aşağı hissəsi qumlu-mergel-gilli fasiya ilə təmsil olunur, yuxarıda nazik qumdaşı təbəqələri ilə gil və argillitlərin növbələşməsinə çevrilir, yuxarıda nazik qumdaşı layları ilə gil və argillitlərin növbələşməsinə, daha nadir hallarda isə tuflu qumdaşı və tuflu alevrolitlərə çevrilir.

Orta Kür çökəkliyi ərazisinin neft-qaz perspektivliyi, əsasən böyük qalınlığa və kəsilişində yaxşı neftgaztörədici lay dəstələri və neftqaztoplanma zonaları, həmçinin karbohidrogen potensialına malik Paleogen-Miosen çöküntülərilə əlaqələndirilən neftli-qazlı rayonların bir sıra sahələində onların kollektorlarında müşahidə olunmuş intensiv neft-qaz təzahürləri və qazılmış quyulardan alınmış sənaye əhəmiyyətli axınlar bu çöküntülərin perspektivli olmasını deməyə əsas verir. Eosen dövründə Böyük Qafqazın Mezozoy çöküntülərinin yer səthinə çıxması baş verməsi Kür çökəkliyində Kaynozoy yaşlı süxurların kifayət qədər qalınlıqla toplanmasına şərait yaratmışdır. Neft və qaz layları çökəkliyin şimal-şərqində əlverişli geoloji şəraitə malik, litoloji cəhətdən əsasən Orta Eosenin çöküntü-vulkanik süxurları ilə əlaqədardır ki, bu da kəşfiyyat qazması və kəşfiyyat geofizikasının əsas həcmi Yevlax-Ağcabədi çökəkliyi daxilində genişlənməsinə əsaslanmışdır. Orta Kür çökəkliyində Mezozoy çöküntülərinin böyük dərinliklərdə yatması, terrigen süxurların kifayət qədər olması və bu süxurlarda üzvi maddələrin kifayət qədər toplanması, cənuba doğru miqrasiya edən karbohidrogenlərin generasiyası üçün əlverişli şərait yaratmışdır.

Eosenin kəsilişini təşkil edən vulkanogen-çökmə süxurlarından psammitli-tuflar və tuffitlər, həmçinin nisbətən yaxşı rezervuar xüsusiyyətlərinə malik çatlı mergel və tuflar perspektivli hesab olunur. Neft-qaz potensialının litofasial və paleocoğrafi meyarlarının təhlilinin nəticələri göstərir ki, çökəkliyin mərkəzi zonası Eosen dövründə sabit və uzunmüddətli çökməsinə və tərkibində üzvi maddələr olan karbonat və gil birləşmələrinin intensiv toplanması nəticəsində karbohidrogenlərin toplanmasına şərait yaratmışdır. Aparılan tədqiqatların nəticələri Orta Kür çökəkliyinin dərin qatlarında karbohidrogenlərin toplanması perspektivlərinin qiymətləndirilməsində neftqazlılığın qiymətləndirilmə meyarlarından biri kimi, həmçinin tədqiqat ərazisinin öyrənilməsində kompleks yanaşmada axtarış-kəşfiyyat işlərinin səmərəliyinin artırılmasında istifadə oluna bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *Salmanov Ə.M., Süleymanov Ə.M., Məhərrəmov B.İ.* Azərbaycanın neftli-qazlı rayonlarının paleogeologiyası // "Mars Print", 2015, s. 472.

2. *Рахманов Р.Р., Хеиров М.Б., Аббасов А.К., Ахундов М.И.* Перспективы нефтегазоносности мезокайнозойских отложений Междуречья Куры и Габырры // "Нурлан", 2001, с. 218

3. *Hüseynov B.B., Salmanov Ə.M., Məhərrəmov B.İ.* Azərbaycanın quru ərazisində neft-qaz-geoloji rayonlaşdırma // "Mars Print", 2019, s. 312.

4. *Salmanov Ə.M., Məhərrəmov B.İ., Abbasov Q.A.* Kür və Qabırrı çaylararası neftli-qazlı rayonunda Eosen çöküntülərinin litofasial xüsusiyyətləri və kollektorluq xassələri // Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2017, № 11, s. 12-19.

5. *Süleymanov Ə.M., Zeynalov R.L., Məhərrəmov B.İ.* Yevlax-Ağcabədi çökəkliyinin Paleogen-Alt Miosen çöküntülərinin neft-qazlılıq perspektivliyinin geoloji əsaslandırılması // Azərbaycan geoloqu, 2006, № 11, s. 26-36.

6. *Рахманов Р.Р.* Закономерности формирования и размещения залежей нефти и газа в мезокайнозойских отложениях Евлах-Агджабединского прогиба. – Баку: "Текнур", 2007, с. 192.

7. *Yusifov X.M., Aslanov B.S.* Azərbaycanın neftli-qazlı hövzələri. – Bakı: "Mars Print", 2018, s. 324.

8. *Алекперова С.А.* Некоторые геологические особенности южных предгорий Большого Кавказа // Сборник IX Международной конференции "Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии", 2024, с. 114-121.

References

1. *Salmanov A.M., Suleymanov A.M., Maharramov B.I.* Azerbaijanin neftli-gazli rayonlarinin paleogeologiyasi // "Mars Print", 2015, s. 472

2. *Rakhmanov R.R., Kheirov M.B., Abbasov A.K., Akhundov M.I.* Perspektivy neftegazonosnosti mezokainozoiskikh otlozhenii Mezhdurechya Kury i Gabyrry // "Nurlan", 2001, s. 218

3. *Huseynov B.B., Salmanov A.M., Maharramov B.I.* Azerbaijanin quru arazisinda neft-qaz-geoloji rayonlashdirma // "Mars Print", 2019, s. 312

4. *Salmanov A.M., Maharramov B.I., Abbasov G.A.* Kur ve Qabirry chaylararasi neftli-gazli rayonunda Eosen chokuntulerinin litofasial khususiyyetleri ve kollektorluq khasseleri // Azerbaijan neft teserrufaty, 2017, No. 11, s. 12-19.

5. *Suleymanov A.M., R Zeynalov.L., Maharramov B.I.* Yevlax-Agdjabadi chokakliyinin Paleogen-Alt Miosen chokuntulerinin neft-gazliliq perspektivliyinin geoloji asaslandirilmasi // Azerbaijan geologu, 2006, No. 11, s. 26-36.

6. *Rakhmanov R.R.* Zakonomernosti formirovaniya i razmeshcheniya zalezhei nefti i gaza v mezokainozoiskikh otlozheniyakh Yevlakh-Agdzhabedinskogo progiba. – Baku: "Teknur", 2007, s. 192.

7. *Yusifov Kh.M., Aslanov B.S.* Azerbaijanin neftli-gazli hovzalari. – Baki: "Mars Print", 2018, s. 324.

8. *Alekperova S.A.* Nekotorye geologicheskie osobennosti yuzhnykh predgorii Bol'shogo Kavkaza // Sbornik IX Mezhdunarodnoy konferentsii "Opasnye prirodnye i tekhnogennye protsessy v gornykh regionakh: modeli, sistemy, tekhnologii", 2024, s. 114-121.

UOT 550.834.04

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-11-16

Mezokaynozoy çöküntü kompleksinin struktur-tektonik xüsusiyyətlərinin təhlili (Gəncə monoklinalı timsalında)

R.M. Hüseynov, E.F. Xəlilov, G.N. Mirzəyeva
"Neftqazelmitədqiqatlayihə" İnstitutu

e-mail: elvin.f.khalilov@socar.az

Açar sözlər: struktur-tektonik xüsusiyyətlər, geoloji profil, qırılma, antiklinal, sinklinal, monoklinal, Eosen, Tabaşir, Maykop.

Məqalədə Gəncə monoklinalında Mezokaynozoy çöküntü kompleksinin struktur-tektonik xüsusiyyətləri təhlil edilmiş və müəyyən nəticələrə gəlinmişdir. Geofiziki tədqiqat və qazma məlumatlarına əsasən müəyyən olunub ki, bölgənin Tabaşir və Eosen çöküntülərinə görə tektonik quruluşu stratiqrafik cəhətcə yuxarıda yatan Maykop çöküntülərinin struktur quruluşundan fərqlənir. Bu struktur uyğunsuzluğu daha müfəssəl şəkildə öyrənmək üçün Tabaşir, Eosen, Maykop çöküntüləri üzrə struktur xəritələr və çöküntü qatlarının geoloji quruluşunu təsvir edən profillər tərtib edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, ayrılmış lokal qalxımlar üst stratiqrafik vahidlərə getdikcə hemiformaya malik olur. Bu hal qırılmalarda da özünü göstərir. Belə ki, qırılmaların amplitudları üst stratiqrafik vahidlərə getdikcə azalaraq sönür.

Структурно-тектонический анализ мезо-кайнозойского осадочного комплекса (на примере Гянджинской моноклинали)

Р.М. Гусейнов, Э.Ф. Халилов, Г.Н. Мирзаева
НИПИнефтегаз

Ключевые слова: структурно-тектонические особенности, геологический профиль, разлом, антиклиналь, синклиналь, эоцен, мел, майкоп.

На основе анализа структурно-тектонических особенностей Мезокайнозойского осадочного комплекса Гянджинской моноклинали, в статье можно сделать ряд выводов. По данным геофизических исследований и пробуренных скважин установлено, что тектоническое строение меловых и эоценовых отложений отличается от майкопских отложений. Для более детального изучения этого отличия были составлены структурные карты и профили, описывающие геологическое строение осадочных слоев меловых, эоценовых и майкопских отложений.

Установлено, что вверх по разрезу отдельные локальные поднятия изменяют свое строение и становятся полуформными. Эта тенденция также наблюдается в разломах. По мере приближения к верхним стратиграфическим единицам, амплитуды разломов постепенно уменьшаются и затухают.

Analysis of structural and tectonic features of the meso-cenozoic sedimentary complex (case study of the Ganja monocline)

R.M. Huseynov, E.F. Khalilov, G.N. Mirzayeva
"Oil-Gas Scientific Research Project" Institute

Keywords: structural tectonic features, geological profile, fault, anticline, syncline, monoclinal, Eocene, Cretaceous, Maykop.

Based on analysis of the structural and tectonic features of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary complex of the Ganja monocline, several conclusions can be drawn in this article. Geophysical surveys and drilled wells revealed that the tectonic structure of the Cretaceous and Eocene deposits differs from that of the Maikop deposits. To study this difference in more detail, structural maps and cross-sections were created describing the geological structure of the sedimentary layers of the Cretaceous, Eocene, and Maikop deposits. It has been established that, upwards in the section, individual local uplifts change their structure and become hemiformed. This trend is also observed in faults. As they approach the upper stratigraphic units, the fault amplitudes gradually decrease and fade away.

Gəncə monoklinalı Orta Kür çökəkliyinin cənub-şərq hissəsində Kiçik Qafqazqarşısı zonada yerləşir. Monoklinal qərb – cənub-qərb hissədən Kiçik Qafqazqarşısı dərinlik qırılması, şərq – şimal-şərq hissədən Şirvanlı-Beyləqan qırılması, cənub-şərq hissədən Aşağı Araz dərinlik qırılması və şimal-qərbdən Gəncəçay-Qanıx qırılması ilə sərhədlənir (şəkil 1) [1]. Geoloji kəsilişində iştirak edən Mezozoy kompleksi (Yura və Tabaşir çöküntüləri) böyük qalınlığa malik Paleogen-Dördüncü Dövr çöküntüləri ilə örtülmüşdür. Gəncə monoklinalı geoloji quruluşuna görə ən mürəkkəb tektonik xüsusiyyətlərə malik sahələrdəndir. Geoloji quruluşun mürəkkəbliyi əsasən Mezozoy (Tabaşir) və nisbətən də Paleogen çöküntülərinə görə qeyd olunur ki, bu da Kiçik Qafqazın bu dövrlərdəki fəaliyyəti ilə əlaqədardır [2].

Monoklinalın geoloji quruluşunda üç qalxımlar zonası ayrılır: Ağdam-Güllücə-Beyləqan, Şirvanlı-Sovetlər, Gödəkboz-Naftalan. İlk iki qalxım zonasında yerləşən lokal antiklinal qalxımlar Qafqaz istiqamətli uzanmaya malikdir və cənub-şərq istiqamətində Araz çayına qədər, şimal-qərbə doğru isə Şəmkir paleoqalxımına çatdıqda onların inkişafı məhdudlaşır. Gödəkboz-Naftalan qalxımlar zonasındakı lokal qalxımlar isə submeridional istiqamətli uzanmaya malikdir [3].

Qalxım zonaları bir sıra eninə və uzununa istiqamətli tektonik qırılmalarla mürəkkəbləşməyə məruz qalmışdır.

Sahənin struktur-tektonik xüsusiyyətləri

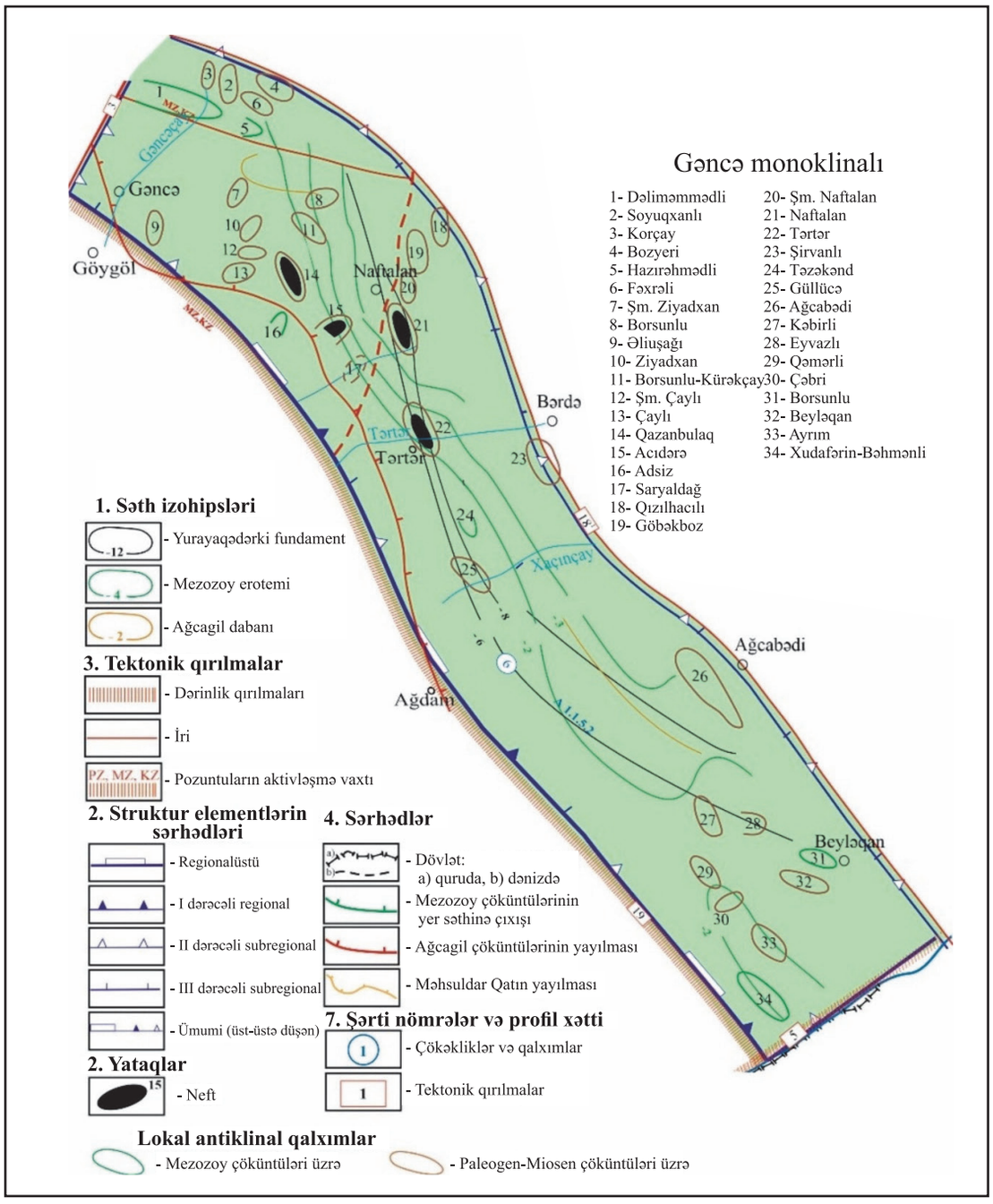
Tədqiq olunan ərazinin struktur-tektonik quruluşunu aydınlaşdırmaq üçün burada aparılan geoloji və geofiziki tədqiqatların materialları və eləcə də qazılmış dərin axtarış-kəşfiyyat quyularının məlumatları geniş təhlil olunmuşdur. Bu təhlilin nəticələri əsasında Təbaşir və Kaynozoy çöküntülərinin ayrı-ayrı stratiqrafik vahidlərinin regional struktur xəritələri və geoloji profilləri tərtib edilmişdir. Qurulmuş xəritələr aparılmış seysmik kəşfiyyat işlərinin məlumatları ilə yenilənmişdir [4, 5]. Bu məlumatlar ərazinin kəsilişində qeyd olunan çöküntülərin struktur-tektonik xüsusiyyətlərinin mürəkkəbliyini əyani surətdə göstərir.

Gəncə monoklinalının struktur-tektonik xüsusiyyətlərini Tabaşirin səthinə görə qurulmuş struktur xəritəyə əsasən izah edərkən, qeyd etmək lazımdır ki, sahədə iki paralel qalxımlar zonası müşahidə edilir. Bu zonalar bir-birindən çox da dərin olmayan ensiz və uzun (30 km-dən artıq), şimal-qərb cənub-şərq istiqamətli sinklinalla ayrılır. Sinklinalın cənub-şərq sərhədi Beyləqan və Sovetlər qalxımları arasında, şimal-qərb sərhədi isə Tərtər və Şirvanlı qalxımları arasında yerləşir. Şimal-qərbə doğru getdikcə Hindarx-Ləmbəran sahələri yerləşən ərazidə sinklinalın eni artır, Tərtər və Şirvanlı qalxımları arasında isə yenidən eninin kiçilərək 8–9 km-dən 3 km-ə qədər azalması müşahidə edilir. Dərinlik isə Mezozoyun səthi üzrə qurulmuş struktur xəritəyə əsasən şimal-qərb hissədə 5000–5500 m-ə çatır.

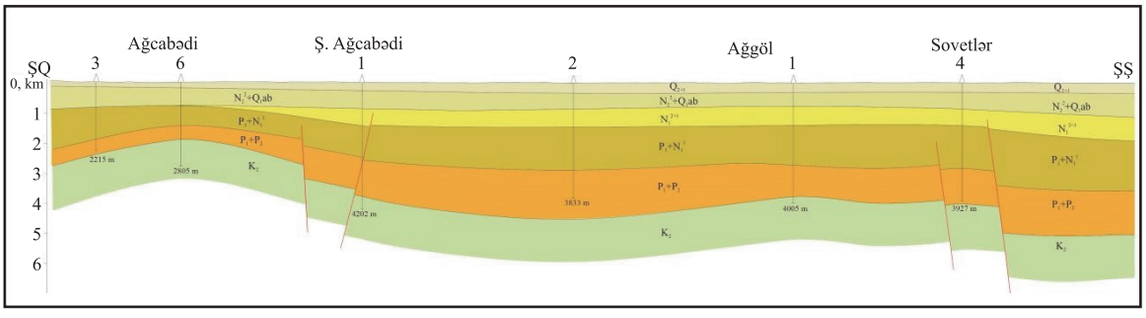
Yuxarıda qeyd edilənlərdən əlavə monoklinalın cənub-şərq hissəsində Kəbirli-Ağcabədi-Beyləqan və Ağgöl-Sovetlər-Şirinqum qalxımlar qrupu yerləşir. Bu qalxımlar qrupu bir-birindən müxtəlif istiqamətli qırılmalarla ayrılmışdır. Ağcabədi-Beyləqan qalxımlar qrupu isə amplitudu 1000 m-ə çatan qırılma ilə mürəkkəbləşmişdir. Ağcabədi-Ağgöl-Sovetlər istiqamətində qurulmuş profilə əsasən deyə bilərik ki, seysmik məlumatlara əsaslanaraq müəyyən edilmiş Şərqi Ağcabədi sahəsindən keçən əks fay tipli qırılma profildə öz əksini tapmışdır. Eyni zamanda bu qırılma Şərqi Ağcabədi sahəsində qazılmış 1 №-li quyu ilə də öz təsdiqini tapmışdır (şəkil 2).

Tərtib edilmiş xəritələrə əsasən deyə bilərik ki, Tabaşir və Eosen çöküntülərinin struktur quruluşu Maykop çöküntülərinin struktur quruluşuna nisbətən fərqlənir. Bu fərqlilik xüsusilə yuxarıda qeyd edilən qalxım zonalarında daha çox nəzərə çarpır. Bu fərq ondan ibarətdir ki, Ağdam-Güllücə-Beyləqan qalxımlar zonasında Tabaşir və Eosen üzrə ayrılmış lokal qalxımlar Maykop çöküntülərinin səthinə görə qurulmuş xəritədə izlənilmir. Yalnız kiçik ölçülü Qəmərli və Kəbirli qalxımları istisna təşkil edir. Şirvanlı-Sovetlər qalxımlar zonasında isə Tabaşir və Eosen çöküntüləri üzrə ayrılmış antiklinal quruluşa malik olan qalxımlardan yalnız Şirvanlı və Ağcabədi strukturları Maykopun səthi üzrə öz antiklinal quruluşunu saxlayır [4].

Tədqiqat sahəsi olan Gəncə monoklinalı uzununa istiqamətdə paralel keçən bir neçə dərinlik qırılması ilə mürəkkəbləşmişdir. Tabaşir çöküntülərinin səthinə görə struktur xəritədə təsvir edilmiş 1 №-li dərinlik qırılması Ağdam-Güllücə-Beyləqan qalxım zonasından keçir və monoklinalın cənub-şərqində yerləşən Qəmərli sahəsində şaxələnərək, iki istiqamətdə ayrılır. 2 №-li qırılma Şirvanlı-Sovetlər qalxımlar zonasında yerləşən Ağcabədi və Şirvanlı strukturlarının tağyanı hissəsindən keçərək onların quruluşunu mürəkkəbləşdirərək, Beyləqan və Sovetlər qalxımları arasından keçib cənub-şərqə doğru davam edir. Burada qırılma nəticəsində qalxımların cənub-qərb qanadları şimal-şərq qanadlarına nisbətən xeyli qalxıb. Nə-

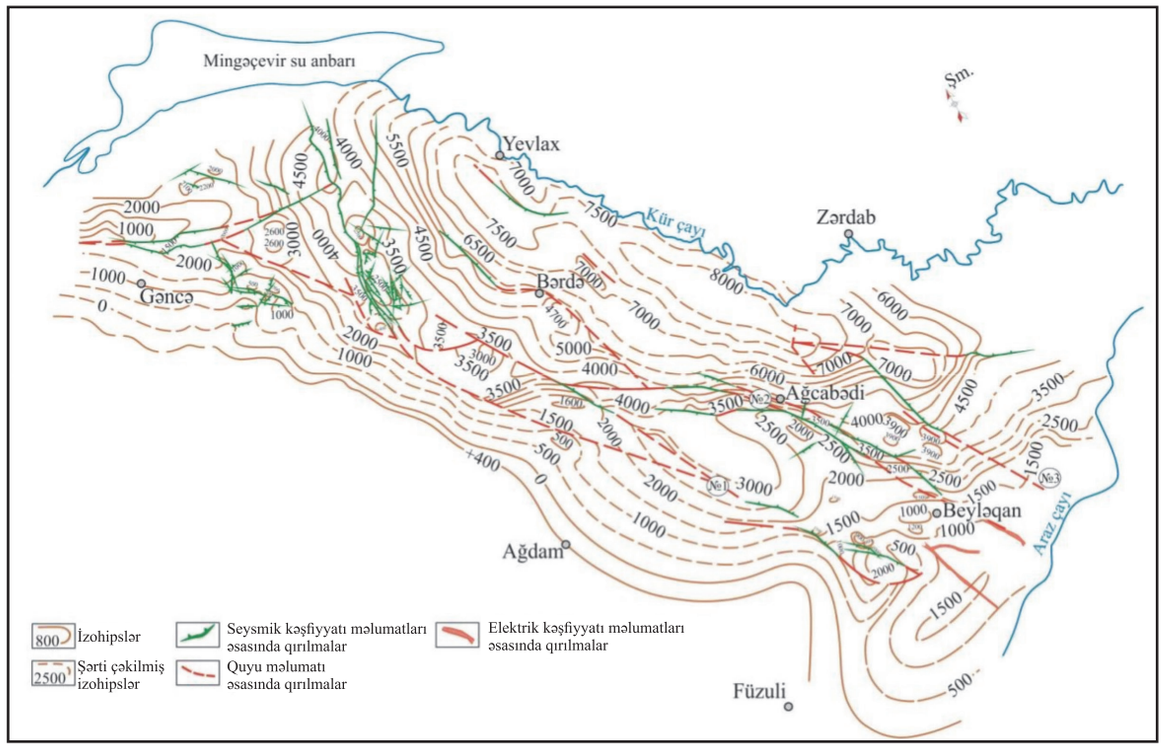


Şəkil 1. Gəncə monoklinalında strukturların yerləşmə sxemi

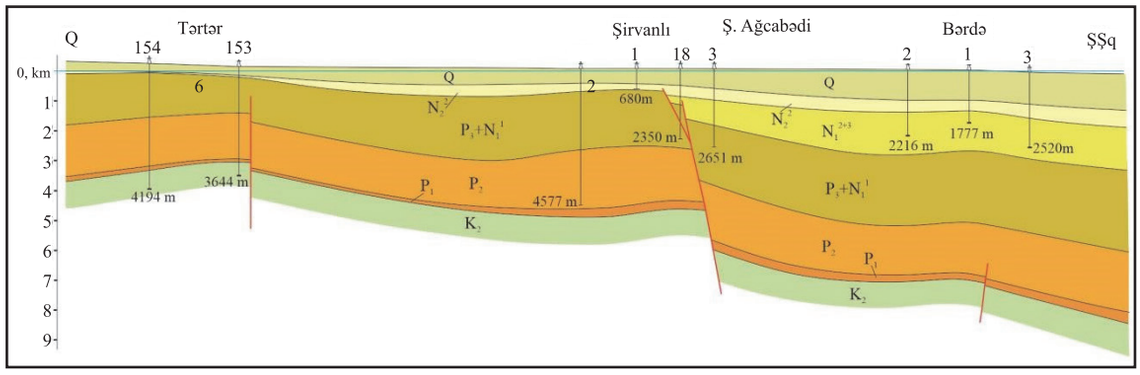


Şəkil 2. Ağcabədi-Ağgöl-Sovetlər istiqamətində geoloji profil

ticədə strukturların qalxmış qanadındakı çöküntülər Ağcagilqarşısı yuyulmaya daha çox məruz qalmışdır [6]. Bu qırılma Maykopun çöküntülərində kiçik amplitudla xarakterizə olunur. 2 №-li qırılmadan şimal-şərqdə yerləşən 3 №-li qırılma isə Sovetlər antiklinalının uzununa istiqamətində



Şəkil 3. Gəncə monoklinalı. Tabaşir çöküntülərinin səthinə görə struktur xəritə



Şəkil 4. Tərtər-Şirvanlı-Bərdə istiqamətində geoloji profil

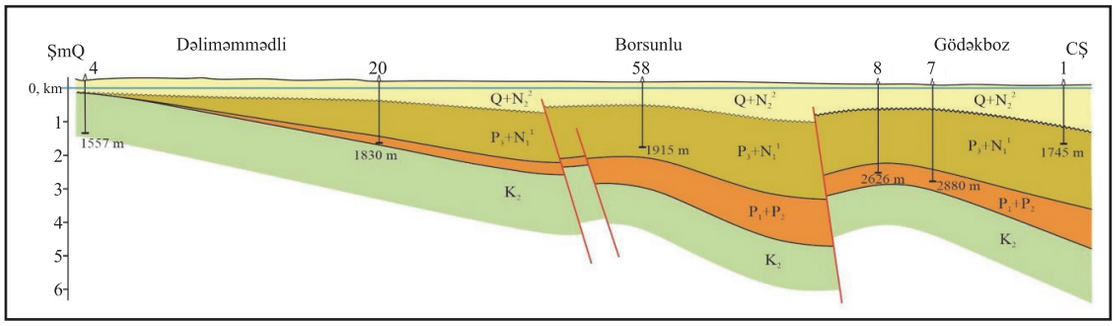
keçir. Bu qırılmaların hamısı demək olar ki, cənub-şərqdə Aşağı Araz dərinlik qırılmasına birləşir (şəkil 3).

Yuxarıda qeyd olunmuş iki regional qalxımlar zonasının üzərində yerləşən ayrı-ayrı qalxımların quruluşu, tərtib edilmiş struktur xəritələrdə öz əksini tapmışdır.

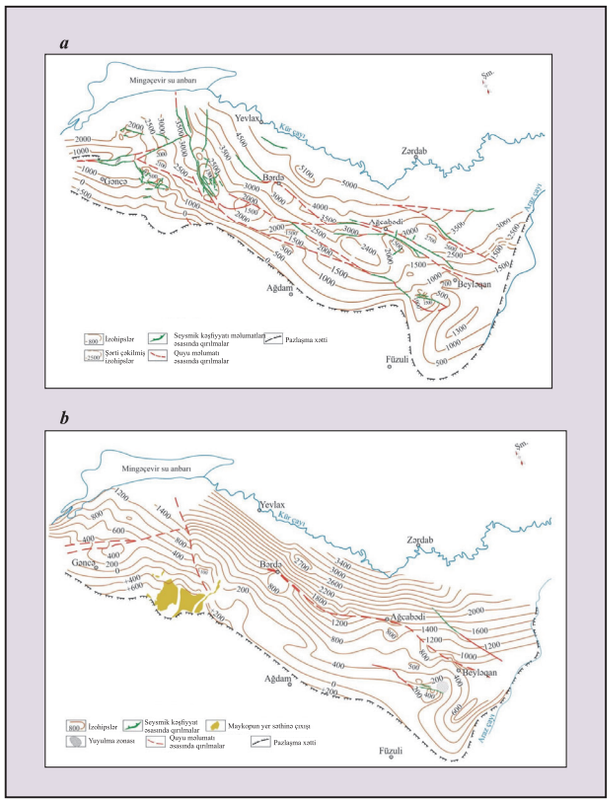
Seysmik tədqiqatlar üsulu ilə Tabaşir çöküntüləri üzrə Şirvanlı antiklinalından şimal-şərqdə Bərdə qalxımı müəyyən edilmişdir. Monoklinalın şərq hissəsində isə Şirinqum sahəsində də Tabaşir və Paleogen çöküntüləri üzrə struktur çıxıntı qeyd edilmişdir [6].

Tədqiqat sahəsinin Ağdam antiklinoriumunun cənub-şərq batımında yerləşən hissəsi daha mürəkkəb quruluşla səciyyələnir. Cənubda, bilavasitə Ağdam antiklinoriumunun davamında yerləşən hissədə Mezozoy çöküntülərinin yer səthinə çıxışı qeyd olunur. Bu çöküntülərin səthi şimal-şərq istiqamətdə 1500 m mütləq dərinliyə gömülür. Şimal-şərqdə yerləşən Bərdə qalxımı istiqamətində isə 7000 m mütləq dərinliyə qədər gömülür. Aparılmış geofiziki tədqiqatlarla Bərdə strukturuna qazılmış 1 və 3 №-li quyular arasından keçən kiçik amplitudlu qırılma bu profildə öz əksini tapmışdır. Bu qırılma yalnız Mezozoy və Paleosen çöküntülərində izlənilir (şəkil 4).

Dəliməmmədli-Borsunlu-Gödəkboz istiqamətində qurulmuş geoloji profilə əsasən deyə bilərik ki, Naftalan-Gödəkboz qalxımlar zonasının şimal-qərb qanadının dərinlik qırılması ilə 1000 m-ə qədər qırılıb düşməsi ilə əlaqədar olaraq, bilavasitə Gödəkboz-Tərtər qırılmasının yaxınlığında Mezozoy çöküntüləri 5000–5500 m-ə qədər dərinliklərə gömülmüşlər. Bu qırılmadan şimal-qərbə doğru Mezozoy çöküntülərinin yatım dərinliyi



Şəkil 5. Dəliməmmədli-Borsunlu-Gödəkboz istiqamətində geoloji profil



Şəkil 6. Gəncə monoklinalı. Eosenin (*a*) və Maykopun (*b*) səthi üzrə struktur xəritələr

azalaraq Dəliməmmədli antiklinalının cənub-şərq periklinalında 2500 m, tağ hissəsində isə 200 m-ə malik olur (şəkil 5).

Mezozoyu transqressiv olaraq örtən Paleogen kompleksinin struktur-tektonik quruluşunu nəzərdən keçirdikdə qeyd etmək olar ki, bu kompleks üzərini örtdüyü Mezozoyun quruluşunu təkrarlayır (şəkil 6, *a*).

Gəncə monoklinalında Mezozoy-Paleogen kompleksi şimal-şərqə doğru ümumən monoklinal yatım quruluşuna malikdir. Burada həm lokal antiklinal qalxımlar, həm də hemiantiklinallar sahə üzrə izlənilir.

Tədqiqat sahəsində qurulmuş bütün struktur xəritələri nəzərə alaraq qeyd etmək lazımdır ki, Maykop çöküntüləri Mezozoy və Eosen çöküntülərindəki kimi şimal-şərq istiqamətli monoklinal quruluşa malikdir. Lakin bir sıra strukturlar Maykop çöküntülərinin səthində öz struktur quruluşunu saxlaya bilməmiş və hemiantiklinallarla əvəz olunmuşdur (şəkil 6, *b*).

Gəncə monoklinalının struktur-tektonik xüsusiyyətlərinin ümumi təhlilindən bir daha görünür ki, Mezokaynozoy çöküntü kompleksi, xüsusilə Mezozoy və Eosen çöküntüləri kifayət qədər mürəkkəb quruluşa malikdir. Ayrılmış lokal qalxımlar çoxsaylı eninə və uzununa istiqamətli qırılmalarla mürəkkəbləşməyə məruz qalmışdır. Bir neçə qırılmanın amplitudu Mezozoy və Eosen çöküntüləri üzrə, bəzi ərazilərdə min metrlərə qədər artır. Qırılmaların əksəriyyəti isə böyük qalınlığa malik Maykop çöküntülərinin daxilində sönür.

Nəticə

Gəncə monoklinalı mürəkkəb tektonik inkişaf yolu keçmişdir. Tabaşir və Eosen çöküntüləri üzrə müşahidə olunan antiklinal qalxımlar, üst stratiqrafik vahidlərdə tədricən hemiformalı strukturlarla əvəz olunur. Eyni zamanda dərin qatlarda müşahidə olunan qırılmalar üst stratiqrafik vahidlərə getdikcə tədricən sönür. Bundan əlavə Şərqi Ağcabədi sahəsində müəyyən edilən əks fay tipli qırılma quyu vasitəsilə də təsdiq edilmiş və profildə göstərilmişdir. Şirvanlı-Sovetlər və Ağdam-Güllücə-Beyləqan qalxımlar zonası və onları mürəkkəbləşdirən uzununa istiqamətli qırılmalar Yevlax-Ağcabədi çökəkliyinin oxuna nisbətən paralel istiqamətdə uzanır. Bu səbəbdən çökəkliyin mərkəz hissələrindən miqrasiya etmiş karbohidrogenlərin toplanması üçün əlverişli tektonik şərait yaranır. Bu xüsusiyyətlər regionun neftqazlılıq potensialının qiymətləndirilməsində fundamental əhəmiyyət kəsb edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *İsmayılov F., Salmanov Ə., Məhərrəmov B*. Azərbaycanın neft-qaz yataqları və perspektivli strukturları (Kiçik Qafqazqarşısı-Talış neftli-qazlı vilayəti), III sorğu kitabı. – Bakı: "MSV" MMC nəşr., 2024, 668 s.

2. *Məmmədov Ə.V.* Orta Kür çökəkliyinin geoloji quruluşu. – Bakı: "Elm", 1973, 191.

3. *Niyazov T.X., Qarayev B.M.* Seysmik məlumatlar əsasında Yevlax-Ağcabədi çökəkliyinin Təbaşir çöküntülərinin səthi üzrə geoloji quruluşunun dəqiqləşdirilməsi haqqında // Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2015, № 1, c. 6-10.

4. *Salmanov Ə., Süleymanov Ə., Məhərrəmov B.* Azərbaycanın neftli-qazlı rayonlarının paleogeologiyası, Bakı, 2015, 471 s.

5. *Məmmədov R.M., Şəkərov H.İ., Məmmədova S.R., Əbilhəsənova L.C.* Yevlax-Ağcabədi çökəkliyində əksolunan və sınan dalğa məlumatlarının kompleks təhlilinin bəzi nəticələri barədə // Azərbaycanda Geofizika Yenilikləri, 2018, № 4, s. 3-10.

6. *Сулейманов А.М., Халилов Э.Ф.* Геологическое строение и нефтегазоносность палеоцен-миоценовых отложений юго-западного борта Евлах-Агджабединского прогиба // Азербайджанское нефтяное хозяйство, 2015, № 9, с.7-13.

References

1. *Ismayilov F., Salmanov A., Meherremov B.* Azerbaycanin neft-qaz yataqlari ve perspektivli strukturlari (Kichik Qafqazqarshisi-Talish neftli-qazli vilayeti), III sorghu kitabi. – Baki: "MSV" MMC neshr., 2024, 668 s.

2. *Memmedov A.V.* Orta Kur chokekliyinin geoloji gurulushu. – Baki: "Elm", 1973, 191 s.

3. *Niyazov T.X., Qarayev B.M.* Seysmik melumatlar esasinda Yevlax-Agcabedi chokekliyinin Tabashir chokuntulerinin sethi uzre geoloji qurulusunun deqiqleshdirilmesi haqqinda // Azerbaycan neft teserrufati, 2015, № 1, s. 6-10.

4. *Salmanov A., Suleym anov A., Meherremov B.* Azerbaycanin neftli-qazli rayonlarinin paleogeologiyasi, Baki, 2015, 471 s.

5. *Memmedov R.M., Shekerov H.I., Memmedova S.R., Abilhesenova L.C.* Yevlax-Agcabedi chokekliyinde eks olunan va sinan dalgha melumatlarinin kompleks tehlilinin bezi neticeleri barede // Azerbaycanda Geofizika Yenilikleri, 2018, № 4, s. 3-10.

6. *Suleymanov A.M., Khalilov E.F.* Geologicheskoye stroyeniye i neftegazonosnost paleosen-miosenoviy otlojeniy yugo-zapadnogo borta Yevlakh-Agdjabedinskogo progiba // Azerbaycan neft teserrufati, 2015, № 9, s. 7-13.

UDC 622.276.658.58

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-17-21

Machine time of drill string descent for one well drilling cycle

Yu.A. Orudjov, PhD in Tech. Sc., F.K. Mammadov, E.N. Salimova
Azerbaijan State University of Oil and Industry

e-mail: yusif144@mail.ru

Keywords: Drill string, machine time, drill tool release, auxiliary brake, tachogram, drilling winch, well depth, sinking curve.

The article examines the problem of determining the machine time required for lowering a drill string during a single well-drilling cycle.

The productivity of drilling rigs during tripping operations is largely determined by the technical condition of the braking systems, the parameters of the hoisting-and-lowering complex, and the depth and conditions of drilling.

The authors analyzed existing methods for calculating the descent time of drilling tools and identified their shortcomings, including the assumption of a constant penetration value per bit run and the failure to account for variable influencing factors.

An improved mathematical model is proposed, based on the sinking curve relationship and accounting for the combined operation of the mechanical and auxiliary brakes of the drilling winch. Correction coefficients are introduced to characterize the dynamics of drill-string descent, the incompleteness coefficient of the tachogram, and the thermal-state parameters of the braking system. The obtained expressions allow us to more accurately determine the machine descent time of the drilling tool at various depths and drilling conditions, which is especially important in the construction of deep wells.

Improving the efficiency of deep well drilling is directly related to reducing the time spent on auxiliary operations, among which tripping operations account for up to 40 % of the total time balance. Existing calculation models often idealize the process, failing to account for the nonlinear increase in time consumption with increasing well depth, as well as the technical limitations of braking equipment under extreme loads. The development of methods that allow the machine time required for lowering the drill string to be objectively evaluated while maintaining structural reliability is therefore a priority task for the oil and gas industry.

The object of the study is the operating cycle of the hoisting system of a drilling rig. The subject of the study is the patterns of variation in machine time consumption depending on well depth, drill string parameters, and braking modes.

The study proposes an integrated approach to calculating lowering time, which, unlike traditional formulas, takes into account the following factors:

Variable footage per drilling cycle: The penetration curve equation is incorporated into the model, eliminating the assumption of a constant number of drill pipe stands per cycle.

Two-stage braking mode: The mathematical model describes the transition from the use of only the main band-and-block brake to the combined operation of the main brake and an auxiliary hydraulic or electrodynamic brake after reaching a critical depth of 1000–1200 m.

Criticism of existing models: It is demonstrated that simplified calculations can result in significant errors in the design of deep wells because they do not account for the thermal loading of the brakes and hydrodynamic resistance in the wellbore.

Analytical relationship: The final Equation (8) has been derived to determine the total machine time required for lowering the drill string throughout the entire well construction cycle. This equation is based on the differential calculation of the lowering time for each individual drill pipe stand.

Thermal factor: The influence of the thermal state of the mechanical brake on the selection of the maximum permissible lowering speed is substantiated. This is a critical safety factor when operating with heavy drill strings.

Practical significance. The obtained results enable engineering and technical personnel to plan well construction schedules more accurately and optimize the operating modes of drilling crews. Application of the proposed methodology contributes to reducing wear of brake bands and sheaves and helps prevent lost circulation and oil and gas influxes caused by excessive hydrodynamic loads during lowering of the drilling tool.

Qazma kəmərini işə salmaq üçün tələb olunan maşın vaxtının müəyyən edilməsi

Y.Ə. Orucov, t.ü.f.d., F.X. Məmmədov, E.N. Səlimova
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: qazma kəməri, maşının vaxtı, qazma aləti, köməkçi əyləc, taxoqram, qazma bucurqadı, quyunun dərinliyi, maili keçid.

Bu məqalə qazma dövrü ərzində qazma kəmərini işə salmaq üçün tələb olunan maşın vaxtının müəyyən edilməsi pro-

blemini araşdırır. Qazma əməliyyatları zamanı qazma qurğusunun məhsuldarlığının yüksəldilməsi əsasən əyləc sistemlərinin texniki vəziyyəti, söndürmə sisteminin parametrləri, qazma dərinliyi və şəraiti ilə müəyyən edilir. Müəlliflər qazma alətinin işləmə müddətini hesablamaq üçün mövcud üsulları təhlil edərək, bütün iş müddətində qazma dərinliyinin sabit qalması üçün bu və digər amilləri nəzərə alaraq çatışmamazlığı aradan qaldırır.

Maili qazma prosesini aparmaq üşün bucurqadın mexaniki və köməkçi əyləcinin riyazi modelinin təkmilləşdirilməsi təklif olunmuşdur. Qazma dayaqlarının işləmə dinamikasını, xarakterizə edən əmsalları, taxoqramma natamamlıq əmsalı, əyləc sisteminin istilik vəziyyətinın parametrləri təqdim edilmişdir. Alınan ifadələr qazma alətinin müxtəlif dərinliklərdə və qazma şəraitində quyuya endirilməsi üçün maşın vaxtını daha dəqiq müəyyən etməyə imkan verir ki, bu da dərin quyuların qazılmasında xüsusilə vacibdir.

Dərin quyuların qazılmasının səmərəliyinin yüksəldilməsi qazma prosesinə hazırlıq işlərində sərf olunan vaxtın azaldılması ilə mühüm bağlılığı vardır. Belə ki, fasiləsiz qazma bütün vaxtın 40 %-ə qədərini təşkil edir. Mövcud hesablama modeli çox halda qazma prosesinin dəqiq hesablamalar altında ardıcıllığını düşünsə də qazma prosesinə sərf olunan vaxtla, quyu dərinliyinin qeyri-xətti asılı olmadığını və yüklənmə prosesi apararkən əyləc avadanlıqlarının texniki məhdudiyyətlərinin olması nəzərə alınır. Neft və qaz sənayesi üçün prioritet məsələ qazma vaxtı konstruksiyanın etibarlığı üçün metodların hesablanıb hazırlanmasıdır.

Tədqiqatın əsas obyekti qazma kompleksində qurğunun iş dövrüdür. Quyunun dərinliyindən asılı olaraq qazma vaxtının dəyişməsi qazma kəmərinin parametrindən və əyləc rejimindən asılıdır. Baxılan model, ənənəvi düsturlardan fərqli olaraq, aşağıdakıları nəzərə alan iş vaxtının hesablanmasına kompleks yanaşma təklif edir:

1000–1200 m kritik dərinlikdə əsas lent əyləcindən köməkçi (hidravlik və ya elektrodinamik) əyləcə keçmək üçün düsturlar verilmişdir. Sübut edilmişdir ki, hesablamaların aparılması dərin quyuların layihələndirilməsində bir çox xətalara səbəb olur, çünki bu vaxt əyləcdə temperatur amilini və quyunun hidravlik müqaviməti nəzərə alınmır.

Quyunun tam qazılaraq sona çatdırılması üçün maşın vaxtı yekun (8) düsturu ilə təyin olunmuşdur. Ağır qazma kəmərləri ilə işləyərkən təhlükəsizlik faktorundan biri mexaniki tormoza təsir edən qazmanın sürətinin buraxılabilən qiymətinin düzgün seçilməsidir.

Əldə edilmiş nəticələr mühəndis-texniki heyətə quyuların tikilməsi üçün sərf olunan vaxtın daha dəqiq planlaşdırmağa və qazma briqadasının iş vaxtının optimallaşdırmağa imkan verir. Təklif olunmuş metod sayəsində əyləc lentlərinin və qasnaqların yeyilməsi azalır və neft qazma alətlərinin quyuya yüksək hidrodinamik təzyiqlə saldıqda neft və qaz sızıntılarının və udulmalarının qarşısı alınır.

Определение машинного времени спуска бурильной колонны за один цикл бурения скважины

Ю.А. Оруджов, д.ф.т.н., Ф.Х. Мамедов, Э.Н. Салимова
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Ключевые слова: бурильная колонна, машинное время, спуск бурильного инструмента, вспомогательный тормоз, тахограмма, буровая лебёдка, глубина скважины, кривая проходки.

Рассмотрена проблема определения машинного времени спуска бурильной колонны за один цикл бурения скважины. Повышение производительности буровых установок при выполнении спуско-подъемных операций во многом определяется техническим состоянием тормозных систем, параметрами спуско-подъемного комплекса, глубиной и условиями бурения. Авторами проведён анализ существующих методик расчёта времени спуска бурильного инструмента, выявлены их недостатки, связанные с принятием постоянной величины проходки за одно долбление и отсутствием учета влияния переменных факторов.

Предложена усовершенствованная математическая модель, основанная на зависимости кривой проходки и учитывающая совместную работу механического и вспомогательного тормозов буровой лебёдки. Введены корректирующие коэффициенты, характеризующие динамику спуска бурильных свечей, коэффициент неполноты тахограммы и параметры теплового состояния тормозной системы. Полученные выражения позволяют более точно определить машинное время спуска бурильного инструмента при различных глубинах и условиях бурения, что особенно важно при строительстве глубоких скважин.

Повышение эффективности бурения глубоких скважин неразрывно связано с сокращением времени на вспомогательные операции, среди которых спуско-подъемные операции (СПО) занимают до 40 % общего баланса времени. Существующие расчетные модели часто идеализируют процесс, не учитывая нелинейный рост временных затрат с увеличением глубины, а также технические ограничения тормозного оборудования при экстремальных нагрузках. Разработка методов, позволяющих объективно оценивать машинное время спуска при сохранении надежности конструкций, является приоритетной задачей для нефтегазовой отрасли.

Объектом исследования является цикл работы спуско-подъемного комплекса буровой установки. Предметом – закономерности изменения затрат машинного времени в зависимости от глубины скважины, параметров бурильной колонны и режимов торможения.

В работе предложен комплексный подход к расчету времени спуска, который, в отличие от традиционных формул, учитывает:

– переменную проходку за одно долбление: в модель интегрировано уравнение кривой проходки, что позволяет уйти от допущения о постоянстве количества свеч в цикле.

– двухэтапный режим торможения: математически описан переход от использования только основного ленточно-колодочного тормоза к совместной работе с вспомогательным (гидравлическим или электродинамическим) тормозом после достижения критической глубины (1000–1200 м).

Критика существующих моделей: доказано, что упрощенные расчеты ведут к значительным погрешностям при проектировании глубоких скважин, так как не учитывают тепловое нагружение тормозов и гидродинамическое сопротив-

ление в стволе.

Аналитическая зависимость: выведена итоговая формула (8) для определения полного машинного времени спуска за весь цикл строительства скважины. Данная формула базируется на дифференциальном исчислении времени спуска каждой отдельной свечи.

Тепловой фактор: обосновано влияние термического состояния механического тормоза на выбор максимально допустимой скорости спуска, что является критическим фактором безопасности при работе с тяжелыми бурильными колоннами.

Практическая значимость. Полученные результаты позволяют инженерно-техническому персоналу более точно планировать сроки строительства скважин и оптимизировать режимы работы буровых бригад. Применение предложенной методики способствует снижению износа тормозных лент и шкивов, а также предотвращает возникновение поглощений и нефтегазопроявлений, вызванных чрезмерными гидродинамическими нагрузками при спуске инструмента.

Substitution and problem solving

We know that increasing the productivity of drilling rigs when performing operations to lower drilling tools is determined by the following main factors:

1. Serviceability and high controllability of the braking system, including the main, stop and auxiliary brakes.

2. Sufficient strength of the main load-bearing elements of the lowering and lifting complex - the mast, hoisting system, drilling winch and other structures.

3. Depth of descent of the drill string and strength of its most loaded elements.

4. Resistance and rock-breaking ability of the drill bit.

5. The condition of the well walls and the absence of conditions that can cause complications arising from changes in hydrodynamic pressure during acceleration of the drill string during descent.

6. The presence of a descent mode control system that ensures minimal time spent at the permissible level of loads in the elements of the descent and lifting complex.

7. Hydraulic parameters of drilling mud, borehole curvature and other technological factors.

8. Geological conditions of drilling.

The optimal choice of drilling tool launching modes, taking into account these factors, allows minimizing time and material costs under specific drilling conditions. As the results of previous studies, as well as our observations, show, with an increase in the depth of the well, the time spent on this auxiliary operation increases not in proportion to the square of the depth, but to a higher degree.

Therefore, research and development of methods and tools that ensure the execution of operations of lowering drilling tools at high speeds while maintaining the reliability of drilling equipment, especially when drilling deep wells, are of paramount practical importance [7].

Many researchers were engaged in the problem of determining the machine descent time.

To calculate the time (T) spent on lowering and lifting the drilling tool during drilling, the formula is proposed:

$$T_{cp} = \frac{L_K^2 t_{cp}}{2 l_c H_1}, \quad (1)$$

where $\boldsymbol{L}_k$ – is the well depth, m; t – is the average duration of descent and ascent of one plug; l – is the length of the drill plug, m; H_1 – is the penetration for one chiseling, m.

(1)

A drawback of formula (1) is that the value of H_1 is assumed to be constant in its derivation. However, in practice, as the borehole depth increases, the number of drilled holes per run decreases, resulting in an increase in the number of trips and, consequently, the total time required to complete them.

To determine T_{cp}, the proposed formula has the form

$$T_{cp} = \frac{L_K^{1+\frac{1}{m}} t_{cp}}{2 l_c a^{\frac{1}{m}}} + \frac{t_{max} t_{cp}}{2 l_c}, \quad (2)$$

where a and m are coefficients determined by geological and technical drilling conditions.

When deriving this formula, the amount of penetration for one chisel is taken as a variable, the value T_{cp} included in formula (2) is the average duration of lowering and lifting the candle for the entire well drilling cycle, at this drop rate, depending on the length of the drill string, they fluctuate in sufficiently deep limits, and therefore the results of calculations using the formula (2) are approximate.

Formulas (1) and (2) determine the average time spent on lowering and lifting the drill tool, including all operations performed during this process. Therefore, it is not possible to use them to assess the impact of various factors on the effectiveness of these operations.

The machine time of drilling tool descent for the entire well construction cycle is determined by the expression:

$$T_c = \frac{\lambda_c E Z_k L_k}{(E+1)v_{cm}}, \quad (3)$$

where λ_c – is the incompleteness coefficient of the tachogram when lowering the drilling tool; E – parameter of the sinking curve equation; Z_k – the number of trips during drilling of one well; ν_{cm} – maximum speed when lowering the drilling tool.

Formula (3) is derived for the case of drilling tool descent in a rational mode with a constant maximum speed provided only by a mechanical brake. However, in practice, when drilling deep wells, the descent is performed when the mechanical and hydrodynamic brakes of the drilling winch work together [8].

Based on the above, we propose a formula for determining the machine operating time of a drilling tool with both brakes on, which eliminates the disadvantages of existing formulas. This formula is based on the commonly used drilling curve equation:

$$Z = BL^E, \quad (4)$$

where B – is a parameter of the sinking curve equation.

According to Figure 1, the elementary number of drill plugs ds lowered from the depth L to the elementary depth dL is determined by the dependence:

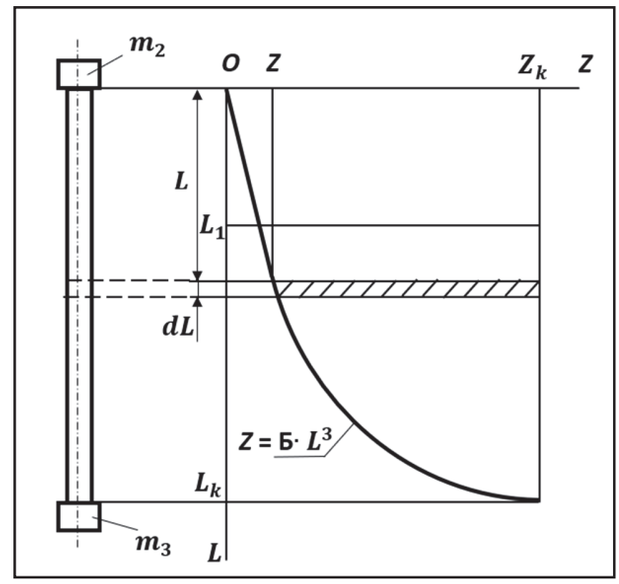
$$d_S = 1/l_c\,(Z_k - Z)dL \quad (5)$$

The time dT_c spent on the descent ds candles is expressed as:

$$dT_c = t_n(v_c\lambda_c)d_S, \quad (6)$$

where tn($v_c\lambda_c$) is the time spent on the descent of the nth candle, which is a function of the steady-state descent rate and the incompleteness coefficient of the tachogram $\lambda_c v_c$ and λ_c The determination of v_c and l_c is a complex problem that is solved by analyzing the dynamics of the system, the permissible descent speeds, the thermal loading of the main brake, as well as the parameters of the drill string (pipe length l_c, mass of the linear meter of pipes q and mass of weighted drill pipes – UBT: $Pm = m_1 g$.

The practice of drilling deep wells shows that the descent of the drilling tool to a depth of about 1000–1200 m is carried out using only a mechanical brake, and with a further increase in depth – with the inclusion of an auxiliary hydraulic or electrodynamic brake. In this case, the mechanical brake is used only to stop the drill string, and long-term braking is performed by an auxiliary device. The mechanical brake is only used to stop the drill string at the end of the horizontal descent of the next candle, and the kinetic energy system during the fall is shown mainly by an auxiliary brake (Figure).



Drill string layout diagram and curve penetrations for measuring the machine descent time of a drilling rig columns per well wiring cycle

Taking into account the difficulties of determining the descent speed when working only with a mechanical brake, for this case, the machine time of descent of drill pipes for the length of the candle was calculated, based on the rational descent mode. Based on these data, the actual descent time was adjusted according to the following law:

$$t_n(v_c, \lambda_c) = \Phi_c\, n_c^{-\chi c}, \quad (7)$$

where F_c and χ_c are coefficients that characterize the dynamics and mode of descent of the drilling tool.

The parameters F_c and χ_c for each type of drilling rig should be calculated and refined.

When the main and auxiliary brakes work together tachogram, the descent tachogram can have a different shape with varying vc and λ_c. In this case, the total machine descent time per drilling cycle is determined from the expression obtained by solution (6), taking into account (4), (5) and (7):

$$T_c = \frac{t_1 l_1}{l_c}\left[\frac{Z_k}{1-\chi_c} - \frac{Z_1}{- \; +1-\chi_c}\right]\times$$

$$\times\frac{t}{l_c}\int_{n_1}^{n_k}(Z_k - Z)(v_c\lambda_c)dL, \quad (8)$$

where $n_1 = L_1/L_c$ is the number of candles after which the auxiliary brakeis activated; $t_1 = F_c n_1^{-\chi c}$; $Z_1 = BL_1^{E}$

To obtain the final expression T_c, it is necessary to determine the law of change of $tn(v_c, \lambda_c)$ over the depth of the well after turning on the auxiliary brake.

When the auxiliary brake is activated, the weight of the drill tool is significant, which causes an increase in the thermal load on the mechanical brake due to intense heat generation during repeated braking. This imposes restrictions on the maximum allowable descent speed of a drill tool of a certain length .

To develop a method for determining $tn(v_c, \lambda_c)$ – the time of descent of drill plugs, when changing the length of the drill string-it is necessary to specify the actual braking torque of the band-block brake of the drilling winch, taking into account its thermal state [5].

Establishing the relationship between these parameters allows you to determine the permissible descent speeds before applying the mechanical brake, which ensure a safe and efficient stop of the drill tool in the shortest possible time.

Conclusion

The results of the study are of practical significance for optimizing the operating modes of drilling rigs, reducing thermal loads on braking systems, and minimizing the time required for auxiliary operations while maintaining the reliability of drilling equipment.

References

1. *Əlizadə Ə.Ş.* Qazma texnologiyası. – Bakı: Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyası Nəşriyyatı, 2005, s. 263.

2. *Quliyev F.X., Məmmədov R.H.* Neft və qaz quyularının qazılması. – Bakı: Elm, 2010, s. 263.

3. *Əliyev İ.A.* Quyu qazılmasının əsasları. – Bakı: ADNA, 2008, c. 250.

4. *Рабинович Б.А.* Технология бурения скважин. – М.: Недра, 2001, с. 674.

5. *Григорьев А.А.* Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Изд-во Недра, 2008, с. 19-30.

6. *Mitchell R.F., Miska S.Z.* Fundamentals of Drilling Engineering // Society of Petroleum Engineers, 2011, p. 710.

7. *Оруджов Ю.А., Салимова Э.Н.* Влияние температуры на устойчивость стен скважины. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – М.: Недра, 2025, с. 105-114.

8. *Peter Aird*. Deepwater Driling Elsevier: 2019, p. 670.

References

1. *Alizade A.Sh.* Qazma texnologiyasi. – Baki: Azerbaycan Dovlet Neft Akademiyasi Nesriyyati, 2005, s. 263.

2. *Quliyev F.X., Mammadov R.H.* Neft ve qaz quyularinin qazilmasi. – Baki: Elm, 2010, s. 263.

3. *Aliyev I.A.* Quyu qazilmasinin esaslari. – Baki: ADNA, 2008, s. 250.

4. *Rabinovich B.A.* Texnologiya bureniya skvazhin. – M.: Nedra, 2001, s. 674.

5. *Grigor'yev A.A.* Bureniye neftyanikh i gazovikh skvajyn. – M.: Izd-vo Nedra, 2008, s. 19-30.

6. *Mitchell R.F., Miska S.Z.* Fundamentals of Drilling Engineering // Society of Petroleum Engineers, 2011, p. 710.

7. *Yu.A. Orudjov, E.N. Salimova.* Vliyaniye temperatur na ustoycivost' sten skvazhiny // Mejdunarodniy jurnal gumanitarnikh i estestvenykh nauk. – M.: Nedra, 2025, s. 105-114.

8. *Peter Aird*. Deepwater Driling Elsevier, 2019, p. 670.

UOT 532.546

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-22-27

Neftin su ilə sıxışdırılması prosesinin qalıq neftin çıxarılmasına təsirinin tədqiqi

M.Ə. Hüseynova, N.A. Ağayeva, f.-r.e.n., K.Ş. Cabbarova, t.ü.f.d., X.X. Hüseynli
"Neftqazelmitədqiqatlayihə" İnstitutu

e-mail: n.agayeva1975@gmail.com

Açar sözlər: flüid, terrigen kollektor, litoloji və tektonik zonalar, hidrodinamik model, horizont, lay, qalıq neft

Gil saxlayan terrigen kollektorlarda neftin müxtəlif mineral tərkibli su ilə sıxışdırılması zamanı süxur-flüid qarşılıqlı təsiri nəticəsində məsaməlik, keçiricilik, nisbi faza keçiriciliklər və fazalararası səthi gərilmə parametrləri dinamik dəyişir. Bu dəyişikliklər xüsusilə gilin şişməsi, ion mübadiləsi, duz sorbsiyası və kapillyar qüvvələrin transformasiyası ilə müşayiət olunur və nəticədə neftvermə əmsalına birbaşa təsir göstərir.

Məqalədə gilli kollektor üçün çoxkomponentli, qeyri-xətti hidrodinamik model əsasında neftin müxtəlif minerallaşma dərəcəsinə malik su ilə sıxışdırılması prosesi analiz edilmişdir. Modeldə kəsilməzlik tənlikləri, Darsi qanunu, faza tarazlığı, nisbi keçiricilik funksiyaları, Henri izotermi və gilin şişməsinin histerezis parametri nəzərə alınmışdır. Səngəçal–Duvannı–Xara-Zirə ada (SDXZ) yatağının V, VII və VIII horizontlarının 1963–2024-cü illər üzrə istismar göstəricilərinin təhlili yataqda yüksək suvermə fonunda əhəmiyyətli qalıq neft ehtiyatlarının saxlanıldığını göstərir. SDXZ yatağının V, VII və VIII horizontları uzunmüddətli istismar nəticəsində son işlənmə mərhələsinə keçmiş, hasilatın azalması və suvermənin artması müşahidə olunur. Geoloji və mədən məlumatlarının təhlili göstərir ki, heterogen qumlu-alevrolit kollektorlarında, litoloji və tektonik ekranlaşmış zonalarda əhəmiyyətli qalıq neft ehtiyatları mövcuddur.

Исследование влияния процесса вытеснения нефти водой на извлечение остаточной нефти

М.А. Гусейнова, Н.А. Агаева, к.ф.-м.н., К.Ш. Джаббарова, д.ф.т.н., Х.Х. Гусейнли
НИПИнефтегаз

Ключевые слова: флюид, терригенный резервуар, литологические и тектонические зоны, гидродинамическая модель, горизонт, слой, остаточная нефть.

В процессе вытеснения нефти водой различного минерального состава в терригенных пластах, содержащих глину, в результате взаимодействия породы и жидкости пористость, проницаемость, относительная фазовая проницаемость и параметры межфазного натяжения динамически изменяются. Эти изменения сопровождаются особенно набуханием глины, ионным обменом, сорбцией солей и трансформацией капиллярных сил, что в конечном итоге напрямую влияет на коэффициент нефтеотдачи.

В статье на основе многокомпонентной нелинейной гидродинамической модели анализируется процесс вытеснения нефти водой с различной степенью минерализации для глинистого пласта. В модели учитываются уравнения непрерывности, закон Дарси, фазовое равновесие, функции относительной проницаемости, изотерма Генри и параметр гистерезиса набухания глины.

Анализ эксплуатационных показателей горизонтов V, VII и VIII месторождения Сангачал–Дуванны–Хара-Зира адасы за 1963–2024 годы показывает, что на фоне высокого уровня заводнения месторождения сохраняются значительные остаточные запасы нефти. В результате длительной эксплуатации горизонты V, VII и VIII месторождения Сангачал–Дуванны–Хара-Зира адасы вступают в завершающую стадию разработки, наблюдаются уменьшение добычи и увеличение заводнения. Анализ геологических и горнодобывающих данных показывает, что в неоднородных песчано-илистых пластах, литологически и тектонически защищенных зонах существуют значительные остаточные запасы нефти.

Investigation of the influence of the process of oil displacement by water on the recovery of residual oil

M.A. Huseynova, N.A. Aghayeva, PhD in Phys.-Math. Sc. K.Sh. Jabbarova, PhD in Tech. Sc., Kh.Kh. Huseynli
"Oil-Gas Scientific Research Project" Institute

Keywords: fluid, terrigenous reservoir, lithological and tectonic zones, hydrodynamic model, horizon, layer, recoverable oil.

During the compression of oil in terrigenous formations containing clay, porosity, permeability, relative phase permeability, and interfacial tension parameters dynamically change as a result of the interaction of rock and liquid during compression of oil by water of varying mineral composition. These changes are accompanied, in particular, by clay swelling, ion exchange, salt sorption and transformation of capillary forces, which ultimately directly affects the oil recovery factor. The article analyzes the process of oil displacement by water with varying degrees of mineralization for a clay formation based on a multicomponent nonlinear hydrodynamic model. The model takes into account the continuity equation, Darcy's law, phase equilibrium, relative permeability function, Henry isotherm and clay swelling hysteresis parameter. Analysis of the performance of horizons V, VII and VIII of the SDXZ field for 1963–2024 shows that significant residual oil reserves remain despite the high flooding level of the field. Horizons V, VII and VIII of the SDXZ field have entered a mature stage of development as a result of long-term production, with declining production and increasing flooding. Analysis of geological and mining data shows that significant residual oil reserves exist in heterogeneous sand-silt formations, lithologically and tectonically protected zones.

Neft yataqlarının istismarında əsas üsullardan biri neftin su ilə sıxışdırılmasıdır. Lakin vurulan suyun minerallaşmasının kollektorun mineral tərkibi ilə uyğunlaşdırılmaması süxur–flüid sistemində kompleks fiziki-kimyəvi proseslərə səbəb olur: gilin şişməsi və dispersiyası, məsaməliyin azalması, keçiriciliyin dəyişməsi, nisbi keçiriciliklərin transformasiyası, fazalararası səthi gərilmənin dəyişməsi.

Bu proseslər xüsusilə gil saxlayan terrigen kollektorlarda daha kəskin xarakter daşıyır.

Səngəçal–Duvannı–Xara-Zirə adası (SDXZ) yatağının V, VII və VIII horizontları uzunmüddətli istismar nəticəsində yüksək sulaşma mərhələsinə keçmişdir. Hasilatın azalması və suvermənin artması yeni texnoloji yanaşma tələb edir.

Neft yataqlarının istismarında əsasən neftin müxtəlif mineral tərkibli su ilə sıxışdırılması üsulu tətbiq olunur. Laya vurulan suyun seçilməsi zamanı onun tərkibinin süxur-kollektorun mineral tərkibi ilə əlaqələndirilməsi vacib məsələlərdəndir [1, 2].

Laya mineral tərkibinə görə lay suyundan fərqli su daxil olduqda gilli layda keçiricilik, məsaməlik, su və neftin xassələrinin dəyişməsi, həmçinin gil sementinin kütlə mübadiləsi baş verir. Bu zaman layda karbohidrogen və qeyri-karbohidrogen və su komponentindən təşkil edilmiş çoxkomponentli su-neft qarışığının süzülməsi baş verir. Bu halda təsir göstərən səth qüvvələri sahəsi flüidin yalnız xassəsinə deyil, həmçinin kütlə mübadiləsi proseslərinin kinetikasına da təsir edir. Öz növbəsində məsaməli mühitin hissələri arasında təsir edən qüvvələr flüidin faza vəziyyətindən asılı olaraq köçürmə prosesi zamanı məsaməliyin strukturunu dəyişir. Bununla əlaqədar olaraq, gil saxlayan kollektorlarda neftin müxtəlif mineral tərkibli su ilə sıxışdırılması zamanı gilin şişməsinin və fazaların ayrılma sərhədində gedən molekulyar-səth hadisələrinin texnoloji göstəricilərə təsirinin proqnozlaşdırılması vacib və aktual məsələ olaraq qalır [3–9].

Məsələnin həlli. Fərz olunur ki, gilli layda neft müxtəlif mineral tərkibli su ilə sıxışdırılır. Qəbul edilir ki, vurucu və hasilat quyuları layın istənilən hissələrində yerləşə bilər. Layın xarici sərhədi keçirməz hesab olunur və vurucu quyulara vurulan müxtəlif mineral tərkibli suyun həcmi verilir. Layda neftin su ilə sıxışdırılması prosesində gilin şişməsinin texnoloji göstəricilərə təsirinin qiymətləndirilməsi tələb olunur [1, 2].

Neftin müxtəlif mineral tərkibli su ilə sıxışdırılmasında gilin şişməsi nəzərə alınmaqla su-neft sisteminin süzülmə prosesinin texnoloji göstəricilərinin təyini hər bir komponentə görə kəsilməzlik tənliyi, süzülmə qanunu, fazaların hal tənliyi, fazalar arasında doyumluluq tənliyi, su fazasında duzun konsentrasiya tənliyinin birgə kombinasiyası əsasında alınan və fazaların lokal termodinamik tarazlıq halını özündə saxlayan hidrodinamik modeli bazasında modelləşdirilir [1, 2]:

$$div\left\{kh\left(\frac{f_n\rho_n}{\mu_n M_n}x_{ni}+\frac{f_s\rho_s}{\mu_s M_s}x_{si}\right)gradp_n\right\}+$$
$$+\sum_{j=1}^{n_1}Q_{ij}^h(t)\delta\left(x-x_j^h,y-y_j^h\right)=$$
$$=\frac{\partial}{\partial t}\left[mh\left(\frac{\rho_n s_n}{M_n}+\frac{\rho_s s_s}{M_s}\right)z_i\right],z_i=$$
$$=x_{si}V_s+x_{ni}(1-V_s),i=\overline{1,N}, \quad (1)$$

$$div\left\{kh\left(\frac{f_n\rho_n}{\mu_n M_n}x_{nN+1}+\frac{f_s\rho_s}{\mu_s M_s}x_{sN+1}\right)gradp_s\right\}+$$
$$+\sum_{l=1}^{n_2}Q^{v}_{(N+1)l}(t)\delta\left(x-x_l^v,y-y_l^v\right)=$$
$$=\frac{\partial}{\partial t}\left[mh\left(\frac{\rho_n s_n}{M_n}+\frac{\rho_s s_s}{M_s}\right)z_{N+1}+h\omega\frac{\rho_{s0}}{M_s}\right],$$
$$\sum_{i=1}^{N}x_{ni}=\sum_{i=1}^{N}x_{si}=1,$$
$$\sum_{i=1}^{N+1}z_i=1,\quad x_{nN+1}+x_{sN+1}=1, \qquad (2)$$

$$div\left(khc\frac{f_s\rho_s}{\mu_s M_s}gradp_s\right)+$$
$$\frac{\partial}{\partial t}\left[h\left(mcs_s+a\right)\frac{\rho_s}{M_s}\right]=$$
$$+div\left(h\frac{\rho_s}{M_s}Dgradc\right)+$$
$$+\sum_{l=1}^{n_2}cQ^{v}_{(N+1)l}(t)\delta\left(x-x_l^v,y-y_l^v\right), \qquad (3)$$

$$\frac{\partial p_s}{\partial x}|_{x=0,l_x}=0,\quad \frac{\partial c}{\partial x}|_{x=0,l_x}=0,\left(0\le y\le l_y\right),$$
$$\frac{\partial p_s}{\partial y}|_{y=0,l_y}=0,\quad \frac{\partial c}{\partial y}|_{y=0,l_y}=0,\left(0\le x\le l_x\right), \qquad (4)$$

burada i – karbohidrogen və qeyri-karbohidrogen komponentlərin sayı; $(N+1)$ – su komponenti; $Q^{э}_{ij}(t)$ – hasilat quyusunun i-ci komponentə görə debiti; $Q^{H}_{(N+1)l}$ – vurucu quyunun $(N+1)$-ci su komponentinə görə həcm sərfi; p_n və $p_в$ – uyğun olaraq neft və qaz fazasının təzyiqi; p_k – kapillyar təzyiq; k, m – layın mütləq keçiricilik və məsaməlik əmsalı; x_{ni}, $x_{вi}$, z_i – neft, su fazasında və qarışıqda i-ci komponentin uyğun olaraq mol miqdarı; f_n və $f_в$ – neft və suya görə faza keçiriciliкləri; $\rho_в$ – suyun minerallaşması və suda həll olan qazın miqdarından asılı olan suyun sıxlığı; $\rho_{в0}$ – şəffaf suyun sıxlığı; $\mu_в$ – suyun özlülüyü; M_n, $M_в$ – neft və suyun molekulyar kütləsi; M_i – i-ci komponentin molekulyar kütləsi; ρ_n – neftin sıxlığı; μ_n – neftin özlülüyü; s_n – neftlədoyma; $s_n + s_в = 1$; c – duzun konsentrasiyası; ω – gilin suyu udma əmsalı; m – məsaməlik; a – udulan duzun miqdarı; D – diffuziya əmsalı; τ – fazaların ayrılma səthində effektiv səthi gərilmə; J – Laveret funksiyası; l_x, l_y – layın uzunluğu və eni; h – layın ortalaşdırılmış qalınlığı; $(x^{э}_j, y^{э}_j)$ və (x^{H}_l, y^{H}_l) – j – hasilat quyusu və l – vurucu quyunun koordinatları; t – zamandır.

(1) – (4) sistemində asılı olmayan axtarılan funksiya su fazasının təzyiqi, qarışığın molyar tərkibi və lay üzrə duzun konsentrasiyasıdır [2].

Neftin müxtəlif tərkibli su ilə sıxışdırılması fazalararası səthi gərilmənin, süxurun keçiricilik və məsaməliyin dəyişməsinə gətirib çıxarır. Laya vurulan suyun mineral tərkibi lay suyunun mineral tərkibindən fərqli olduqda əlaqəli suyun miqdarı dəyişir. Bu halda əlaqəli suyun miqdarı $w_{əal.su}$ aşağıdakı münasibətlə təyin edilir:

$$w_{əal.su}=ms_{əal.su}+\omega_{əə}, \qquad (5)$$

burada $w_{əal.su}$ – əlaqəli su; $ms_{əal.su}$ – hidrodinamik və $\omega_{əə}$ – fiziki-kimyəvi əlaqəli suyun (gilə adsorbsiya olunmuş su) cəmi ilə identifikasiya edilir.

Lay suyunun minerallaşmasından fərqli minerallaşmış su ilə gil saxlayan kollektorlardan neftin sıxışdırılma prosesində məsaməlik və keçiricilik kollektorun məsamələr fəzasında suyun cari və başlanğıc minerallığından, faza keçiriciliкləri isə sudoyma və suda duzun konsentrasiyasından asılı şəkildə təyin edilməlidir [3]. Bu o deməkdir ki, məsaməlik, keçiriciliyin cari və başlanğıc qiymətləri fərqli, sudoyumluluğun eyni qiyməti üçün minerallaşmış suyun faza keçiriciliyi təmiz suyun faza keçiriciliyindən müəyyən tərtibdən kiçik qəbul edilməlidir.

Həmçinin məsaməli mühitin vahid həcmində duzun sorbsiyası (çökməsi) lay suyundan şirin suya qədər minerallaşmanın dəyişməsində Henri izotermi ilə daxil edilməlidir.

Gil tərəfindən udulan suyun miqdarı sıxışdırıcı agentin minerallaşmasının artma mərhələsində aşağıdakı formul ilə daxil edilir.

$$w=b\omega^{*}+(1-\beta)\,\omega s, \qquad (6)$$

burada ω* – gilə birləşmiş suyun geriyə qaytarılmayan miqdarı; β – gilin şişməsinin histerizis parametridir.

Neftin terrigen kollektorda su ilə sıxışdırılması prosesinin təsvir edilən real mexanizmini özündə əks etdirən hidrodinamik model bazasında hipotetik gilli lay elementi timsalında neftvermə əmsalına təsir edən geoloji və texnoloji amillərin təsirini və hasilatın optimallaşdırılması imkanlarını qiymətləndirməyə imkan verən test hesablamaları aparılmış və onların nəticəsinin ümumiləşməsi əsasında aşağıdakı nəticələr alınmışdır [2]:

– neftin su ilə sıxışdırılması zamanı gilin şişməsi hesabına quyunun neftə görə debiti azalır, işlənmə müddəti artır, hasil olunan maye qarışıqda su və neftin debiti az fərqlənir;

– kollektora vurulan suyun minerallığı və quyudibi zonada gil minerallarının aktivliyinin tənzimlənməsi layın effektiv neft hasilatının kəskin artımını təmin edə bilər;

– yüksək keçiricilikli sulaşmış zonalarda gil aktivliyinin tənzimlənməsi hesabına gilin şişməsi və parçalanması ilə həmin zonaların bloklanmasını təmin etmək və kollektorun az işlənilmiş hissələrinə su axınını yönəltməklə neft hasilatının artımını identifikasiya etmək olar.

Bu məqsədlə gilstabilləşdiricinin təcrübi-mədən sınaqlarının N.Nərimanov ad. NQÇİ-nin SDXZ ada yatağının bəzi quyularında aparılmasının mümkünlüyü variantlarına baxılmışdır.

SDXZ ada yatağı sahəsində sənaye əhəmiyyətli ilk neft fontanı 6 may 1963-cü ildə Duvannı–Dəniz qırışığının şimal-şərq qanadında yerləşən 24 №-li quyunun sınağı zamanı əldə olunmuşdur. Quyu gündə 250 t neft hasilatı ilə istismara verilmişdir.

Sonrakı geoloji-kəşfiyyat işləri nəticəsində Məhsuldar Qat (MQ) çöküntülərinin V, VII və VIII horizontlarında neft və qaz-kondensat tipli yığımlar aşkar edilmiş, onların bloklar üzrə sərhədləri müəyyənləşdirilmiş və ehtiyatları hesablanmışdır. Yatağın əsas sənaye əhəmiyyətli obyektləri məhz bu üç horizontla bağlıdır.

V horizontun ümumi qalınlığı 85–100 m intervalında dəyişir. Qumluluq göstəricisi sahə üzrə qeyri-bərabər paylanmışdır və maksimum 40–45 %-ə çatır. Horizont litoloji baxımdan qalınlığı əsasən 2–7 m (bəzən 10–12 m) olan bir neçə kollektor layından ibarətdir. Bu laylar üç əsas qumlu-alevrolit paçkasında cəmləşmiş və gil araqatları ilə ayrılmışdır.

Qumluluq şimal-qərbdən cənub-şərq istiqamətində artır. Səngəçal–dəniz sahəsində horizont əsasən gilli xarakter daşıyır və sənaye əhəmiyyətli deyil. Duvannı–dəniz və xüsusilə Xara–Zirə ada sahəsində kollektor xüsusiyyətləri yaxşılaşır və sənaye əhəmiyyətli neftqazlılıq müşahidə olunur.

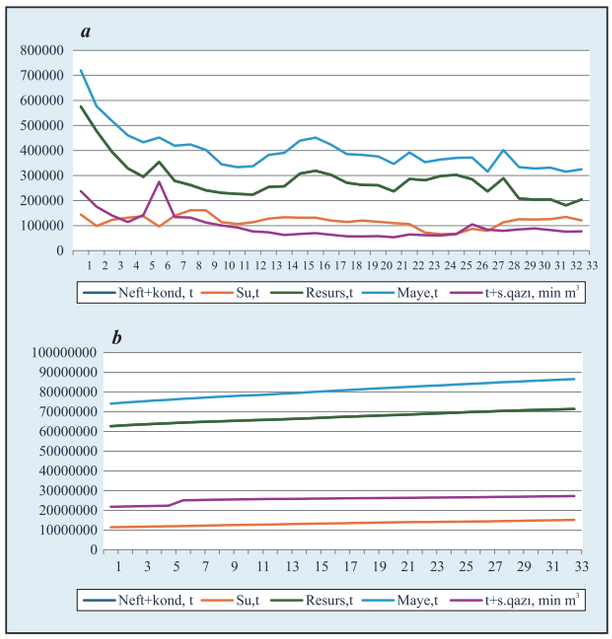
Struktur daxilində V horizont Va (alt), Vo (orta) və Vü (üst) hissələrinə ayrılır. Bu hissələr əsasən litoloji və tektonik ekranlaşmış tipli tələlər ilə xarakterizə olunur və müxtəlif dərinliklərdə neft-su, qaz-neft və qaz-su kontaktları ilə səciyyələnir.

Sənaye hasilatı 1974-cü ildə 361 №-li quyuda V horizontun mənimsənilməsi ilə genişlənmiş (200 t/gün), sonrakı illərdə digər quyular üzrə 70–160 t/gün intervalında stabil hasilatlar əldə edilmişdir.

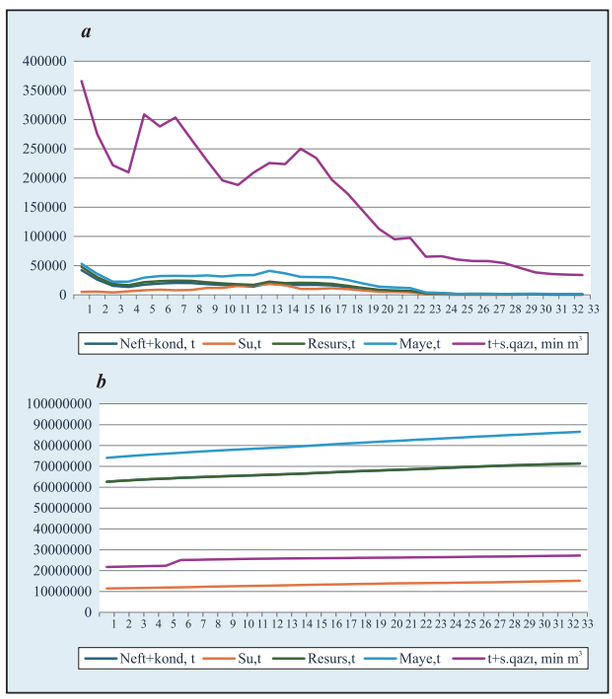
VII horizontun ümumi qalınlığı 70–130 m arasında dəyişir. Kəsilişində üç qumlu-alevrolit lay tipinə ayrılır. Səngəçal sahəsindən Duvannı–dəniz istiqamətində yeni kollektorların yaranması hesabına horizontun qalınlığı və effektiv neft-qazla doyma qalınlığı artır.

Xara–Zirə istiqamətində süxurların litoloji-fasial xüsusiyyətləri yaxşılaşır, dənələrin ölçüsü böyüyür və kollektor xüsusiyyətləri yüksəlir.

VII horizontun neft-qaz yığımı geniş sahəni – Səngəçal, Duvannı, Xara–Zirə və qismən Kənizdağ sahələrini əhatə edir. Neftlilik sərhədi horizontun alt hissəsinin pazlaşma xətti ilə müəyyən edilir (şəkil 1).



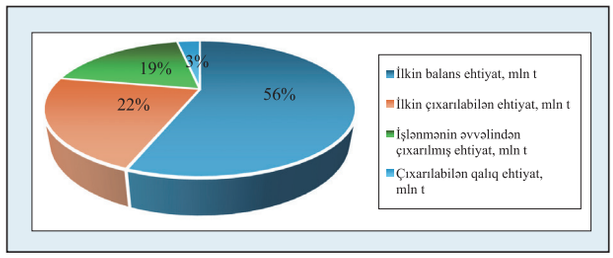
Şəkil 1. SDXZ ada yatağının VII horizontu üzrə işlənmənin texnoloji göstəricilərinin dinamikası:
a – illik hasilat əyriləri; *b* – işlənmənin əvvəlində alınan hasilat əyriləri



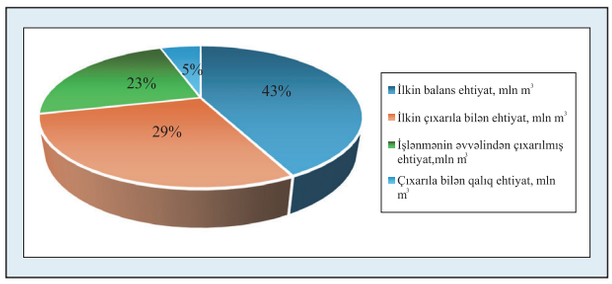
Şəkil 2. SDXZ ada yatağının VIII horizontu üzrə işlənmənin texnoloji göstəricilərinin dinamikası:
a – illik hasilat əyriləri; *b* – işlənmənin əvvəlində alınan hasilat əyriləri

Strukturun müxtəlif qanadlarında yataqların tipi və faza tərkibi dəyişkəndir ki, bu da tektonik pozulmalar və litoloji dəyişkənliklə əlaqədardır.

VIII horizont əsasən qaz-kondensat xarakterlidir. Bəzi bloklarda gilli litofasiya üstünlük təşkil etdiyindən sənaye əhəmiyyəti məhduddur. Qaz yığımlarının paylanmasında xarakterik xüsusiyyət tağ ətrafı sahələrdə kollektor qalınlığının azalması və su ilə doymuş zonaların mövcudluğudur (şəkil 2).



Şəkil 3. SDXZ ada yatağı üzrə hesablanmış qalıq neft ehtiyatlarının nəticəsi



Şəkil 4. SDXZ ada yatağı üzrə hesablanmış qaz ehtiyatının nəticəsi

Son illərin illik hasilat göstəriciləri ilə işlənmənin əvvəlindən toplanmış hasilatın müqayisəsi göstərir ki, bütün horizontlar üzrə hasilatın azalma tendensiyası müşahidə olunur. Bu, yatağın işlənmə mərhələsində olmasını təsdiq edir.

Mədən-geoloji məlumatlar və faktiki hasilatın müqayisəli təhlili göstərir ki, yataqda əhəmiyyətli qalıq neft ehtiyatları mövcuddur.

Quyuların aşağı məhsuldarlıqla istismarı aşağıdakı tədbirlərin aktuallığını göstərir: neft axınının intensivləşdirilməsi üsullarının tətbiqi; laylara aşağı minerallı suyun vurulması; sonrakı mərhələdə lay suyu vurulması ilə qalıq neftin sıxışdırılmasının artırılması; dərin və perspektivli Oliqosen–Miosen və digər stratiqrafik komplekslərin əlavə öyrənilməsi.

Bu tədbirlərin tətbiqi yatağın son hasilat əmsalının artırılmasına və qalıq ehtiyatların sənaye dövriyyəsinə cəlb edilməsinə imkan verə bilər.

Aparılmış geoloji-kəşfiyyat və istismar işləri nəticəsində SDXZ ada yatağında MQ çöküntülərinin V, VII və VIII horizontlarında sənaye əhəmiyyətli neft və qaz-kondensat yığımları aşkar edilmiş, onların bloklar üzrə sərhədləri müəyyənləşdirilmiş və ehtiyatları hesablanmışdır (şəkil 3, 4).

Hazırda yataq işlənmə mərhələsindədir və hasilatın azalması tendensiyası müşahidə olunur. Bununla belə, geoloji quruluşun mürəkkəbliyi və litoloji dəyişkənliklər yataqda əlavə qalıq ehtiyatların mövcudluğunu göstərir. Müasir intensivləşdirmə və təsir üsullarının tətbiqi yatağın gələcək işlənmə perspektivlərini artırır.

Nəticə

Aparılan araşdırmalar göstərmişdir ki, 1963–2024-cü illər üzrə hər bir horizontda neft hasilatının aşağı düşməsi müşahidə edilir.

Sahənin mədən məlumatlarına görə hesablanmış ehtiyatların miqdarı ilə çıxarılan neftin nəticəsinin müqayisəsi əsasən orada kifayət qədər qalıq neft ehtiyatlarının mövcudluğunu təsdiq edir. Quyuların kifayət qədər aşağı məhsuldarlıqla istismar olunması onlara neft axınının intensifikasiyası tədbirlərinin aparılmasını, o cümlədən vurucu quyu ilə sahəyə lay suyundan fərqli aşağı minerallı suyun vurulmasını və sonradan lay suyunun vurulması ilə qalıq neftin işlənməyə cəlb oluna bilmə imkanlarının perspektivliyinin qiymətləndirilməsini zəruri edir.

Belə ki V, VII və VIII horizontlarda əhəmiyyətli qalıq neft ehtiyatı mövcuddur. Ənənəvi suvurmanın effektivliyi məhduddur. Bütün bunları nəzərə alaraq, aşağıdakı nəticələri qeyd etmək olar: aşağı minerallı su vurulması heterogen kollektorlar üçün perspektivli üsuldur; riyazi model 3–5 % əlavə çıxarılmanı proqnozlaşdırır; risk analizi texnologiyanın tətbiqini məqsədəuyğun hesab etməyə imkan verir.

Bu yanaşma SDXZ ada yatağının işlənməsinin yeni mərhələsi üçün innovativ konsepsiya kimi qiymətləndirilə bilər.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *Cabbarova, K.Ş.* Gilli kollektorda neftin müxtəlif mineral tərkibli su ilə sıxışdırılması prosesini gilstabilləşdirici tərkibin tətbiqi ilə tənzimləməklə neft hasilatının proqnozlaşdırılması // "Texniki və təbiət elmlərinin innovativ inkişaf perspektivləri" Beynəlxalq elmi-texniki konfransının materialları. – Bakı: 25-26 noyabr, 2021, s. 145-149.

2. *Фейзуллаев Х.А., Агаларова С.В*. Прогнозирование технологических показателей процесса вытеснение нефти водой с различным минерологическим составом в глиносодержащих коллекторах // SOCAR Proceedings, 2020, № 3, с. 135-141.

3. *Азиз Х., Сеттари Э*. Математическое моделирование пластовых систем / Пер. с английского. – М.: Недра, 1982, 407 с.

4. *Milad Sharifipour, Peyman Pourafshary, Ali Nakhaee*. Study of the effect of clay swelling on the oil recovery factor in porous media using a glass micromodel // Applied Clay Science V 141, June 2017, p. 125-131.

5. *Ализаде А.А., Гулиев И.С., Мамедов П.З. и др*. Продуктивная толща Азербайджана. – М.: Изд. дом Недра, 2018, в 2-х томах, т. 1, 306 с.

6. *Ализаде А.А., Гулиев И.С., Мамедов П.З. и др*. Продуктивная толща Азербайджана. – М.: Изд. дом Недра, 2018, в 2-х томах. т. 2, 236 с.

7. *İsmayılov F.S., Salmanov Ə.M., Məhərrəmov B.İ., Şəkərov H.İ.* Azərbaycanın neft-qaz yataqları və perspektivli strukturları. Xəzər dənizi akvatoriyası (II Sorğu kitabı). – Bakı: "MSV" MMC nəşriyyatı, 2024, 647 s.

8. *Lager A., Webb K.J., Black C.J. et al*. Low Salinity Oil Recovery – An Experimental Investigation // Petrophysics, 2008, vol. 49, No. 1, p. 28-35.

9. *Табакаева Л.С.* Экспериментальные исследования особенностей воздействия на низкопроницаемые глиносодержащие нефтяные пласты растворами полиэлектролитов. дис. к. т. н. Москва, 2007, 174 с.

References

1. *Cabbarova K.Sh.* Gilli kollektorda neftin müxtelif mineral terkibli su ile shixishdirilmasi prosesini gilstabilleshdirici terkibin tetbiqi ile tenzimlemekle neft hasilatinin proqnozlashdirilmasi // "Texniki ve tebiet elmlerinin innovativ inkishaf perspektivleri" Beynelxalq elmi-texniki konfransinin materiallari. – Baku: 25-26 noyabr, 2021, s. 145-149.

2. *Feyzullayev Kh.A., Agalarov S.V*. Proqnozirovanie texnoloqiceskix pokazateley protsessa vitisnenie nefti vodoy s razlichnim mineroloqicheskim sostavom v qlinosoderjashikh kollektorakh // SOCAR Proceedings, 2020, № 3, s. 135-141.

3. *Aziz Kh., Settari E*. Matematicheskoe madelirovanie plastovikh sistem / Per. s anqliyskoqo. – M.: Nedra, 1982, 407 s.

4. *Milad Sharifipour, Peyman Pourafshary, Ali Nakhaee*. Study of the effect of clay swelling on the oil recovery factor in porous media using a glass micromodel // Applied Clay Science V 141, June 2017, p. 125-131.

5. *Alizade A.A., Quliyev I.S., Mammedov P.Z. i dr.* Produktivnaya tolsha Azerbaydjana. – M.: Izd. Dom. Nedra, 2018, v 2-x tomax, t 1, 306 s.

6. *Alizade A.A., Quliyev I.S., Mammedov P.Z. i dr.* Produktivnaya tolsha Azerbaydjana. – M.: Izd. Dom. Nedra, 2018, v 2-x tomax, t. 2, 236 s.

7. *Ismayilov F.S., Salmanov A.M., Meherremov B.I., Shekerov H.I.* Azerbaycanin neft-qaz yataqlari ve perspektivli strukturları // Xezer denizi akvatoriyasi (II Sorgu kitabi). – Baki: "MSV" MMC neshriyyati, 2024, 647 s.

8. *Lager A., Webb K.J., Black C.J., et al.* Low Salinity Oil Recovery – An Experimental Investigation // Petrophysics, 2008, vol. 49, No. 1, p. 28-35.

9. *Tabakaeva L.S.* Eksperimental'niye issledovaniya osobennostey vozdeystviya na nizkopronisayemie qlinsoderjashiye neftyaniy plasty rastvorami polielektrolitov. dis. k. t. n. Moskva, 2007, 174 s.

UDC 62-4+665.6/7

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-28-34

New conceptual approaches to the mechanism of action of Janus nanoparticles for enhanced oil recovery

M.M. Asadov[1,2], Dr. in Ch. Sc., E.N. Aliyev[1], Cand. in Tech. Sc., A.M. Salimli[1]
[1]"Geotechnological Problems of oil, gas, and Chemistry" SRI,
[2]Institute of Chemistry

e-mail: mirasadov@gmail.com

Keywords: Janus nanoparticles, interfacial catalysts, multiphase reactions, enhanced oil recovery, Pickering emulsions, functional integration, EOR.

The development of advanced nanomaterials for enhanced oil recovery (EOR) requires not only improved efficiency but also a clear mechanistic understanding of particle–fluid–rock interactions at multiple length scales. In this work, a comprehensive and conceptually driven study of Janus nanoparticles is presented, focusing on the integration of controlled synthesis, interfacial catalysis, and mechanistic interpretation of their action in multiphase oil–water systems. Unlike conventional nanoparticles and surfactants, Janus nanoparticles possess an intrinsic asymmetry that enables directional interactions with immiscible phases and porous media, providing a fundamentally different mode of action.

A multistage synthetic strategy was developed to fabricate Janus colloidosomes with well-defined hydrophilic and hydrophobic domains. The approach combines emulsion-based size control, selective polymerization, and phase-specific surface functionalization. Catalytically active components, including gold nanoparticles and heteropolyanions ($PW_{12}O_{40}^{3-}$), were immobilized exclusively on the hydrophilic side of the particles, while the hydrophobic side was modified with nonpolar functional groups to control wettability. Structural and compositional asymmetry was confirmed by scanning and transmission electron microscopy, elemental analysis, MAS NMR spectroscopy, and laser diffraction measurements, demonstrating the formation of monodisperse Janus nanoparticles with sizes in the range of 200–500 nm.

The interfacial behavior and dynamics of Janus nanoparticles were investigated experimentally and supported by GPU-based molecular simulations and density functional theory (DFT) calculations. The modeling results revealed stable self-orienting configurations of Janus particles at the oil–water interface, driven by asymmetric surface energies and localized intermolecular interactions. These findings provide a molecular-level explanation for the enhanced interfacial activity and stability of Pickering emulsions formed in the presence of Janus nanoparticles.

Based on the obtained results, several original conceptual mechanisms governing the action of Janus nanoparticles in porous media are proposed. The asymmetric wettability mechanism describes the ability of Janus particles to locally rearrange surface energies at the oil–water–rock interface, facilitating selective adsorption and oil displacement. The self-orienting behavior mechanism explains the directional alignment of particles under pressure, flow, and compositional gradients, which improves capillary control and emulsion stability. In addition, a dynamic interfacial activity mechanism is introduced, highlighting the adaptive response of Janus nanoparticles to changes in salinity, temperature, and shear conditions commonly encountered in reservoir environments.

A key conceptual contribution of this work is the "nano-anchor" micromechanism. According to this concept, Janus nanoparticles temporarily anchor at oil–rock interfaces due to their asymmetric surface chemistry, reducing water channeling and recirculation while increasing microscopic sweep efficiency. This mechanism provides a new perspective on how nanoparticles can actively participate in flow redistribution within porous media rather than acting solely as passive stabilizers.

Comparative studies demonstrate that Janus nanoparticles significantly outperform conventional nanoparticles and surfactants in biphasic catalytic and oil displacement systems. Phase-transfer reaction conversions increased from approximately 68 % for conventional systems to up to 97 % in the presence of Janus nanoparticles. At the same time, emulsion stability and residual oil recovery were substantially enhanced, confirming the synergistic effect of structural asymmetry, localized catalysis, and interfacial dynamics.

Overall, this work establishes a unified conceptual framework linking the synthesis, structure, and mechanism of action of Janus nanoparticles in enhanced oil recovery. The proposed mechanisms extend beyond traditional surfactant-based models and provide a universal platform for the rational design of smart interfacial nanomaterials applicable not only to EOR but also to a wide range of multiphase catalytic and separation processes.

Yanus nanohissəciklərinin neft hasilatını artırmaq üçün təsir mexanizminə yeni konseptual yanaşmalar

M.M. Əsədov, k.e.d.[1,2], E.N. Əliyev, t.e.n.[1], A.M. Səlimli[1]
[1]"Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və Kimya" ETİ,
[2]Kimya İnstitutu

Açar sözlər: Yanus nanohissəcikləri, sətharası katalizatorlar, çoxfazalı reaksiyalar, artan neft hasilatı, Pickering emulsiyaları, funksional inteqrasiya, neft artırılması.

Neft hasilatının artırılması üçün müasir nanomaterialların yaradılması yalnız texnoloji səmərəliyin yüksəldilməsini deyil, eyni zamanda nanohissəciklərin çoxfazalı maye sistemləri və məsaməli mühitlə qarşılıqlı təsir mexanizmlərinin dərindən anlaşılmasını tələb edir. Bu işdə Yanus nanohissəciklərinin kompleks və konseptual əsaslı tədqiqi təqdim olunur; burada sintez, struktur quruluşu, interfeys katalizi və təsir mexanizmləri vahid funksional sistem kimi nəzərdən keçirilir. Ənənəvi nanohissəciklər və səthi aktiv maddələrdən fərqli olaraq, Yanus nanohissəcikləri daxili asimmetriyaya malikdir və bu xüsusiyyət onların neft, su və süxur səthləri ilə istiqamətlənmiş qarşılıqlı təsirini təmin edir.

Hidrofil və hidrofob sahələri aydın şəkildə ayrılmış Yanus kolloidosomlarının alınması üçün çoxmərhələli sintez strategiyası işlənmişdir. Bu strategiya emulsiyaya əsaslanan ölçü nəzarətini, selektiv polimerləşməni və faza-seçici səth funksionallaşdırılmasını birləşdirir. Katalitik aktiv komponentlər – qızıl nanohissəcikləri və heteropolianionlar ($PW_{12}O_{40}^{3-}$) – yalnız hidrofil sahədə immobilizə edilmiş, hidrofob səth isə islanma xüsusiyyətlərinin tənzimlənməsi üçün qeyri-polyar funksional qruplarla modifikasiya olunmuşdur. Yanus nanohissəciklərinin asimmetrik quruluşu və morfologiyası SEM və TEM, element analizi, MAS NMR spektroskopiyası və lazer difraksiyası üsulları ilə təsdiqlənmişdir. Alınan hissəciklər 200–500 nm ölçü diapazonunda monodisperslik nümayiş etdirir.

Yanus nanohissəciklərinin interfeys davranışı eksperimental olaraq öyrənilmiş və GPU əsaslı molekulyar modelləşdirmə və sıxlıq funksional nəzəriyyəsi (DFT) hesablamaları ilə dəstəklənmişdir. Modelləşdirmə nəticələri neft–su interfeysində Yanus hissəciklərinin asimmetrik səth enerjisi və lokal molekulyar qarşılıqlı təsirlər nəticəsində sabit öz-özünə oriyentasiya konfiqurasiyaları formalaşdırdığını göstərmişdir. Bu nəticələr Yanus nanohissəciklərinin yüksək interfeys aktivliyini və Pikering emulsiyalarının sabitliyini molekulyar səviyyədə izah edir.

Əldə olunan eksperimental və nəzəri məlumatlar əsasında Yanus nanohissəciklərinin məsaməli mühitdə təsirini izah edən bir sıra orijinal konseptual mexanizmlər təklif edilmişdir. Asimmetrik islanma mexanizmi neft–su–süxur interfeysində səth enerjisinin lokal şəkildə yenidən paylanmasını və neftin seçici şəkildə yer dəyişməsini təmin edir. Öz-özünə oriyentasiya mexanizmi isə təzyiq, axın və tərkib qradiyentləri altında hissəciklərin istiqamətlənmiş düzülməsini izah edir və bu da kapillyar nəzarəti və emulsiyaların stabilliyini artırır. Bundan əlavə, Yanus nanohissəciklərinin minerallaşma, temperatur və sürüşmə şəraitində adaptiv davranışını əks etdirən dinamik interfeys aktivliyi anlayışı təqdim olunur.

Bu işin əsas konseptual töhfələrindən biri "nano-anker" mikromexanizmidir. Bu mexanizmə görə, Yanus nanohissəcikləri səth asimmetriyası hesabına neft–süxur interfeysində müvəqqəti olaraq bərkiyir, suyun kanallaşmasını azaldır və məsaməli mühitdə axınların yenidən paylanmasına səbəb olur. Nəticədə mikroskopik süpürmə səmərəliliyi yüksəlir və nanohissəciklər passiv stabilləşdiricilər deyil, aktiv axın tənzimləyiciləri kimi çıxış edir.

Müqayisəli tədqiqatlar göstərmişdir ki, Yanus nanohissəcikləri iki fazalı katalitik və neft çıxarılması sistemlərində ənənəvi nanohissəciklər və səthi aktiv maddələrlə müqayisədə əhəmiyyətli üstünlüklər nümayiş etdirir. Fazalararası reaksiyaların çevrilmə dərəcəsi təxminən 68 %-dən 97 %-ə qədər artır, eyni zamanda emulsiyaların stabilliyi və qalıq neftin çıxarılma səmərəliyi yüksəlir. Təklif olunan konseptual çərçivə Yanus nanohissəciklərinin quruluşu, xüsusiyyətləri və təsir mexanizmi arasında əlaqəni sistemli şəkildə izah edir və EOR ilə yanaşı digər çoxfazalı katalitik proseslər üçün də "ağıllı" interfeys nanomateriallarının dizaynına universal əsas yaradır.

Новые концептуальные подходы к механизму действия янус-наночастиц для повышения нефтеотдачи

М.М. Асадов, д.х.н.[1,2], Э.Н. Алиев, к.т.н.[1], А.М. Салимли[1]
[1]НИИ "Геотехнологические проблемы нефти, газа и Химия",
[2]Институт химии

Ключевые слова: янус-наночастицы, интерфазные катализаторы, многофазные реакции, нефтеотдача, эмульсии Пикеринга, функциональная интеграция, увеличение нефтеотдачи.

Разработка эффективных наноматериалов для повышения нефтеотдачи пластов требует не только увеличения технологической эффективности, но и глубокого понимания механизмов взаимодействия наночастиц с многофазными флюидными системами и пористой средой. В данной работе представлено комплексное и концептуально ориентированное исследование янус-наночастиц, в котором синтез, структурная организация, межфазный катализ и механизмы действия рассматриваются как единая функциональная система. В отличие от традиционных наночастиц и поверхностно-активных веществ, янус-наночастицы обладают внутренней асимметрией, обеспечивающей направленное взаимодействие с нефтью, водой и поверхностью породы.

Разработан многостадийный метод синтеза янус-коллоидосом с чётко разделёнными гидрофильной и гидрофобной сторонами. Метод включает эмульсионный контроль размеров частиц, селективную полимеризацию и фазоспецифическую функционализацию поверхности. Каталитически активные компоненты — наночастицы золота и гетерополианионы ($PW_{12}O_{40}^{3-}$) – были локализованы исключительно на гидрофильной стороне частиц, тогда как гидрофобная поверхность модифицировалась неполярными функциональными группами для управления смачиваемостью. Асимметричная структура и морфология янус-наночастиц подтверждены методами сканирующей и

просвечивающей электронной микроскопии, элементного анализа, MAS ЯМР-спектроскопии и лазерной дифракции. Полученные частицы характеризуются высокой однородностью и размерами в диапазоне 200–500 нм.

Межфазное поведение янус-наночастиц исследовано экспериментально и дополнено результатами молекулярного моделирования с использованием GPU-платформ (на графических процессорах) и методов теории функционала плотности (DFT). Расчёты показали наличие устойчивых самориентирующихся конфигураций частиц на границе раздела нефть–вода, обусловленных асимметрией поверхностной энергии и локальными межмолекулярными взаимодействиями. Эти результаты дают молекулярное объяснение повышенной межфазной активности янус-наночастиц и высокой стабильности эмульсий Пикеринга.

На основе совокупности экспериментальных и расчётных данных предложен ряд оригинальных концептуальных механизмов действия янус-наночастиц в пористой среде. Механизм асимметричной смачиваемости описывает локальное перераспределение поверхностных энергий на границе нефть–вода–порода, способствующее селективной адсорбции и вытеснению нефти. Механизм самоориентации объясняет направленное выстраивание частиц под действием градиентов давления, потока и состава, что улучшает капиллярный контроль и устойчивость эмульсий. Дополнительно введено понятие динамической межфазной активности, отражающее способность янус-наночастиц адаптироваться к изменяющимся условиям минерализации, температуры и сдвиговых нагрузок.

Ключевым концептуальным вкладом работы является микромеханизм «нано-якорей», согласно которому янус-наночастицы временно фиксируются на границе нефть–порода за счёт асимметрии поверхности. Это приводит к снижению рециркуляции воды, перераспределению потоков в поровом пространстве и повышению коэффициента микроскопического охвата вытеснения. Таким образом, наночастицы выступают не как пассивные стабилизаторы, а как активные элементы управления течением.

Сравнительные исследования показали, что янус-наночастицы значительно превосходят традиционные наночастицы и ПАВ в двухфазных каталитических и вытесняющих системах. Конверсия межфазных реакций возрастает с ~68 % до 97 %, одновременно повышаются устойчивость эмульсий и степень извлечения остаточной нефти. Предложенная концептуальная модель связывает структуру, свойства и механизм действия янус-наночастиц и формирует универсальную платформу для создания «умных» межфазных наноматериалов, перспективных как для EOR, так и для широкого круга многофазных каталитических процессов.

Introduction

Janus interfacial catalysts and Janus nanoparticles represent a promising class of materials capable of significantly enhancing interfacial mass transfer and reaction kinetics due to their asymmetric structure [1–4]. Unlike conventional nanoparticles and surfactants, Janus nanoparticles allow the integration of hydrophilic and hydrophobic properties within a single particle, creating unique opportunities for controlling multiphase processes [5–7].

Despite extensive research on classical Janus systems, there is a lack of a comprehensive approach that simultaneously integrates:

− multistage synthesis and morphological control;

− localized placement of catalytic centers;

− dynamic adaptation of interfacial activity;

− conceptual mechanisms for residual oil displacement in porous media.

Aim of the Study: To develop a universal Janus nanoparticle platform combining catalytic and oil recovery functions, and to propose novel conceptual mechanisms of particle–phase interaction under varying reservoir conditions.

Materials and Methods

1. Synthesis of Janus Nanoparticles

A multistage approach was applied, combining [1]:

1. Emulsion-based particle size control;

2. Polymerization on the hydrophobic side;

3. Localized immobilization of catalysts (gold, PW12O3-40) on the hydrophilic side [4–6];

4. Functionalization to create hydrophilic and hydrophobic domains for wettability control [8].

The multi-step synthesis of Janus nanoparticles includes: (*a*) Formation of emulsion droplets; (*b*) Polymerization on the hydrophobic side; (*c*) Selective immobilization of catalytic nanoparticles on the hydrophilic side; (*d*) Final structure of Janus particles.

2. Characterization Techniques

Table 1 presents the characterization metods and the results obtained from the use of Janus nanoparticles for enhanced oil recovery.

Results and discussion

1. Structure and Morphology

− Homogeneous Janus colloidosomes with clearly separated hydrophilic and hydrophobic sides were obtained.

− SEM analysis showed smooth morphology on the hydrophobic side, while the hydrophilic side contained immobilized Fe_3O_4 and $PW12O^{3-}_{40}$ particles with increased roughness [1].

2. Catalytic activity

− Localized immobilization of gold nanoparticles and polyionic liquids enhanced phase-transfer reaction rates.

− Application in biphasic systems increased conversion from 68 % (conventional system) to

Table 1

Technique	Purpose	Result
SEM / TEM	Morphology, layer distribution	Clear separation of hydrophilic/hydrophobic sides
Laser diffraction	Particle size & emulsion stability	200–500 nm, monodisperse
Elemental analysis	Catalyst localization	Gold & $PW_{12}O^{3-}_{40}$ only on hydrophilic side
MAS NMR	Functionalization confirmation	Peaks correspond to polymer and ionic liquid attacment
GPU-based modeling (GALAMOST) / DFT	Particle dynamics, interfacial interactions	Predicted orientation and wettability effects

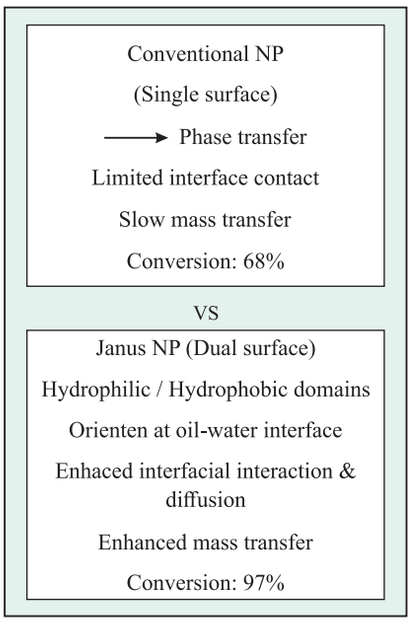


Figure 1. Comparison of catalytic activity: conventional nanoparticles vs Janus nanoparticles

97 % [4, 5].

Figure 1 demonstrates the experimental [4–9] advantage of Janus nanoparticles.

A comparison of the catalytic activity of conventional nanoparticles and Janus nanoparticles in two-phase systems shows an increase in the rate of interphase reactions and an increase in the efficiency of phase transfer. This is consistent with data from studies [4–9].

3. Conceptual mechanisms in oil recovery

This study proposes original mechanisms beyond standard surfactant effects.

1. Asymmetric Wettability Mechanism

– Janus particles create local hydrophilic/hydrophobic domains in the porous medium, enhancing oil displacement.

2. Self-Orienting Behavior

– Under pressure gradients, particles orient specific sides toward oil or water, increasing emulsion stability and capillary control.

3. Dynamic Interfacial Activity

– Particles adaptively change interfacial behavior over time, crucial under varying salinity, temperature, and shear conditions.

4. Micromechanism of "Nano-Anchors"

– Particles temporarily anchor at the oil–rock interface, reducing water recirculation and improving sweep efficiency.

5. Comparative Concept

– Structural comparison of conventional nanoparticles, surfactants, and Janus nanoparticles by mechanism of action, not just effect.

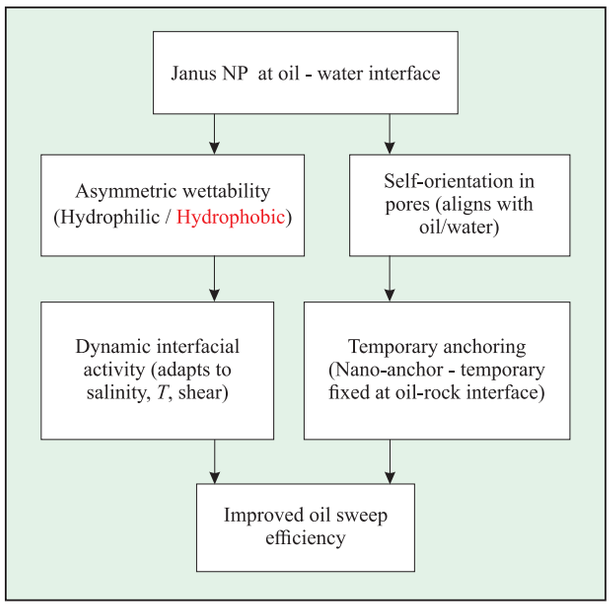


Figure 2. Conceptual mechanisms of Janus nanoparticles

Figure 2 explains the advantage of using Janus nanoparticles conceptually through asymmetry, self-orientation, dynamic interfacial activity, and "nanoanchors". A conceptual diagram of the mechanisms of Janus nanoparticles in reservoir conditions is shown in Figure 2. It includes asymmetric wettability, self-orientation at the oil-water interface, dynamic interfacial activity and temporary anchoring, which together enhance the efficiency of oil displacement and sweep [4–9].

The enhanced catalytic performance of Janus

Table 2

Sample	Conversion (%)	Emulsion Stability (h)	Residual Oil Recovery (%)
Conventional nanoparticles	68	4	45
Surfactants	75	6	52
Janus nanoparticles	97	12	72

Taking into account the above, the following schemes for visualization can be proposed. Surface functionalization of the nanoparticles was used to alter their physicochemical properties and improve their stability in oil solutions. A sequence of reactions was used to modify the nanoparticle properties, producing effective Janus colloidosomes.

Table 3

Parameter	Effect
Homogenizer speed	Morphological stability, emulsion stability
Paraffin template	Symmetry control, interfacial oil movement
Polymerization	Catalytic activity and improved emulsion on a hydrophobic surface
Placement of heteropolyanions	Improved mass transfer and interfacial catalysis
Immobilization of gold nanoparticles	Accelerates reactions, increases conversion

nanoparticles illustrated in Figure 1 can be explained by the conceptual mechanisms depicted in Figure 2. Unlike conventional nanoparticles, Janus nanoparticles exhibit asymmetric wettability, which locally rearranges surface energies at the oil–water interface, promotes selective adsorption, and facilitates phase transfer. Their self-orienting behavior under pressure and compositional gradients further stabilizes emulsions and enhances microscopic oil displacement. Dynamic interfacial activity and temporary anchoring at pore surfaces contribute to improved sweep efficiency, providing a mechanistic basis for the superior catalytic and oil recovery performance [4–18].

4. Application in Oil Recovery

The results of the evaluation of the effectiveness of Janus nanoparticles on the extraction of residual oil and emulsion stability are presented in Table 2.

The results of the influence of Janus nanoparticles on the extraction of residual oil and emulsion stability showed the following.

– Janus particles enhance oil–water emulsion stability, increase residual oil displacement, and reduce produced water volume.

– Phase-selective placement of catalytic and polymeric components optimizes interfacial mass transfer.

– Recyclability after centrifugation preserves particle activity over multiple cycles.

The parameters of synthesis, functionalization and the results of the action of Janus particles to enhance oil recovery are given in Table 3.

The novelty of this study lies in the systematic integration of synthesis, functionalization, and understanding of the mechanism of action of Janus particles, including their application to enhanced oil recovery.

The stages of synthesis and functionalization of Janus particles are shown in Figure 3. The main stages of synthesis and functionalization of Au-containing nanoparticles are as follows: Silica → template → hydrophobic/hydrophilic surface → Au NP immobilization → Janus colloidosome.

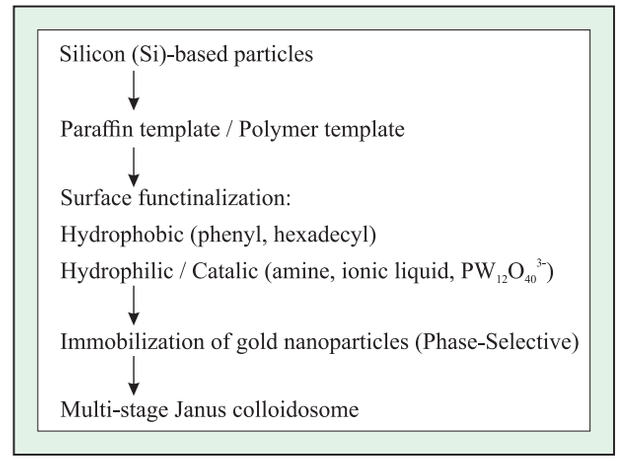


Figure 3. Synthesis and functionalization of Janus particles

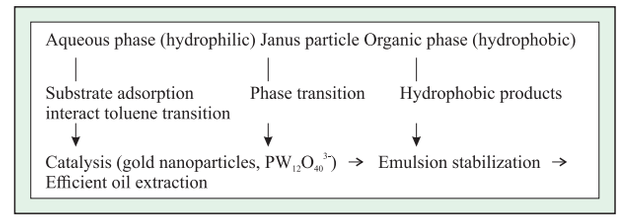


Figure 4. Phase transition and reaction mechanism of the Janus catalyst

The above scheme of synthesis and functionalization of Janus particles significantly changes the interfacial properties. This scheme demonstrates phase-selective catalytic activity and the separation of hydrophilic and hydrophobic surfaces.

The mechanism of interphase transition taking into account the aqueous phase – Janus particle –

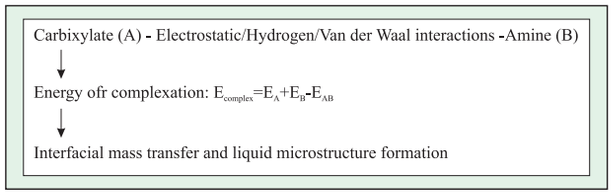


Figure 5. Molecular interactions of nanoparticles

organic phase; catalytic reaction, emulsion stabilization, selective product transfer is presented in Figure 4. The oil-water interface is stabilized by phase-selective catalysis and the Pickering principle [4, 5, 8].

The molecular interactions analyzed by modeling and molecular analysis of the carboxylate-amine complex, as well as by taking into account the optimized DFT data of the configurations [17], are shown in Figure 5. The simulation was performed on a GPU-based system with large-scale simulations of 179.600 particles. DFT (density functional theory) optimization of the equilibrium configuration of functional groups was performed in an aqueous medium.

Thus, we can conclude the following. Comparison of conventional nanoparticles and Janus nanoparticles (Figure 1) shows that the asymmetric surface of Janus particles simultaneously enhances catalytic activity and phase-selective interactions with oil and water. The conceptual mechanisms (Figure 2) explain this behavior through a combination of directed surface energy rearrangement, self-orientation in the pore space, and dynamic interfacial activity. Consequently, Janus nanoparticles improve interfacial mass transfer and residual oil displacement efficiency, making them more promising for enhanced oil recovery (EOR) applications compared to conventional nanoparticles [4–9].

Conclusion

– A comprehensive method for Janus nanoparticle synthesis with controlled morphology and functional integration was developed.

– Novel conceptual mechanisms were proposed, including asymmetric wettability control, self-orienting behavior, and the “nano-anchor” micromechanism.

– High efficiency in interfacial processes and potential for enhanced oil recovery (EOR) were demonstrated.

– The study provides a methodological foundation for future research on multiphase catalytic systems and “smart” functional materials.

Conflict of interest

The authors of this work declare that they have no conflicts of interest.

References

1. *Chu Z., Zhong B., Zhou W., Cui P., Gu J., Tian B., Olasoju O.S., Zhang X., Sun W*. Study in the experimental manipulation of Janus particle synthesis via emulsion-based method. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2020, p. 603, 125183.

2. *Lee Y.G., Park J.H., Oh C., Oh S.G., Kim Y.C*. Preparation of highly monodispersed hybrid silica spheres using a one-step sol-gel reaction in aqueous solution. Langmuir, 2007, vol. 23, pp. 10875-10878.

3. *Jiang S., Granick S*. Controlling the geometry (Janus balance) of amphiphilic colloidal particles. Langmuir, 2008, vol. 24, pp. 2438-2445.

4. *Vafaeezadeh M., Thiel W.R*. Janus interphase catalysts for interfacial organic reactions // Journal of Molecular Liquids, 2020, p. 113735.

5. *Zhao R., Han T., Sun D., Huang L., Liang F., Liu Z*. Poly(ionic liquid)-Modified Magnetic Janus Particles for Dye Degradation. Langmuir, 2019, vol. 35, pp. 11435-11442.

6. *Zhao R., Yu X., Sun D., Huang L., Liang F., Liu Z*. Functional Janus Particles Modified with Ionic Liquids for Dye Degradation. ACS Applied Nano Materials, 2019, vol. 2, pp. 2127-2132.

7. *Zhang M., Tang Z., Fu W., Wang R., Tan D., Yin*. An ionic liquid-functionalized amphiphilic Janus material as a Pickering interfacial catalyst for asymmetric sulfoxidation in water // Chemical Communications, 2019, vol. 55, pp. 592-595.

8. *Vafaeezadeh M., Breuninger P., Lösch P., Wilhelm C., Ernst S., Antonyuk S., Thiel W.R.* Janus Interphase Organic-Inorganic Hybrid Materials: Novel Water-Friendly Heterogeneous Catalysts. ChemCatChem, 2019, vol. 11, pp. 2304-2312.

9. *Vafaeezadeh M., Wilhelm C., Breuninger P., Ernst S., Antonyuk S., Thiel W.R.* A Janus-Type Heterogeneous Surfactant for Adipic Acid Synthesis. ChemCatChem, 2020, vol. 12, pp. 2695-2701.

10. *Chauhan A., Rastogi M., Scheier P., Bowen C., Kumar R.V., Vaish R.* Janus Nanostructures for Heterogeneous Photocatalysis. Applied Physics Reviews, 2018, № 5, p. 41111.

11. *Aliyev E.N., Asadov M.M., Bogopolskiy V.O.* Application of New Ejector to Recover Residual Oil from Depleted Formations // SOCAR Proceedings, 2025, № 4, pp. 3-11.

12. *Asadov M.M., Aliyev E.N., Aliyeva F.B.* Experimental-Modeling Study of Residual Oil Recovery from Waterflooded Reservoirs Using Enhanced Alkaline-Foam Compositions // Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 2026, vol. 27, № 3, pp. 1035-1042.

13. *Asadov M.M., Aliyev E.N., Salimli A.M.* Investigation of Surfactant Systems for Enhanced Oil Recovery in Heterogeneous Reservoirs // Journal of Scientific Proceedings of SRI GPOGC, 2025, vol. 25, № 2, pp. 169-175.

14. *Asadov M.M., Aliyev E.N., Salimli A.M.* Intensification of Oil Field Development by Chemical Methods and the Kinetics of Paraffin Deposition from Oil // Azerbaijan Oil Industry, 2026, № 3, pp. 33-46.

15. *Akbari M., Shariaty-Niassar M., Matsuura T, Ismail A.F.* Janus Graphene Oxide Nanosheet: A Promising Additive for Enhancement of Polymeric Membranes Performance Prepared via Phase Inversion // Journal of Colloid and Interface Science, 2018, vol. 527, pp. 10-24.

16. *Yuan K., Li Y., Huang X., Liang Y., Liu Q., Jiang G.* Templated Synthesis of a Bifunctional Janus Graphene for Enhanced Enrichment of Both Organic and Inorganic Targets // Chemical Communications, 2019, vol. 55, pp. 4957-4960.

17. *Zhu L., Wang D., Guan J.L., Sun Z.Y., Lu Z.* The Advantages of Nanoparticle Surfactants over Janus Nanoparticles on Structuring Liquids // Nanoscale, 2022, vol. 14, pp. 3554-3560.

18. *Tohidi Z., Teimouri A.m Jafari A., Gharibshahi R., Omidkhah M.R.* Application of Janus nanoparticles in enhanced oil recovery processes: Current status and future opportunities // Journal of Petroleum Science and Engineering, 2022, vol. 208, Part D, p. 109602.

UOT 681.58:504.064

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-35-43

Ətraf mühitin monitorinq sistemi və qaz xromatoqrafiyasının inteqrasiyası yeni yanaşmada

D.Q. Xurşudov
Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

e-mail: dursuncosqun@gmail.com

Açar sözlər: Smart Building, qaz xromatoqrafiyası, süni intellekt, IoT, VOC, MATLAB, daxili hava keyfiyyəti, adaptiv idarəetmə, HVAC, monitorinq.

İntellektual binalarda daxili hava keyfiyyətinin operativ qiymətləndirilməsi insanların sağlamlığının, təhlükəsizliyinin və komfort şəraitinin təmin edilməsinin əsas şərtlərindən biridir. Məqalədə uçucu üzvi birləşmələrin və digər zərərli qaz komponentlərinin aşkarlanması üçün qaz xromatoqrafiyasının, Əşyaların İnterneti (IoT) və süni intellekt texnologiyalarının inteqrasiyasına əsaslanan yeni monitorinq və adaptiv idarəetmə yanaşması təklif edilir. Sistemdə qaz xromatoqrafından əldə olunan xromatoqram siqnalları ilkin emaldan keçirilir, piklərin saxlanma müddəti, amplitudu, sahəsi, eni və statistik parametrləri müəyyən edilir.

Alınmış əlamətlər süni intellekt moduluna ötürülərək qaz komponentlərinin identifikasiyası, onların konsentrasiyasının qiymətləndirilməsi və təhlükə səviyyəsinin müəyyən olunması həyata keçirilir. IoT əsaslı sensor şəbəkəsindən daxil olan temperatur, rütubət, CO_2, CO və digər operativ ölçmələr xromatoqrafik məlumatlarla birləşdirilir.

Təklif edilən yanaşmanın MATLAB mühitində simulyasiya modeli formalaşdırılmış, süni xromatoqramların generasiyası, piklərin aşkarlanması, qazların təsnifatı və risk indeksinə əsaslanan HVAC idarəetmə mexanizmi müəyyən edilmişdir. Təklif olunan sistem intellektual binalarda hava keyfiyyətinin daha selektiv monitorinqi və adaptiv idarə olunması üçün istifadə edilə bilər.

Интеграция системы экологического мониторинга и газовой хроматографии в новом подходе

Д.Г. Хуршудов
Азербайджанский университет архитектуры и строительства

Ключевые слова: Smart Building, газовая хроматография, искусственный интеллект, IoT, ЛОС, MATLAB, качество воздуха в помещении, адаптивное управление, HVAC, мониторинг.

Оперативная оценка качества воздуха в помещениях интеллектуальных зданий является одним из ключевых условий обеспечения здоровья, безопасности и комфорта людей. В статье предлагается новый подход к мониторингу и адаптивному управлению, основанный на интеграции газовой хроматографии, Интернета вещей (IoT) и технологий искусственного интеллекта (ИИ) для обнаружения летучих органических соединений (ЛОС) и других вредных газовых компонентов. В системе сигналы хроматограмм, полученные от газового хроматографа, проходят предварительную обработку, в ходе которой определяются время удерживания пиков, их амплитуда, площадь, ширина и статистические параметры.

Полученные признаки передаются в модуль искусственного интеллекта, где осуществляются идентификация газовых компонентов, оценка их концентрации и определение уровня опасности. Оперативные измерения температуры, влажности, CO_2, CO и других показателей, поступающие от сенсорной сети на базе IoT, объединяются с хроматографическими данными.

В среде MATLAB сформирована симуляционная модель предложенного подхода, определены механизмы генерации искусственных хроматограмм, обнаружения пиков, классификации газов и управления системой HVAC (ОВКВ) на основе индекса риска. Предложенная система может быть использована для более селективного мониторинга и адаптивного управления качеством воздуха в интеллектуальных зданиях.

Environmental monitoring system and gas chromatography integration in a new approach

D.G. Xurshudov
Azerbaijan University of Architecture and Construction

Keywords: Smart Building, gas chromatography, artificial intelligence, IoT, VOC, MATLAB, indoor air quality, adaptive control, HVAC, monitoring.

Prompt assessment of indoor air quality in smart buildings is one of the essential conditions for ensuring human health, safety, and comfort. This paper proposes a new monitoring and adaptive control approach based on the integration of gas chromatography, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence (AI) technologies for detecting volatile organic compounds (VOCs) and other harmful gas components. Within the system, chromatogram signals obtained from the gas chromatograph undergo preprocessing to determine peak retention times, amplitudes, areas, widths, and statistical parameters. The extracted features are then transmitted to the AI module, where the identification of gas components, estimation of their concentrations, and determination of hazard levels are carried out. Operative measurements such as temperature, humidity, CO_2, CO, and others incoming from the IoT-based sensor network are fused with the chromatographic data. A simulation model of the proposed approach was developed in the MATLAB environment, establishing synthetic chromatogram generation, peak detection, gas classification, and an HVAC control mechanism based on a risk index. The proposed system can be utilized for more selective monitoring and adaptive management of air quality in smart buildings.

İntellektual binalarda daxili hava keyfiyyətinin davamlı monitorinqi insanların sağlamlığı, təhlükəsizliyi və komfort şəraitinin təmin olunması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Temperatur və nisbi rütubətlə yanaşı, karbonmonoksid, karbon qazı, azot oksidləri və müxtəlif uçucu üzvi birləşmələrin (VOC) konsentrasiyası da daxili mühitin keyfiyyətini müəyyən edən əsas göstəricilər sırasındadır. VOC-ların tikinti materialları, mebel, məişət kimyəvi vasitələri, yanma prosesləri və digər daxili mənbələrdən yarana bildiyi göstərilir [1].

İntellektual bina sistemlərində hava keyfiyyətinin monitorinqi üçün elektrokimyəvi, yarımkeçirici və optik qaz sensorlarından geniş istifadə edilir. Bu sensorlar operativ ölçmə və Əşyaların İnterneti (IoT) şəbəkələrinə inteqrasiya baxımından əlverişli olsa da, mürəkkəb qaz qarışıqlarında çarpaz həssaslıq və aşağı selektivlik kimi məhdudiyyətlər yarana bilər. Xüsusilə eyni vaxtda mövcud olan bir neçə VOC komponentinin dəqiq müəyyənləşdirilməsi daha selektiv analiz üsullarının tətbiqini tələb edir [2].

Qaz xromatoqrafiyası çoxkomponentli qaz qarışıqlarının ayrılması və ayrı-ayrı kimyəvi komponentlərin identifikasiyası üçün effektiv analitik üsuldur. Xromatoqramda formalaşan piklərin saxlanma müddəti, amplitudu, sahəsi və eni analiz olunan maddələr haqqında informativ əlamətlər kimi istifadə olunur. Mikro-qaz xromatoqrafiyası sistemlərinin inkişafı isə bu metodun kompakt və avtomatlaşdırılmış monitorinq sistemlərinə inteqrasiyası üçün yeni imkanlar yaradır [3].

Son illərdə on-line qaz xromatoqrafiyası sistemləri VOC-ların uzunmüddətli monitorinqində istifadə edilmiş və xromatoqrafik məlumatların avtomatlaşdırılmış emalı üçün alqoritmlər hazırlanmışdır [4]. Bununla yanaşı, maşın öyrənməsi metodlarının xromatoqrafik məlumatların analizi və təsnifatında tətbiqi genişlənmişdir [5]. Süni intellekt qaz sensor sistemlərində siqnalların interpretasiyası, qazların tanınması, konsentrasiyanın qiymətləndirilməsi və çarpaz həssaslığın təsirinin azaldılması üçün perspektivli yanaşma hesab olunur [6]. Xromatoqrafik zaman sıralarının dərin öyrənmə üsulları ilə emalı və VOC komponentlərinin avtomatik identifikasiyası üzrə də uğurlu nəticələr əldə edilmişdir [7].

Bu baxımdan qaz xromatoqrafiyası, IoT və süni intellekt texnologiyalarının vahid intellektual bina sistemində birləşdirilməsi xüsusi maraq doğurur. Təklif olunan yanaşmada qaz xromatoqrafından alınan məlumatların süni intellekt vasitəsilə emalı, qaz komponentlərinin identifikasiyası və konsent-

rasiyalarının qiymətləndirilməsi, nəticələrin IoT sensor məlumatları ilə birləşdirilməsi və müəyyən edilmiş risk səviyyəsinə uyğun HVAC sisteminin adaptiv idarə olunması nəzərdə tutulur. Sistem modelinin MATLAB mühitində simulyasiyası isə xromatoqrafik siqnalların formalaşdırılması, piklərin aşkarlanması, təsnifat və idarəetmə alqoritmlərinin yoxlanılmasına imkan verir.

Məsələnin qoyuluşu və təklif olunan yanaşma

İntellektual binalarda zərərli qazların monitorinqi üçün tətbiq edilən adi IoT sensorları yüksək ölçmə tezliyi təmin etsə də, mürəkkəb qaz qarışıqlarında ayrı-ayrı VOC komponentlərinin selektiv müəyyənləşdirilməsi məhdud ola bilər [3]. Digər tərəfdən, qaz xromatoqrafiyası qaz qarışığının komponentlərə ayrılmasına və onların identifikasiyasına imkan verir, lakin xromatoqrafik analiz müəyyən ölçmə dövrü tələb etdiyindən onun nəticələrinin birbaşa fasiləsiz idarəetmə siqnalı kimi istifadəsi məqsədəuyğun deyildir [4].

Bu səbəbdən məqalədə IoT sensorları və qaz xromatoqrafiyasının məlumat səviyyəsində birləşdirilməsinə əsaslanan hibrid monitorinq sistemi təklif olunur. Sistemdə CO, CO_2, temperatur, nisbi rütubət və ümumi VOC səviyyəsi kimi parametrlər IoT sensorları vasitəsilə yüksək tezliklə ölçülür. Qaz xromatoqrafından alınan xromatoqram isə müəyyən zaman intervallarında analiz edilərək ayrı-ayrı VOC komponentlərinin identifikasiyası və konsentrasiyalarının qiymətləndirilməsi üçün istifadə edilir.

Sistemin giriş məlumatları ümumi şəkildə aşağıda təqdim edilir

$$X(k) = X_{\text{IoT}}(k), X_{\text{GC}}(k)\,, \quad (1)$$

burada

$$X_{\text{IoT}}(k) = [\text{CO}, \text{CO}_2, \text{T}, \text{H}, \text{TVOC}, ...]\,. \quad (2)$$

IoT sensorlarından daxil olan operativ məlumatları.

$$X_{\text{GC}}(k) = [t_r, A, S, W, ...\,], \quad (3)$$

isə xromatoqrafik piklərin saxlanma müddəti (t_r), amplitudu (A), sahəsi (S), eni (W) və digər informativ əlamətləri ifadə edir.

Xromatoqramdan çıxarılan əlamətlər süni intellekt moduluna ötürülür

$$\hat{y}_i = f_\theta^c(X_{\text{GC}}), \quad (4)$$

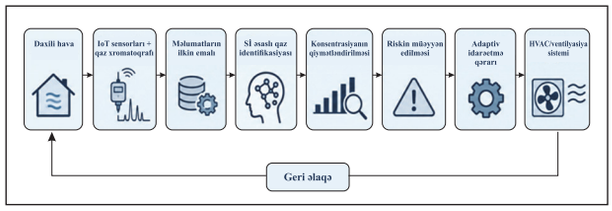
burada ($\hat{y}_i$) müəyyən edilmiş qaz sinfini, f{θ}c isə öyrədilmiş təsnifat modelini göstərir.

Müəyyən edilmiş qaz komponentinin konsentrasiyası isə ayrıca qiymətləndirmə modeli ilə təyin edilir

$$\hat{C}_i = f_\phi^r(X_{\text{GC}}), \quad (5)$$

burada $\hat{C}_i$ – i-ci qaz komponentinin qiymətləndirilmiş konsentrasiyasını, f_ϕ^r isə reqressiya modelini ifadə edir. Xromatoqrafik məlumatların maşın və dərin öyrənmə üsulları ilə avtomatik emalının mümkünlüyü müasir tədqiqatlarda göstərilmişdir [5, 7].

Təklif olunan sistemdə süni intellekt (Sİ) modulunun vəzifəsi yalnız qazın identifikasiyası ilə məhdudlaşmır. IoT və GC məlumatlarının birgə təhlili əsasında daxili hava mühitinin cari vəziyyəti qiymətləndirilir və risk göstəricisi formalaşdırılır. Sİ-nin qaz sensorlarından alınan çoxparametrli məlumatların interpretasiyasında tətbiqi bu tip inteqrasiya üçün perspektivli yanaşma hesab olunur [6].



Şəkil 1. İntellektual binalarda hava keyfiyyətinin monitorinqi və adaptiv idarə olunması üçün inteqrasiya olunmuş informasiya axını sxemi

Beləliklə, təklif olunan sistemin ümumi informasiya axını şəkil 1-də göstərilən struktur sxemi üzrə formalaşdırılır. Bu strukturda monitorinq iki müxtəlif zaman miqyasında həyata keçirilir: IoT sensorları fasiləsiz operativ nəzarəti, qaz xromatoqrafı isə periodik və daha selektiv kimyəvi analizi təmin edir. Məlumatların süni intellekt vasitəsilə birləşdirilməsi monitorinq nəticələrinin adaptiv HVAC idarəetməsində effektiv istifadə edilməsinə imkan verir.

Qaz xromatoqrafik siqnalının riyazi modeli və MATLAB-da formalaşdırılması

Qaz xromatoqrafında analiz olunan qarışığın ayrı-ayrı komponentləri kolondan müxtəlif zaman anlarında çıxaraq detektorda xarakterik piklər formalaşdırır. Xromatoqramın əsas informativ parametrləri saxlanma müddəti, pik amplitudu, pik sahəsi və pik enidir. Bu parametrlər qaz komponentlərinin identifikasiyası və konsentrasiyasının qiymətləndirilməsi üçün istifadə edilir [3, 4].

MATLAB mühitində xromatoqrafik siqnalın ilkin modeli ayrı-ayrı komponentlərə uyğun Qauss tipli piklərin cəmi kimi təqdim edilə bilər:

$$x(t) = \sum_{i=1}^{n} A_i \exp\left[-\frac{(t - t_{R,i})^2}{2\sigma_i^2}\right] + b(t) + \varepsilon(t), \quad (6)$$

burada a_i – i-ci komponentin pik amplitudu; $t_{R,i}$ – həmin komponentin xarakterik saxlanma müddəti; σ_i^2 – pikin enini müəyyən edən dispersiya parametri; $b(t)$ – xromatoqramın baza xətti; $\varepsilon(t)$ – ölçmə prosesində yaranan təsadüfi küydür.

Bu modeldə hər bir qaz komponentinə uyğun fərdi analitik pik aşağıdakı ifadə ilə formalaşdırılır.

$$p_i(t) = A_i \exp\left[-\frac{(t - t_{R,i})^2}{2\sigma_i^2}\right]. \quad (7)$$

Pikin maksimal qiyməti funksiyanın ekstremum nöqtəsində təyin olunur:

$$p_i(t_{R,i}) = A_i. \quad (8)$$

Pik sahəsi komponentin kəmiyyət miqdarı ilə düz mütənasib olan əsas göstəricidir və nəzəri olaraq sonsuz zaman intervalında inteqrasiya forması ilə ifadə edilir:

$$S_i = \int_{-\infty}^{+\infty} p_i(t)dt. \quad (9)$$

Qauss modelinin analitik həlli üçün bu ifadə aşağıdakı formanı alır:

$$S_i = A_i\sigma_i\sqrt{2\pi}. \quad (10)$$

Sistemin kalibrlənməsi tamamlandıqdan sonra konkret komponentin konsentrasiyası tapılmış pik sahəsi ilə xətti reqressiya modeli əsasında əlaqələndirilir:

$$C_i = k_i S_i + b_i, \quad (11)$$

burada C_i – i-ci komponentin konsentrasiyası, ki və bi isə eksperimental kalibrləmə əsasında müəyyən edilən əmsallardır.

MATLAB simulyasiyasında ilkin mərhələdə bir neçə qaz komponentinə uyğun fərqli saxlanma müddətləri seçilir:

$$t_{R,1} < t_{R,2} < \ldots < t_{R,n}, \quad (12)$$

və onların hər biri üçün A_i və σ_i parametrləri verilir. Nəticədə çoxkomponentli xromatoqramın superpozisiya modeli formalaşdırılır:

$$x(t) = p_1(t) + p_2(t) + \ldots + p_n(t) + b(t) + \varepsilon(t). \quad (13)$$

Real cihaz və ölçmə şəraitini imitasiya etmək məqsədilə modelə determinik baza sürüşməsi və stoxastik küy komponentləri əlavə edilir:

$$b(t) = b_0 + \alpha t, \quad (14)$$

$$\varepsilon(t) \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2), \quad (15)$$

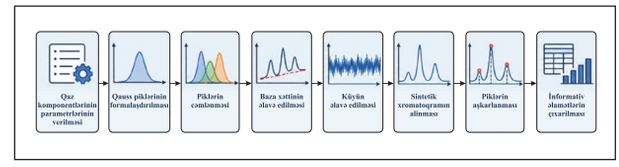
burada b_0 başlanğıc baza səviyyəsini, α baza xəttinin dəyişmə əmsalını, σ_ε^2 isə küyün dispersiyasını göstərir.

Beləliklə, yaradılan sintetik xromatoqram real analitik sistemlərdə müşahidə olunan fluktuasiyaları və ölçmə küylərini tam imitasiya etməyə imkan verir. Simulyasiya nəticəsində generasiya olunmuş siqnal növbəti mərhələdə ilkin emaldan keçirilir və hər bir aşkarlanmış pik üçün aşağıdakı informativ əlamətlər vektoru tərtib edilir:

$$Z_i = [t_{R,i}, A_i, S_i, W_i], \quad (16)$$

burada W_i – pikin enini ifadə edir. Bu vektor süni intellekt modelinin giriş parametrləri massivini formalaşdıraraq qaz komponentlərinin avtomatik təsnifatına və konsentrasiyasının hesablanmasına imkan yaradır [4, 6].

MATLAB mühitində simulyasiya prosesinin ümumi funksional ardıcıllığı mərhələli zəncir üzrə həyata keçirilir (şəkil 2).



Şəkil 2. Sintetik xromatoqramların generasiyası və piklərin aşkarlanması modelinin strukturu

Təqdim olunan bu yanaşma real eksperimental verilənlərə keçməzdən əvvəl siqnal emalı və maşın öyrənməsi alqoritmlərinin MATLAB mühitində verifikasiyası üçün baza riyazi model rolunu oynayır.

MATLAB-da sintetik xromatoqramın formalaşdırılması və piklərin aşkarlanması

Təklif olunan modelin praktik verifikasiyası məqsədilə MATLAB mühitində çoxkomponentli qaz qarışığını imitasiya edən stoxastik sintetik xromatoqram formalaşdırılmışdır. Simulyasiya prosesində hər bir qaz komponentinə uyğun saxlanma müddəti (t_R), pik amplitudu (A) və pikin yayılma dispersiyası (σ) əvvəlcədən təyin edilir. Bu parametrlər əsasında ayrı-ayrı Qauss tipli analitik funksiyalar yaradılır və superpozisiya prinsipinə uyğun olaraq vahid xromatoqrafik siqnalda birləşdirilir.

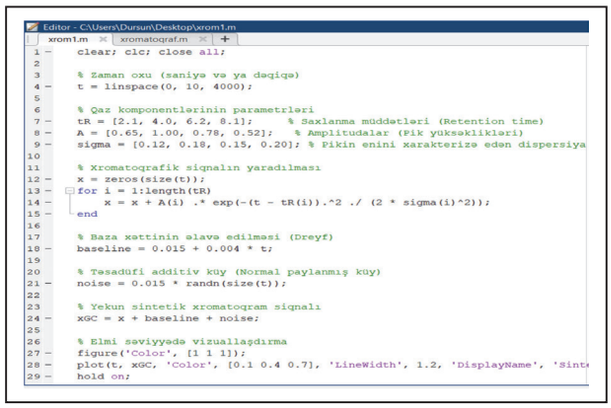
Modelin ilkin test mərhələsində dörd şərti uçucu üzvi birləşmə (UÜB) komponentinin istifadəsi nəzərdə tutulmuşdur. Onların parametrləri alqoritmin iş prinsipinin və selektivlik dayanıqlığının yoxlanılması üçün qəbul edilmiş simulyasiya göstəriciləridir (cədvəl 1).

MATLAB mühitində sintetik xromatoqram siqnalının yaradılması və vizuallaşdırılması üçün cədvəl 1-in parametrlərinə əsaslanan proqram kodu realizə edilmişdir (şəkil 3).

Bu proqramın icrası nəticəsində müxtəlif sax-

Cədvəl 1

Komponent	Saxlanma müddəti (t_R), dəq	Amplitud	Pik eni
Qaz 1	2.1	0.65	0.12
Qaz 2	4	1.00	0.18
Qaz 3	6.2	0.78	0.15
Qaz 4	8.1	0.52	0.20



```
clear; clc; close all;

% Zaman oxu (saniyə və ya dəqiqə)
t = linspace(0, 10, 4000);

% Qaz komponentlərinin parametrləri
tR = [2.1, 4.0, 6.2, 8.1];        % Saxlanma müddətləri (Retention time)
A = [0.65, 1.00, 0.78, 0.52];     % Amplitudalar (Pik yüksəklikləri)
sigma = [0.12, 0.18, 0.15, 0.20]; % Pikin enini xarakterizə edən dispersiya

% Xromatoqrafik siqnalın yaradılması
x = zeros(size(t));
for i = 1:length(tR)
    x = x + A(i) .* exp(-(t - tR(i)).^2 ./ (2 * sigma(i)^2));
end

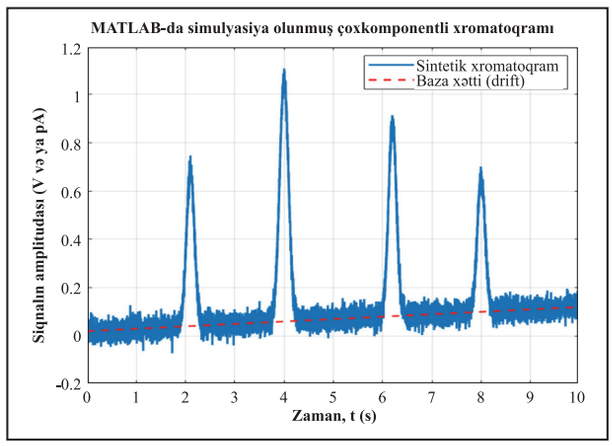
% Baza xəttinin əlavə edilməsi (Dreyf)
baseline = 0.015 + 0.004 * t;

% Təsadüfi additiv küy (Normal paylanmış küy)
noise = 0.015 * randn(size(t));

% Yekun sintetik xromatoqram siqnalı
xGC = x + baseline + noise;

% Elmi səviyyədə vizuallaşdırma
figure('Color', [1 1 1]);
plot(t, xGC, 'Color', [0.1 0.4 0.7], 'LineWidth', 1.2, 'DisplayName', 'Sint
hold on;
```

Şəkil 3. MATLAB-da xromatoqrafik siqnalın generasiyası və additiv komponentlərin daxil edilməsi proqram kodu



Şəkil 4. MATLAB mühitində simulyasiya olunmuş çoxkomponentli sintetik qaz xromatoqramı və baza xəttinin dreyfi

lanma müddətlərində dörd xarakterik pikdən ibarət sintetik xromatoqram alınır. Müəyyən edilmiş determinik baza xəttinin və normal paylanmış additiv küyün $\varepsilon(t) \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ əlavə edilməsi model siqnalını ideal Qauss əyrilərindən fərqləndirərək real ölçmə şəraitinə tam yaxınlaşdırır (şəkil 4).

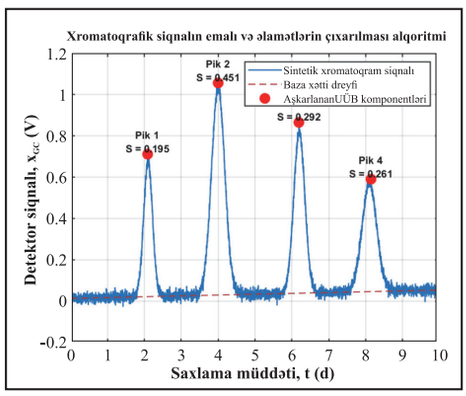
Növbəti mərhələdə xromatoqramdakı piklərin avtomatik lokallaşdırılması və aşkarlanması həyata keçirilir. MATLAB mühitində bunun üçün findpeaks operatorundan istifadə edilməklə, pik amplitudu, relyef yüksəkliyi (prominence) və minimum piklər arası məsafə meyarları optimallaşdırılmışdır.

Piklərin uğurlu aşkarlanmasından sonra hər bir kimyəvi komponent üçün Sİ moduluna ötürüləcək əsas informativ əlamətlər vektoru formalaşdırılır:

$$Z_i = [t_{R,i}, A_i, S_i, W_i, P_i], \quad (17)$$

burada $t_{R,i}$ – saxlanma müddəti; A_i – pik amplitudu; S_i – pik sahəsi; W_i – pik eni; P_i – pikin prominence göstəricisidir. Pikin təmizlənmiş inteqral sahəsi S_i rəqəmsal verilənlər üzərində Trapezoid üsulu əsasında proqram təminatı səviyyəsində inteqrasiya edilir (şəkil 5).

```
% Sahələr üçün matrisin təyini
S = zeros(size(locs));
for i = 1:length(locs)
    idx = abs(t - locs(i)) <= (2 * widths(i));
    signal_pure = xGC(idx) - baseline(idx);
    S(i) = trapz(t(idx), signal_pure);
end
```



Şəkil 5. Küy mühitində xromatoqrafik piklərin avtomatik aşkarlanması, baza korreksiyası və inteqral sahələrin hesablanması nəticələri

Beləliklə, MATLAB simulyasiyası nəticəsində xromatoqramın siqnal analizi tamamlanır və növbəti mərhələdə Sİ (təsnifat) modelinin girişində istifadə ediləcək ümumi əlamətlər matrisi (Z) formalaşdırılır:

$$Z = \begin{bmatrix} t_{R,1} & A_1 & S_1 & W_1 & P_1 \\ t_{R,2} & A_2 & S_2 & W_2 & P_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ t_{R,n} & A_n & S_n & W_n & P_n \end{bmatrix}.$$

Alqoritmin çıxışında formalaşan və maşın öyrənməsi blokuna birbaşa inteqrasiya olunan yekun informativ əlamətlər matrisinin (Dataset) ədədi qiymətləri şəkil 6-da təqdim edilmişdir.

Formalaşdırılmış bu struktur mürəkkəb qaz qarışıqlarının Sİ əsaslı maşın öyrənməsi (SVM, Neyron Şəbəkələri) metodları ilə yüksək selektivliklə təsnifləndirilməsi və intellektual binalarda

--- Süni İntellekt Modulu üçün Çıxarılan İnformativ Əlamətlər Matrisi (Dataset)

Retention_Time_tR	Amplitude_A	Integral_Area_S	Peak_Width_W
2.113	0.69941	0.19615	0.2856
3.9835	1.0487	0.45048	0.42636
6.199	0.83123	0.29385	0.35871
8.092	0.58909	0.26065	0.46671

Şəkil 6. Süni İntellekt Modulu üçün çıxarılan informativ əlamətlər matrisinin (Dataset) strukturu

hava keyfiyyətinə uyğun adaptiv qərarların qəbul edilməsi üçün etibarlı ilkin verilənlər bazası rolunu oynayır.

Süni intellekt əsasında qaz komponentlərinin identifikasiyası və konsentrasiyasının qiymətləndirilməsi

Qaz xromatoqrafik siqnalın ilkin emalından və piklərin avtomatik aşkarlanmasından sonra hər bir pik üçün saxlanma müddəti, amplitud, sahə, en və relyef (prominence) göstəricilərindən ibarət çoxparametrli əlamətlər toplusu formalaşdırılır. Bu əlamətlər qaz komponentlərinin avtomatlaşdırılmış identifikasiyası və onların konsentrasiyasının qiymətləndirilməsi üçün Sİ modelinin giriş verilənləri massivi kimi istifadə edilir. Xromatoqrafik verilənlərin maşın öyrənməsi metodları vasitəsilə emalının mürəkkəb qaz qarışıqlarının təhlilində effektiv tətbiq oluna bilməsi müasir tədqiqatlarda riyazi olaraq əsaslandırılmışdır [8]. Qaz analizində Sİ alqoritmlərinin tətbiqi analitik sistemlərin selektivliyinin artırılması və kəmiyyət qiymətləndirilməsinin intellektual avtomatlaşdırılması üçün ən perspektivli yanaşma hesab olunur [9]. Hər bir aşkarlanmış pik üçün informativ əlamətlər vektoru 17 ifadəsində göstərilmişdir .

Qaz komponentlərinin identifikasiyası

Qazın identifikasiyası təsnifat məsələsi kimi qoyulur. Sİ modeli giriş əlamətlərinə əsasən aşkarlanmış pikin hansı qaz komponentinə aid olduğunu müəyyən edir:

$$\hat{y}_i = f_\theta^c(Z_i), \qquad (18)$$

burada $(\hat{y}_i)$ - model tərəfindən proqnozlaşdırılmış qaz sinfi (komponentin növü); f_θ^c –optimal öyrədilmiş təsnifat funksiyasıdır.

İlkin MATLAB simulyasiyasında çoxsinifli Dəstək Vektor Maşınları (Support Vector Machine – SVM) yanaşması tətbiq edilmişdir. Bu halda fərqli qaz komponentləri müstəqil siniflər kimi təyin edilir və model yalnız saxlanma müddətini deyil, xromatoqram pikin digər invariant geometrik parametrlərini də nəzərə alır. MATLAB mühitində fitcecoc funksiyası SVM əsaslı binar öyrənənləri (Error-Correcting Output Codes) birləşdirərək robust çoxsinifli təsnifat modelinin qurulmasına imkan verir. Modelin təsnifat keyfiyyətinin və siniflər arası qarışıqlıq xətalarının vizual qiymətləndirilməsi məqsədilə xəta matrisi cədvəlindən (confusionchart) istifadə edilir. Modelin proqram təminatı səviyyəsində realizasiyasının ümumi operator forması şəkil 7-də verilmişdir.

```
% ZTrain - xromatoqrafik əlamətlər matrisi
% YTrain - qaz komponentlərinin həqiqi sinifləri

SVM = templateSVM('KernelFunction','rbf', ...
                  'Standardize',true);

MdlClass = fitcecoc(ZTrain,YTrain, ...
                    'Learners',SVM);

YPred = predict(MdlClass,ZTest);
confusionchart(YTest,YPred);
```

Şəkil 7. Modelin proqram təminatı səviyyəsində realizasiyasının ümumi operator forması

Xromatoqrafik verilənlərdə Sİ vasitəsilə uçucu üzvi birləşmələrin avtomatik müəyyənləşdirilməsi üzrə daha mürəkkəb rekurrent neyron şəbəkə yanaşmalarının tətbiqi də göstərilmişdir [10]. Bu səbəbdən, real eksperimental məlumatların həcmi artdıqda təklif olunan SVM modelinin GRU (Gated Recurrent Unit) və ya digər dərin öyrənmə modelləri ilə müqayisəli analizi aparıla bilər.

Konsentrasiyanın qiymətləndirilməsi

Qaz komponentinin növü identifikasiya olunduqdan sonra, ikinci iyerarxik mərhələdə onun kəmiyyət konsentrasiyası qiymətləndirilir. Bu məsələ riyazi olaraq reqressiya problemi kimi təqdim edilir:

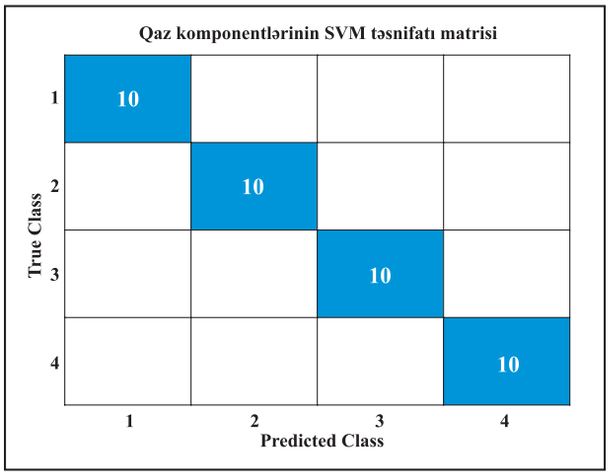
$$\hat{C}_i = f_\phi^r(Z_i),$$

burada $\hat{C}_i$ – i-ci qaz komponentinin model tərəfindən hesablanmış çıxış konsentrasiyası; f_ϕ^r – qeyri-xətti reqressiya funksiyasıdır.

Konsentrasiyanın qiymətləndirilməsində pik sahəsi S_i fundamental kəmiyyət göstəricisi olsa da, təklif olunan intellektual yanaşmada amplitudu, pik eni və saxlanma müddəti də modelə giriş parametrləri kimi daxil edilir. Bununla konsentrasiyanın yalnız bir xətti göstəricidən deyil, xromatoqrafik pikin çoxparametrli hibrid xarakteristikasından qiymətləndirilməsi təmin edilir və ölçmə dəqiqliyi artırılır.

MATLAB mühitində bu məqsədlə süni neyron şəbəkə əsaslı reqressiya modelindən (fitrnet) isti-

fadə edilmişdir (şəkil 8).



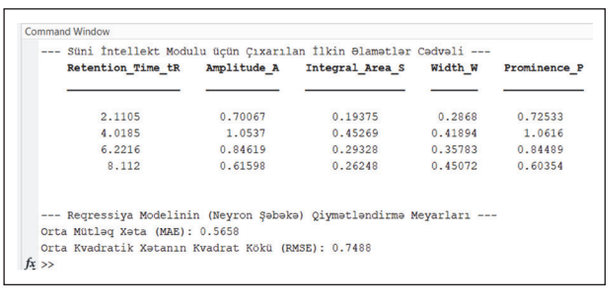
Şəkil 8. MATLAB mühitində süni neyron şəbəkə əsaslı reqressiya modelinin nəticəsi

Reqressiya modelinin adekvatlığının və proqnozlaşdırma dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi üçün orta mütləq xəta (MAE) və orta kvadratik xətanın kvadrat kökü (RMSE) meyarları hesablanır:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|C_i - \hat{C}_i\right|,$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(C_i - \hat{C}_i\right)^2}.$$

Hesablanmış MAE və RMSE qiymətlərinin minimuma enməsi, modelin real eksperimental verilənlər ilə proqnozlaşdırılmış konsentrasiyalar arasında yüksək konvergensiya yaratdığını analitik olaraq sübut edir (şəkil 9).



Şəkil 9. Modelin real eksperimental verilənlər ilə proqnozlaşdırılmış konsentrasiyalar arasında yüksək konvergensiya

Sİ modulunun ümumi strukturu

Təklif olunan süni intellekt modulunda xromatoqrafik məlumatların çoxsəviyyəli emalı və informasiya transformasiyası şəkil 2-də göstərilən funksional ardıcıllıq üzrə həyata keçirilir.

Beləliklə, süni intellekt modulunun çıxışında hər bir aşkarlanmış kimyəvi komponent üçün iki fundamental informasiya vektoru formalaşdırılır:

$$Z_i \rightarrow (\hat{y}_i, \hat{C}_i),$$

yəni hədəf qazın növü və onun qiymətləndirilmiş kəmiyyət konsentrasiyası. Alınmış nəticələr sonrakı mərhələdə real vaxtlı digər IoT sensor məlumatları ilə məlumat səviyyəsində birləşdirilərək daxili hava keyfiyyəti üzrə ümumi ekoloji risk göstəricisinin hesablanmasında istifadə olunur.

Təklif olunan intellektual yanaşmanın əsas üstünlüyü qaz xromatoqrafik piklərin yalnız saxlanma müddətinə əsaslanan klassik laborator müqayisəsi ilə məhdudlaşmaması, bir neçə informativ parametrin Sİ modeli vasitəsilə kompleks və dinamik şəkildə emal edilməsidir. Bu isə real cihaz məlumatları əsasında adaptiv və tam avtomatlaşdırılmış qaz monitorinq sisteminin formalaşdırılmasına imkan yaradır.

IoT və GC məlumatlarının birləşdirilməsi və risk indeksinin formalaşdırılması

Təklif olunan sistemin yekun mərhələsində IoT sensorlarından alınan operativ ölçmələr qaz xromatoqrafik analiz nəticələri ilə verilənlər səviyyəsində birləşdirilərək daxili hava keyfiyyətinin ümumi vəziyyəti kompleks şəkildə qiymətləndirilir. IoT sensor şəbəkəsi CO, CO_2, temperatur, nisbi rütubət və ümumi uçucu üzvi birləşmələrin (TVOC) səviyyəsi kimi parametrləri yüksək ölçmə tezliyi ilə qeydə alır. Qaz xromatoqrafiyası modulu isə fərdi UÜB komponentlərinin daha selektiv identifikasiyasını və kəmiyyətcə qiymətləndirilməsini təmin edir. Beləliklə, fərqli zaman miqyasına malik iki heterogen informasiya mənbəyinin semantik sintezi monitorinq sisteminin həm dinamik operativliyini, həm də analitik informativliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

$X_F(k) = [X_{IoT}(k), X_{GC}(k)]$,

burada $X_{IoT}(k)$ – IoT sensor məlumatlarını, $X_{GC}(k)$ isə süni intellekt vasitəsilə emal edilmiş qaz xromatoqrafik məlumatları göstərir.

Sİ modulunun çıxışında hər bir qaz komponenti üçün identifikasiya nəticəsi və qiymətləndirilmiş konsentrasiya əldə edilir:

$$X_{GC,i} = \left[\hat{y}_i, \hat{C}_i\right],$$

burada $\hat{y}_i$ – müəyyən edilmiş qaz növü; $\hat{C}_i$ – həmin qazın qiymətləndirilmiş konsentrasiyasıdır.

Müxtəlif qazların konsentrasiya vahidləri və təhlükəlilik səviyyələri fərqli olduğundan onların birbaşa müqayisəsi məqsədəuyğun deyildir. Buna görə hər bir qaz üçün normallaşdırılmış fərdi risk göstəricisi formalaşdırılır:

Cədvəl 2

Risk indeksi	Vəziyyət	İdarəetmə reaksiyası
(0\leq RI<0.25)	Normal	Standart ventilyasiya
(0.25\leq RI<0.50)	Aşağı risk	Hava mübadiləsinin artırılması
(0.50\leq RI<0.75)	Orta risk	Gücləndirilmiş ventilyasiya
(0.75\leq RI\leq1)	Yüksək risk	Maksimal ventilyasiya və xəbərdarlıq

$$r_i = \begin{cases} 0 & , \ C_i \le T_{i,norm} \\ \dfrac{C_i - T_{i,norm}}{T_{i,danger} - T_{i,norm}} & , \ T_{i,norm} < C_i < T_{i,danger} \\ 1 & , \ C_i \ge T_{i,danger} \end{cases},$$

burada $T_{i,norm}$ – *i*-ci qaz üçün qəbul edilən normal səviyyə; $T_{i,danger}$ – isə təhlükəli həddir.

Ümumi risk indeksi ayrı-ayrı qazların çəkili risk göstəricilərinin cəmi kimi hesablanır:

$$RI = \sum_{i=1}^{n} \omega_i r_i,$$

burada ω_i – *i*-ci qaz komponentinin təhlükəlilik dərəcəsini əks etdirən çəki əmsalıdır və aşağıdakı şərti ödənilir:

$$\sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1.$$

Risk indeksinin qiymətindən asılı olaraq sistemin iş rejimi şərti olaraq cədvəl 2-dəki kimi müəyyən edilə bilər.

Bu hədlər universal normativ göstəricilər kimi deyil, MATLAB simulyasiyasında idarəetmə alqoritminin yoxlanılması üçün qəbul edilən parametrik bölgü kimi nəzərdə tutulur. Real sistemdə hədlər analiz olunan maddələr üzrə qüvvədə olan sanitariya və təhlükəsizlik normalarına uyğun kalibrlənməlidir.

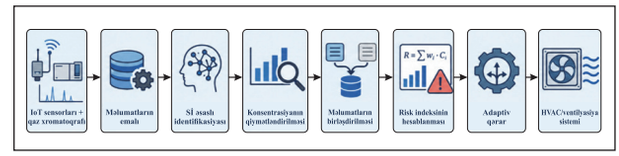
Adaptiv idarəetmə siqnalı risk indeksinin funksiyası kimi təqdim edilə bilər:

$u(k) = f(RI(k))$,

burada $u(k)$ – HVAC və ya ventilyasiya sisteminə verilən idarəetmə təsiridir. Risk səviyyəsi artdıqca hava mübadiləsinin intensivliyi yüksəldilir, təhlükəli səviyyə aşkar edildikdə isə xəbərdarlıq və fövqəladə ventilyasiya rejimi aktivləşdirilir.

Beləliklə, sistemin yekun informasiya və idarəetmə zənciri formalaşır (şəkil 10).

İşlənilmiş bu konseptual yanaşmada qaz xromatoqrafiyası yüksək selektiv analitik informasiya nüvəsi, IoT sensor arxitekturası real vaxtlı



Şəkil 10. Heterogen sensor verilənlərinin birləşdirilməsi və risk-əsaslı adaptiv BMS idarəetmə zəncirinin ümumi arxitekturası

operativ monitorinq aləti, Sİ modulu isə heterogen məlumatları interpretasiya edərək optimal idarəetmə qərarını dəstəkləyən universal kibernetik aparat funksiyasını yerinə yetirir [5–7].

Nəticə

Aparılmış sistemli analiz, riyazi modelləşdirmə və MATLAB mühitində yerinə yetirilmiş simulyasiya sınaqları nəticəsində aşağıdakı elmi və praktiki nəticələr əldə edilmişdir:

1. İntellektual binalarda toksik və zərərli qazların, eləcə də UÜB-lərin yüksək selektivliklə monitorinqi məqsədilə mikro-qaz xromatoqrafiyası, IoT sensor infrastrukturu və Sİ texnologiyalarının verilənlər səviyyəsində sintezinə əsaslanan çoxsəviyyəli hibrid informasiya-idarəetmə arxitekturası işlənilmişdir.

2.Qaz xromatoqrafik siqnalın Qauss paylanması əsasında formal riyazi-kibernetik modeli formalaşdırılmış, diskret zaman oblastında sintetik xromatoqramların yaradılması, baza xəttinin dreyfi və additiv aparat küylərinin korreksiyası, həmçinin piklərin avtomatik aşkarlanaraq çoxparametrli invariant əlamətlər matrisinin (Z) çıxarılması alqoritmləri MATLAB mühitində uğurla realizə edilmişdir.

3. Çıxarılan əlamətlər massivi əsasında hədəf qaz komponentlərinin avtomatik identifikasiyası çoxsinifli Dəstək Vektor Maşınları (SVM), kəmiyyət konsentrasiyalarının qiymətləndirilməsi isə çoxlaylı süni neyron şəbəkələri vasitəsilə təsnifat və reqressiya məsələləri kimi formal olaraq qoyulmuş və həll edilmişdir.

4. Çoxkomponentli qaz mühitlərində fərqli toksiklik dərəcələrinə malik heterogen sensor verilənlərinin birləşdirilməsi məqsədilə normallaşdırılmış fərdi risk funksiyaları və inteqral Risk İndeksi (RI) sintez edilmişdir. Təklif olunan struktur aşkarlanan çirklənmə dərəcəsinə uyğun olaraq HVAC (isitmə, havalandırma və kondisiyalaşdırma) sisteminin iş rejimlərini adaptiv idarə edən qapalı kibernetik kontur formalaşdırmağa imkan verir.

Təklif olunan intellektual informasiya sisteminin real işçi mühitlərdə tam verifikasiyası üçün kalibrlənmiş laboratoriya IoT sensor ölçmələri və

real qaz xromatoqrafından əldə ediləcək eksperimental verilənlər bazası əsasında modelin adaptiv tənzimlənməsi tədqiqatın növbəti mərhələsini təşkil edir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *Horvat T., Pehnec G., Jakovljević I.* Volatile Organic Compounds in Indoor Air: Sampling, Determination, Sources, Health Risk, and Regulatory Insights. Toxics, 2025, vol. 13, No. 5, Article 344. DOI: 10.3390/toxics13050344.

2. *Lee Y., Son H., Lee J., Lim S.-H.* Review on micro-gas chromatography system for analysis of multiple low-concentration volatile organic compounds: preconcentration, separation, detection, integration, and challenges. Micro and Nano Systems Letters, 2024, Vol. 12, Article 11. DOI: 10.1186/s40486-024-00203-3.

3. *Yaşayış* və qeyri-yaşayış binalarında iqlimin tənzimlənməsi // "İnşaatda informasiya texnologiyaları və sistemlərinin tətbiqi imkanları və perspektivləri" mövzusunda Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları. – Bakı, 2018, s. 240-245.

4. *Bachelier F., Mascles M., McGillen M.R. et al*. Development, optimization and validation of automated volatile organic compound data analysis using an on-line thermal desorption gas chromatograph with dual detection and application to measurements in ambient air // Journal of Chromatography A, 2024, vol. 1735, Article 465327. DOI: 10.1016/j.chroma.2024.465327.

5. *Gaida M., Stefanuto P.H., Focant J.F*. Theoretical modeling and machine learning-based data processing workflows in comprehensive two-dimensional gas chromatography – A review. Journal of Chromatography A, 2023, Vol. 1711, Article 464467. DOI: 10.1016/j.chroma.2023.464467.

6. *Chowdhury M.A.Z., Oehlschlaeger M.A*. Artificial Intelligence in Gas Sensing: A Review. ACS Sensors, 2025, vol. 10, No. 3, pp. 1538-1563. DOI: 10.1021/acssensors.4c02272.

7. *Luo W., Hu J., Hou H., Yang J*. Automatic and precise identification of volatile organic compounds from gas chromatography in prolonged atmospheric monitoring. Journal of Chromatography A, 2025, vol. 1754, Article 466035. DOI: 10.1016/j.chroma.2025.466035.

8. *Капустин В.М*. Интеллектуальные здания и автоматизация технологических процессов. – М.: Стройиздат, 2020, 320 с.

9. *CIBSE*. Guide H: Building Control Systems. London: Chartered Institution of Building Services Engineers, 2020, 154 p.

10. *Fang X., Zha C., Fang W*. Rapid classification and concentration prediction of VOC gaseous mixtures using sensor array with multitask learning combined with Gated Recurrent Unit (GRU) // IEEE Sensors Journal, 2025, vol. 25, No. 7, pp. 12422-12429.

References

1. *Horvat T., Pehnec G., Jakovljević I.* Volatile Organic Compounds in Indoor Air: Sampling, Determination, Sources, Health Risk, and Regulatory Insights. Toxics, 2025, vol. 13, No. 5, Article 344. DOI: 10.3390/toxics13050344.

2. *Lee Y., Son H., Lee J., Lim S.-H.* Review on micro-gas chromatography system for analysis of multiple low-concentration volatile organic compounds: preconcentration, separation, detection, integration, and challenges. Micro and Nano Systems Letters, 2024, Vol. 12, Article 11. DOI: 10.1186/s40486-024-00203-3.

3. *Yashayish* ve qeyri-yashayish binalarinda iqlimin tenzimlenmesi // "Inshaatda informasiya texnoloqiyalari ve sistemlerinin tetbiqi imkanlari ve perspektivleri" movzusunda Beynelxalq elmi-praktiki konfransin materiallari. – Baki, 2018, s. 240-245.

4. *Bachelier F., Mascles M., McGillen M.R. et al.* Development, optimization and validation of automated volatile organic compound data analysis using an on-line thermal desorption gas chromatograph with dual detection and application to measurements in ambient air // Journal of Chromatography A, 2024, vol. 1735, Article 465327. DOI: 10.1016/j.chroma.2024.465327.

5. *Gaida M., Stefanuto P.H., Focant J.F.* Theoretical modeling and machine learning-based data processing workflows in comprehensive two-dimensional gas chromatography – A review // Journal of Chromatography A, 2023, vol. 1711, Article 464467. DOI: 10.1016/j.chroma.2023.464467.

6. *Chowdhury M.A.Z., Oehlschlaeger M.A*. Artificial Intelligence in Gas Sensing: A Review. ACS Sensors, 2025, vol. 10, No. 3, pp. 1538-1563. DOI: 10.1021/acssensors.4c02272.

7. *Luo W., Hu J., Hou H., Yang J*. Automatic and precise identification of volatile organic compounds from gas chromatography in prolonged atmospheric monitoring // Journal of Chromatography A, 2025, vol. 1754, Article 466035. DOI: 10.1016/j.chroma.2025.466035.

8. *Kapustin V.M.* Intellektual′nyye zdaniya i avtomatizatsiya tekhnoloqicheskikh protsessov. – M.: Stroyizdat, 2020, 320 s.

9. *CIBSE*. Guide H: Building Control Systems. London: Chartered Institution of Building Services Engineers, 2020, 154 p.

10. *Fang X., Zha C., Fang W*. Rapid classification and concentration prediction of VOC gaseous mixtures using sensor array with multitask learning combined with Gated Recurrent Unit (GRU) // IEEE Sensors Journal, 2025, vol. 25, No. 7, pp. 12422-12429.

UOT 678.066

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-44-47

Neft-mədən avadanlıqlarında plastik kütlədən olan detalların keyfiyyətinin qiymətləndirilməsinin tədqiqi

N.A. Həsənova, t.ü.f.d.
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

e-mail: haciyevanaila64@gmail.com

Açar sözlər: plastik kütlə, divar qalınlığı, termoreaktiv materiallar, presləmə, press-qəlib.

Neft avadanlıqlarının plastik kütlədən olan detallarına qoyulan tələblər olduqca yüksəkdir. Hər konkret halda yüklənmələrin xarakterindən və qiymətindən, istismar şəraitindən və avadanlığın konstruktiv xüsusiyyətlərindən asılı olaraq avadanlıqların plastik kütlədən olan detallarına müxtəlif tələblər tətbiq olunur. Əsas tələblərə yüksək mexaniki möhkəmlik, ölçü dəqiqliyi, yüksək yeyilməyə və aqressiv mühitin təsirlərinə davamlığı aiddir. Nəzərə almaq lazımdır ki, neft avadanlığının istismarı üçün iqlim şəraiti çox müxtəlifdir. Atmosfer temperaturu –50 °C-dən +50 °C-yə qədər hüdudlarda dəyişir.

Bir çox hallarda istismarın atmosfer şəraiti havanın tozlanmasına səbəb olan fırtına küləkləri ilə çətinləşir. Bununla əlaqədar olaraq müxtəlif plastik kütlədən hazırlanan məmulatların konstruksiyalarında divar qalınlığı, hündürlüyü və deşik uzunluğu parametrlərinin əlaqəli asılılıqları və müəyyənedilmə qanunauyğunluğunun tədqiqi vacib məsələlərdən biri sayılır.

Исследование по оценке качества пластиковых деталей в нефтепромысловом оборудовании

Н.А. Гасанова, д.ф.т.н.
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Ключевые слова: пластик, толщина стенки, термореактивные материалы, прессование, пресс-форма.

Требования к пластиковым деталям нефтепромыслового оборудования достаточно высоки. В каждом конкретном случае, в зависимости от характера и величины нагрузок, условий эксплуатации и конструктивных особенностей оборудования, к пластиковым деталям предъявляются различные требования. Основные требования включают: высокую механическую прочность, точность размеров, высокую износостойкость и устойчивость к агрессивным средам. Следует также учитывать, что климатические условия эксплуатации нефтепромыслового оборудования весьма разнообразны. Температура воздуха колеблется от –50 °C до + 50 °C.

Во многих случаях условия эксплуатации осложняются штормовыми ветрами, вызывающими запыленность.

A study to assess the quality of plastic parts in oilfield equipment

N.A. Gasanova, PhD in Tech. Sc.
Azerbaijan State University Oil and Industry

Keywords: plastic, wall thickness, thermosetting materials, molding, mold.

The requirements for plastic parts in oilfield equipment are quite high. Each specific application requires different requirements, depending on the nature and magnitude of loads, operating conditions, and design features of the equipment. Key requirements include high mechanical strength, dimensional accuracy, wear resistance, and resistance to aggressive environments. It should also be noted that the climatic conditions of oilfield equipment operation are quite varied. Air temperatures range from –50 °C to + 50 °C. In many cases, operating conditions are complicated by storm winds, which cause dust.

İstismarın aşağı və yüksək temperatur şəraitində materialların tez dağılması və xassələrin dəyişməsi təhlükəsi yaranır. Həmçinin havanın tozlanmasının yüksəlməsi ilə əlaqədar detalların sürtünən səthlərinin intensiv yeyilməsi baş verə bilər. Belə ki, Abşeron yarımadasında çox vaxt fırtına küləklərin olduğuna görə havada böyük miqdarda toz və qum olur. Detallara təsir edən mühitin xüsusiyyəti, onun yüksək abrazivliyi (məsələn, qazma proseslərində tətbiq edilən yuyucu məhlullar) və aqressivliyi (quyuların quyudibi zonalarının xlorid turşusu ilə emalı) neft avadanlığı üçün tipikdir. Konstruktiv xüsusiyyətləri baxımından, neft avadanlığı tərkib hissələrinin hərəkəti üzrə, birləşmələrin bütövlüyü və detalların səthlərinin forması üzrə xarakterizə etmək olar [1].

Tətqiqatlardan görünür ki, müxtəlif plastik kütlədən hazırlanan məmulatların konstruksiyalarında divar qalınlığı, hündürlüyü və deşik uzunluğu parametrlərinin əlaqəli asılılıqları və müəyyənedilmə qanunauyğunluğunun tədqiqi vacib məsələlərdən biri sayılır. Əsas parametr kimi divar qalınlığının hündürlüyünün onun qalınlığa təsir dərəcəsi ilə xarakterizə olunan bir asılılıq yarandığını xarakterizə edir.

Divarların qalınlığı divarın (hündürlüyündən) uzunluğundan, plastik kütlələrin axıcılığından, materialın mexaniki möhkəmliyindən və hissənin elementlərinin konfiqurasiyasından asılıdır. Materialın axma təsiri ən çox termoreaktiv plastik kütlələrdən istifadə etdikdə özünü göstərir. Ona görə ki, termoreaktiv plastik kütlələrin axıcılığı termoplastlara nisbətən çox aşağıdır. Aşağı axıcılıqlı plastik kütlələrdən qalın divarlı alçaq məmulatlar, yüksək axıcılıqlı plastik kütlələrdən isə nazik divarlı hündür konstruksiyalı məmulatlar almaq olar. Plastik kütlələrdən yüksək mexaniki möhkəmliyə malik daha nazik divarlı hissələr almaq olar.Belə ki, bərk termoreaktiv plastik kütlələr konstruktiv nöqteyi-nəzərindən sürüşmə deformasiyası nəzərə alınmazsa, lazımi hesabatlar hissənin qorxulu nöqtəsində əsas gərginliklərin tapılmasına və Morun möhkəmlik nəzəriyyəsinə görə ekvivalent gərginliklərin təyin olunmasına gətirib çıxarır [2].

Analizlər göstərir ki, termoreaktiv materiallar, kimyəvi reaksiya ilə aktivləşdirildiyi və işlədikdə qabarma və sərtləşmə proseslərinə məruz qaldığı üçün daha çox fəaliyyət göstərir. İşlənmiş termoreaktiv material, dəyişikliklərə məruz qalmadan şəkilləndirilə bilər və daha sonra təyin olunmuş şəraitdə (məsələn, istilik və təzyiq altında) sərtləşdirilə bilər. Termoreaktiv materialların bu göstəriciləri, materialın istifadə sahələri və tələblərinə cavab verib vermədiyini qiymətləndirməyə kömək edir. Müvafiq laboratoriya təcrübələri və testlər vasitəsilə bu göstəricilərin dəqiqliyi və materialın məhsul tələblərinə cavab verib vermədiyi qiymətləndirilir (cədvəl).

Plastik kütlədən hazırlanan detalların istehsal dəqiqliyinin artırılması məsələləri həm plastik kütlədən olan detalların, həm onların istehsal metodlarının və şəraitin spesifik xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq hər konkret halda həll olunmalıdır. İlk növbədə ümumi xətanın ən əhəmiyyətli hissəsini təşkil edən xətanı təyin etmək lazımdır [3].

Beləliklə, təzyiq altında tökmə prosesində ümumi xətanın ən böyük payı formalaşma zamanı oturtmanın dəyişməsi ilə yaranan xətanın və press-qəlibdən onun çıxarılması zamanı detalın temperaturunun dəyişkənliyi ilə bağlı xətanın üzərinə düşür. Termoreaktiv plastik kütlədən olan detalların preslənməsi zamanı ümumi xətanın ən böyük payı oturtmanın dəyişməsidir.

Bununla əlaqədar olaraq plastik kütlədən olan detalların hazırlanması zamanı detalların ölçülərinin və oturtmanın dəyişməsinin azalmasına yönəlmiş müəyyən qaydalara riayət etmək lazımdır. Presləmədə əsasən oturtma press-qəliblərdən detalların çıxarılması zamanı yaranır, təzyiq altında tökmədə isə detalların press-qəliblərdə saxlama zamanı yaranır. Bir çox hallarda çətin və bahalı birləşmələrin əvəzinə bilavasitə press-qəliblərdə detalların çox mürəkkəb konfiqurasiyalarının alınması imkanı yaranır.

Neft avadanlığının detallarının konstruksiyalarının təhlili əsasında, onların funksional xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq, onları plastik kütlədən hazırlamaq imkanı məsələsini həll etmək üçün detalları aşağıdakı kimi qruplaşdırmaq məqsədəuyğundur:

– maşınlarda hərəkətli və yüklənmiş hissələr üçün dayaq olan, hərəkətin və gücün bilavasitə ötürülməsi üçün xidmət edən detallar;

Materiallar	Sıxlıq, kq/m³	Temperatur, °C	Bükülmə gücü, MPa	Sıxlıq gücü, MPa	Elastiklik modulu, GPa	Elektrik izolyasiya xüsusiyyətləri
Epoksi Qatran	1100–1400	50–150	70–150	80–150	2–4	Əla
Fenol Qatran	1300–1500	120–180	80–200	100–400	2–6	Əla
Poliuretan	900–1400	-30–120	20–60	20–60	01–10	Yaxşı
Polyester	1200–1400	60–80	60–120	60–120	2–4	Yaxşı

– korpus, qabıq, örtük və s. tipli detallar, onların funksiyası əvvəlki qrupun detallarının qarşılıqlı lazımi yerləşməsini təmin etməkdir;

– köməkçi funksiyaları (yağlama, soyuma, işıqlandırma, idarəetmə və s.) yerinə yetirən detallar;

– konstruksiyalarda kipləndirməni və germetizasiyanı təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuş detallar.

Birinci qrupun detalları, adətən, əhəmiyyətli yüklənmələrə məruz qalır və bunun nəticəsində daha çox başqalarına nisbətən yeyilməyə və ya dağılmaya meyillidir. İkinci qrupun detalları daha kiçik yüklənmələrə və yeyilməyə məruz qalır. Üçüncü qrupun detalları praktiki olaraq yeyilmir və əhəmiyyətsiz yüklənmələrə məruz qalır. Dördüncü qrupun detalları istismar prosesində əsasən sıxılmış yüklənmələrin təsirinə məruz qalır [4, 5].

Neft avadanlığının detalların və düyünlərinin konstruksiyalarının təhlili əsasında detalların siyahısı təyin edilmişdir, onların plastik kütlələrdən istehsalı böyük iqtisadi səmərəliyin təmin edilməsi ilə konstruksiyaların uzunömürlülüyünü yüksəltməyə imkan verir [6].

Plastik kütlədən detalların konstruksiyalarının hazırlaması zamanı əsas məsələlərdən biri konstruksiyanın divarının qalınlığını təyin etmək və konstruksiyanın sərtliyini artırmaq lazımdır. İlk növbədə, plastik kütlədən olan detalların konstruksiyasının divarları təxminən eyni qalınlığa malik olmalıdır, çünki istehsalın texnoloji rejimini, əsasən də presləmə rejimini, konstruksiyanın elementlərinin qalınlığına əsaslanaraq müəyyən edirlər.

Əgər divarı qeyri-bərabər olan konstruksiya üçün rejimi seçərkən qalın divarlar nəzərdə tutulursa, onda nazik divarlar yanmağa başlayır. Əgər nazik divarlar nəzərdə tutulursa, onda qalın divarlar yaxşı bağlanmır. Divarların qalınlığı mümkün qədər kiçik olmalıdır. Termoreaktiv plastik kütlədən olan detallar üçün divarların qalınlığının azaldılması böyük əhəmiyyət kəsb edir, çünki nazik divarlarda oturtmanın və daxili gərginliklərin azalması ilə yanaşı, materialın keyfiyyəti yaxşılaşır, çünki divarlar nazik olduqda, presləmə prosesində material yaxşı bitişdirilir [7–9].

Sərtlik plastik detalların formasını və ölçülərini saxlamaq üçün lazımdır, çünki press-qəlibdən çıxarılması zamanı, gələcəkdə forması və ölçüləri hətta kiçik daxili gərginliklərin və ya xarici qüvvələrin təsiri altında dəyişə bilər [10]. Bundan başqa, konstruksiyada sərtliyin elementləri detalın möhkəmliyini artırır.

Nəticə olaraq qeyd etmək lazımdır ki, neft avadanlığının plastik kütlədən olan detallarının keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi mürəkkəb məsələdir. Neft avadanlığının plastik kütlədən olan detallarının xassələrinin, istismar göstəricilərinin təhlili onların konstruktiv dəqiqliyi baxımından daha geniş tətbiq edilməsinə imkan verir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *Керимов Д.А., Курбанова С.К.* Основы конструирования пластмассовых деталей и пресс-форм. – Баку: Изд-во “Элм”, 1997, 504 с.

2. *Керимов Д.А.* Экспериментальное исследование качества пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования // Машиноведение, 2014, № 2, с. 33-37.

3. *Гасанова Н.А.* Исследование качества пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования // Монография. Баку, 2021, с. 161.

4. *Kərimov C.A.* Maşınqayırma texnologiyası. – Çaşıoğlu, 2010, 508 s.

5. *Бабин А.Н.* Связующие для полимерных композиционных материалов нового поколения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013, № 4, с. 43-45.

6. *Kerimov D.A., Gasanova N.A.* Development of optimal regimes of cooling for plastic parts of thermosets SAEQ Science & Applied Engineering Quarterly, Jan-Feb-Mar 2017, pp. 17-19.

7. *Керимов Д.А.* Научные основы и практические методы оптимизации качества изготовления пластмассовых деталей для нефтепромыслового оборудования нефтяной и газовой промышленности. “Нефть и газ”, 1997, №1-2, 77-83 с.

8. *Болтакова Н.В., Салахов А.М.* Упругая и пластическая деформация: Учебно-методическое пособие / Н.В. Болтакова, А.М. Салахов. – Казань: Казан. ун-т, 2017, 43 с.

9. *Керимов Д.А.* Экспериментальное исследование качества пластмассовых деталей нефтепромыслового оборудования // Машиноведение, 2014, № 2, с. 33-37.

10. *Машков Ю.К.* Трибофизика металлов и полимеров: монография / Ю.К. Машков. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013, 240 с.

References

1. *Kerimov D.A., Qurbanova S.K.* Osnovy konstruirovaniya plastmassovykh detaley i press-form. – Baku: Izd-vo “Elm”, 1997, 504 s.

2. *Kerimov D.A.* Eksperimentalniye issledovaniye kachestva plastmassovykh detaley neftepromislovogo oborudovaniya // Mashinovedeniye, 2014, № 2, s. 33-37.

3. *Gasanova N.A*. Issledovaniye kachestva plastmassovykh detaley neftepromislovogo oborudovaniya // Monografiya, 2021, s. 161.

4. *Kerimov C.A*. Mashinqayirma texnologiyasi. – Chashioglu, 2010, 508 s.

5. *Babin A.N.* Svyazushiye dlya polimernykh kompozisionnykh materialov novoqo pokoleniya // Trudi VIAM: elektron. nauch.-texnich. jurn. 2013, № 4, s. 43-45.

6. *Kerimov D.A., Gasanova N.A*. Development of optimal regimes of cooling for plastic parts of thermosets SAEQ Science & Applied Engineering Quarterly, Jan-Feb-Mar 2017, pp. 17-19.

7. *Kerimov D.A*. Nauchniye osnovy i prakticheskiye metody optimizasii kachestva izqotovleniya plastmassovikh detaley dlya neftepromislovoqo oborudovaniya neftyanoy i qazovoy promishlennosti // “Neft′ i qaz”, 1997, № 1-2, 77-83 c.

8. *Boltakov N.V., Salakhov A.M*. Upruqaya i plasticheskaya deformasiya: Uchebno-metodicheskoye posobiye / N.V. Boltakova, A.M. Salakhov. – Kazan′: Kazan. un-t, 2017, 43 s.

9. *Kerimov D.A.* Ekspremental′noye issledovaniye kachestva plastmassovykh detaley neftepromislovoqo oborudovaniya // Mashinovedeniye, 2014, № 2, s. 33-37.

10. *Mashkov Yu.K.* Tribofizika metallov i polimerov: monoqrafiya / Y.K. Mashkov – Omsk: Izd-vo OmQTU, 2013, 240 s.

UOT 622.276.4

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-48-51

Neft hasilatında lay sularının radionuklidlərdən nanotexnologiyanın tətbiqi ilə təmizlənməsi prosesinin elmi əsaslarının işlənməsinə dair

E.Q. Şahbazov, t.e.d.[1], C.Ə. Nağıyev, k.ü.f.d.[2], A.M. Həsənova, t.ü.f.d.[3]
[1]"Azərbaycan neft təsərrüfatı" jurnalı,
[2]İnnovasiya və Rəqəmsal İnkişaf Agentliyinin Nüvə Tədqiqatları Departamenti,
[3]Riyaziyyat İnstitutu

e-mail: Eldar.Shahbazov@socar.az

Açar sözlər: nanotexnologiya, süxurlar, duzlar, radioaktiv materiallar, avadanlıq, ərp, korroziya, parafin.

Lay sularında duz və radionuklidlərin toplanması borularda ərpləşməyə və texnoloji dayanıqlığın azalmasına səbəb olur. Duzlaşma prosesi borular, nasoslar və istilik dəyişdiricilərində çöküntü və korroziya əmələ gətirir. Nəticədə neft sənayesində radiasiya səviyyəsi yüksəlir, avadanlığın istismar müddəti azalır və hasilat səmərəsi zəifləyir.

Aparılmış tədqiqatda, neft sənayesinin çox köhnə bir problemindən bəhs edilir. Bu köhnə problemi müasir nanotexnologiyanın tətbiqi ilə həll etmək mümkündür.

Bu məqalə neft hasilatı prosesində lay sularının tərkibindəki təbii mənşəli radionuklidlərin (^{226}Ra və ^{228}Ra) yaratdığı radioaktiv çöküntü (NORM), texnoloji dayanıqlığın azalması və borularda ərp əmələgəlmə problemlərinin müasir nanotexnoloji üsullarla həllinin elmi əsaslarının işlənməsinə həsr olunmuşdur. Lay sularında yüksək duzluluq və rəqabətli ion mühiti (Ca^{2+}, Ba^{2+} və s.) şəraitində radionuklidlərin selektiv olaraq kənarlaşdırılması üçün funksionallaşdırılmış superparamaqnit nanohissəciklər (Fe_3O_4) araşdırılmışdır.

Alınan nəticələr neft sənayesində ekoloji təhlükəsizliyin təmini, avadanlıqların istismar müddətinin uzadılması və hasilat səmərəliyinin artırılması üçün fundamental baza rolunu oynayır.

О разработке научных основ процесса очистки пластовых вод от радионуклидов при добыче нефти с применением нанотехнологий

Э.Г. Шахбазов д.т.н.[1], Дж.А. Нагиев, д.ф.х.н.[2], А.М. Гасанова, д.ф.т.н.[3]
[1]Журнал "Азербайджанское нефтяное хозяйство",
[2]Департамент ядерных исследований Агентства по инновациям и цифровому развитию,
[3]Институт математики

Ключевые слова: нанотехнология, горные породы, соли, радиоактивные материалы, оборудование, коррозия, парафин.

Накопление солей и радионуклидов в добываемой воде приводит к образованию накипи в трубах и снижению технологической стабильности. Процесс засоления вызывает образование отложений и коррозию в трубах, насосах и теплообменниках. В результате повышается уровень радиации в нефтедобывающей промышленности, сокращается срок службы оборудования и снижается эффективность производства. В исследовании рассматривается очень давняя проблема нефтедобывающей промышленности. Эту давнюю проблему можно решить с помощью современных нанотехнологий.

Данная статья посвящена разработке научных основ решения проблем радиоактивных осадков (NORM), снижения технологической стабильности и образования накипи в трубах, вызванных природными радионуклидами (^{226}Ra и ^{228}Ra) в составе добываемой в процессе нефтедобычи воды, с использованием современных нанотехнологических методов. Исследованы принципы синтеза функционализированных суперпарамагнитных наночастиц (Fe_3O_4) для селективного удаления радионуклидов из добываемой воды в условиях высокой солености и конкурентной ионной среды (Ca^{2+}, Ba^{2+} и др.).

Полученные результаты играют фундаментальную роль в обеспечении экологической безопасности в нефтедобывающей промышленности, продлении срока службы оборудования и повышении эффективности производства.

On the development of the scientific basis of the process of radionuclides in produced water in oil production through the application of nanotechnology

E.G. Shakhbazov, Dr. in Tech. Sc.[1], J.A. Nagiyev, PhD in Chem. Sc.[2], A.M. Hasanova, PhD in Tech. Sc.[3]
[1]Azerbaijan Oil Industry journal,
[2]Nuclear research of the Innovation and Digital Development Agency,
[3]Institute of Mathematics

Keywords: nanotechnology, rocks, salts, radioactive materials, equipment, corrosion, paraffin.

The accumulation of salts and radionuclides in produced water leads to scale formation in pipes and reduced process stability. Salinization causes deposits and corrosion in pipes, pumps, and heat exchangers. This increases radiation levels in the oil production industry, shortens equipment life, and reduces production efficiency. This study examines a long-standing problem in the oil production industry, which can be solved using modern nanotechnology.

This article focuses on the development of a scientific framework for addressing the problems of radioactive fallout (NORM), reduced process stability, and scale formation in pipes caused by naturally occurring radionuclides (226Ra and 228Ra) in produced water during oil production, using modern nanotechnology methods. The principles of synthesizing functionalized superparamagnetic nanoparticles (Fe3O4) for the selective removal of radionuclides from produced water under high salinity conditions and a competitive ionic environment (Ca2+, Ba2+, etc.) are explored.

These results are fundamental to ensuring environmental safety in the oil production industry, extending equipment service life, and improving production efficiency.

Aparılmış tədqiqatda, neft sənayesinin uzun müddətdir həllini tapmamış bir problemindən bəhs edilir. Bu problemi müasir nanotexnologiyanın tətbiqi ilə həll etmək mümkündür [1–5]. Tədqiqatda 40–70 nm ölçülü Al^{3+}, Fe^{2+} və Cu^{2+} əsaslı metal nanohissəciklərindən istifadə edilib.

Əsas problem boruların içini yeyən və hasilatı aşağı salan süxurlardan gələn ekonuklidlərdir. Söhbət sənayenin, onilliklərdir həll edə bilmədiyi dərinliklərdə gizlənən çox mürəkkəb bir problemdən gedir. Bildiyimiz kimi neftlə birlikdə yeraltından milyonlarla ton su da çıxarılır. Bu su min illər boyu yüksək təzyiq və temperatur altında süxurlarla təmasda olub, duzlarla və ən əsası təbii radioaktiv materiallarla zənginləşib. Əsl problem də məhz həmin suyun səthə çıxdığı andan başlayır. Su səthə çıxanda təzyiq və temperatur kəskin düşür. Nəticədə suyun içində həll olmuş minerallar avadanlıqların, boruların üzərinə çöküb bərk bir təbəqə–ərp, duzlaşma və korroziya yaratmağa başlayır (şəkil 1) [6, 7].



Şəkil 1. Avadanlıqların, boruların üzərinə çöküb bərk bir təbəqə yaradan ərp, duzlaşma və korroziya

Amma bu sadəcə boruları daraldan adi bir ərp deyil, o həm də yüksək dərəcədə radioaktivdir. Belə ki, bu ərp həm avadanlıqları sürətlə korroziyaya uğradır, həm də parafin və qumla birləşərək hasilatı aşağı salaraq bütün sistemi demək olar ki, iflic edir. Nəticədə birbaşa hasilat itkisi və yuxarıda sadalanan problemlər öz həllini məhz molekulyar səviyyədə tapır. Söhbət problemin yaranmasının qarşısını kökündən almaqdan gedir. Bu aparılmış tətqiqatda kiçik maqnitlərə bənzədilən korroziyadan bəhs olunur. Texniki dildə buna sorbsiya və koaqulyasiya deyilir.

Nanotexnologiya vasitəsi ilə stimullaşma – nanohissəcikli reagentlər radionuklidləri sorbsiya və koaqulyasiya mexanizmləri ilə neytrallaşdırır. Nanohissəciklər və məqsədyönlü reagentlərin tətbiqi ilə radionuklid daşınması 30–40 % azalır. Bu yanaşma həm ekoloji, həm də istehsalat təhlükəsizliyini artırır. Həmin hissəciklərin lay suyundakı 40–70 nm ölçülü Fe^{2+} hissəciklərinin maqnit xassələrinə malik olduğunun nəzərə alınması o zərərli radioaktiv elementləri parafin molekullarına, başqa zərərli maddələri bir növ özlərinə çəkir, onları birləşdirib daha asan idarə olunan qruplar halına gətirir.

Əvvəllər problem yaranırdı, sonra da onu ayrı-ayrılıqda həll etməyə çalışırdılar. Bu nanotexnologiya platforması isə proaktivdir. O, radiasiya, qum, korroziya, parafin hamısını eyni anda hədəf alır və onların yaranmasının qarşısını elə molekulyar səviyyədə alan vahid bir sistem təklif edir. Amma belə incə, belə zərif bilik texnologiyanı real neft quyusunun o sərt şəraitinə tətbiq etməzdən əvvəl, təbii ki, o ciddi bir elmi sınaq zəncirindən keçməlidir. Tədqiqatlar göstərir ki, hər bir addım yüksək dəqiqlikli laboratoriya analizlərinə əsaslanıb və bu elmi tədqi-

qatın mərkəzində dayanan ilk və ən vacib cihaz HPGE Qamma spektrometridir (şəkil 2). Sənədlərdə o, bu sahədə beynəlxalq qızıl standart adlandırılır.



Şəkil 2. HPGE Qamma Spektrometr

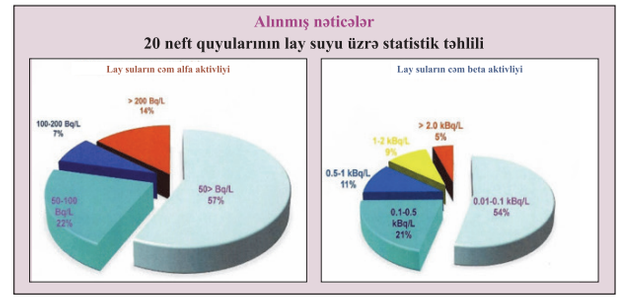
Radiasiyanı ölçmək üçün bundan daha dəqiq, daha etibarlı bir üsul demək olar ki, yoxdur. Bu cihaz lay suyunda hansı radioaktiv izotopların olduğunu və onların konsentrasiyasının, yəni miqdarının nə qədər olduğunu atom səviyyəsində dəqiq şəkildə ölçür. Cihazın köməyi ilə biz nanoreagentləri tətbiq etməmişdən əvvəl ölçürük, sonra nanoreagentləri tətbiq etməklə yenidən ölçmə aparırıq. Yəni bir təməl xətt formalaşır. Bu da həmin o spektrometrin müəyyən etdiyi bəzi əsas izotoplardır.

İndi insan orqanizminə təhlükəli təsir edən alfa şüalarını ölçən cihazdan istifadə edək. Alfa hissəcikləri dəriyə o qədər təsir etmir, amma orqanizmə daxil olanda inanılmaz dərəcədə təhlükəlidir və onları aşkar etmək xüsusi həssaslıq tələb edir. Bu cihaz da məhz bunu edir (şəkil 3).



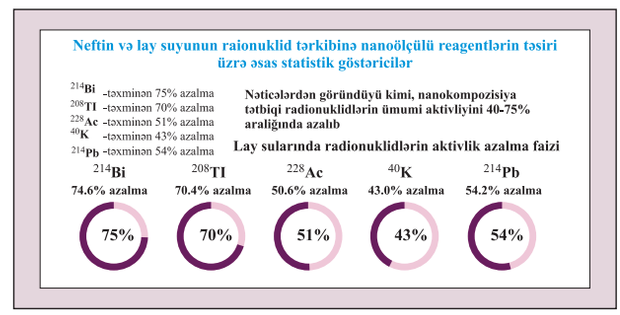
Şəkil 3. Alfa şüalarını ölçən cihaz

O, nanotexnologiyanın tətbiqindən əvvəl və sonra bu real daxili şüalanma riskinin nə qədər azaldığını elmi şəkildə təkzibedilməz rəqəmlərlə sübut edir. Bu o deməkdir ki, bu texnologiya sadəcə sənaye avadanlıqlarını deyil, həm də orada çalışan insanları qoruyur. Və bu da alfa şüalanmanı hədəf aldığı bəzi izotoplardır. Həmin elementlərin səviyyəsinə nəzarət etmək, birbaşa olaraq neft mədənlərində çalışan işçilərin həyatını daha təhlükəsiz etmək deməkdir. Nanotəsirdən əvvəl və sonra radionuklidlərin xüsusi aktivlikləri müqayisə edilmişdir. Hər radionuklid üzrə azalma faizi hesablanmış və nəticələr üsullarla (donut diaqramına) vizuallaşdırılmışdır. Müxtəlif nanokompozisiyaların effektivliyi müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir.



Şəkil 4. Neft quyularının lay suyu üzrə statistik təhlili

Beləliklə, bütün bu dəqiq laboratoriya sınaqlarından sonra ən həyəcanlı və riskli mərhələ gəlir. Texnologiyanı real şəraitdə və real quyularda tətbiq edirik. Tədqiqat obyekti kimi 20 fərqli quyudan götürülmüş lay suları, eləcə də quyuətrafı torpaq, bərk tullantı və dibçöküntüsü nümunələri üzərində tədqiqatlar aparılmışdır (bax: şəkil 4). Lay suyu nümunələri texnoloji prosesin fasiləsiz rejimində, standart sanitar-radioloji qaydalara uyğun olaraq götürülmüşdiir. Torpaq və bərk çöküntü nümunələri quyuətrafının müxtəlif nöqtələrindən, fon və cirklənmiş sahələr üzrə seçilmişdir. Nümunələr homogenləşdirilmiş, qurudulmuş və qamma-spektrometrik analiz üçün hazırlanmışdır. Amma nəticələr, daha da təsirlidir. Bu diaqramlar hər şeyi çox aydın göstərir (şəkil 5).



Şəkil 5. Neftin və lay suyunun radionuklid tərkibinə nanoölçülü reagentlərin təsiri üzrə statistik göstəricilər

Nümunələrin radionuklid tərkibli yüksək ayırdetmə qabiliyyətli HPGe qamma –spektrometriya metodu ilə təyin edilmişdir. Analiz zamanı əsasən ^{226}Ra, ^{228}Ra, onların parçalanma məhsulları ^{328}U, ^{232}Th, ^{226}Ra, ^{228}Ra, ^{214}Bi, ^{214}Pb, ^{228}Ac, ^{208}Tl və ^{40}K müəyyən edilmişdir.

Biz bəzi izotopların aktivliyində, məsələn, Bismut 214-də təxminən 75 %, Tallium 208-də isə 70 % yaxın azalma müşahidə edirik. Ümumilikdə radionuklidlərin aktivliyinin 40–75 % azalması bu sənaye üçün həqiqətən nəhəng bir göstəricidir. Amma faydalar bununla bitmir. Həmin texnologiya boruları təmizləyərək və neftin axıcılığını təmin edərək birbaşa neft hasilatını 10–18 % artırıb. Bu birbaşa gəlir artımı deməkdir və bəlkə də ən vacib iqtisadi göstəricilərdən biridir. Ərp və korroziyanın azalması avadanlıqların ömrünü 20 % uzadır. Bu o deməkdir ki, əvvəllər beş ildən bir dəyişdirilən milyonlarla dollarlıq bir boru və ya nasos indi altı il işləyəcək. Bunu yüzlərlə quyu miqyasında təsəvvür edin. Bu təkcə yeni avadanlıq xərclərinə deyil, həm də təmir üçün quyunun dayandırılması ilə itirilən hasilata nəhəng bir qənaət deməkdir.

Lakin bütün bu rəqəmləri bir kənara qoysaq, tətqiqatlar göstərir ki, həmin layihənin arxasında sadəcə daxili bir problemi həll etməkdən daha böyük bir görüntü var. Bu, bir-birini gücləndirən bir faydalar zənciri yaradaraq iqtisadiyyat üçün birbaşa gəlir artımı, işçilər üçün daha təhlükəsiz iş şəraiti, ətraf mühit üçün su ehtiyatlarına qənaət olunması və CO_2 emissiyalarının azaldılmasını təmin edir. Ən əsası ölkə üçün bu sadəcə xaricdən hazır texnologiya almaq deyil, texnologiyanı ölkə daxilində inkişaf etdirmək və Azərbaycanın beynəlxalq səviyyədə elmi və texnoloji nüfuzunu artırmaq deməkdir.

Tədqiqat zamanı radiasiya təhlükəsizliyi üzrə milli və beynəlxalq normalara (1 mZv/il) riayət olunmuşdur. TRM-lə işləmə zamanı fərdi mühafizə vasitələrindən istifadə edilmiş və radionuklidlərin yayılma riskləri minimuma endirilmişdir.

Neft hasilatında rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi genişləndirilmiş, SOCAR və İRİA arasında birgə elmi tətqiqatlar aparılmışdır. Radioloji tətbiqlər üzrə xüsusi icazə və beynəlxalq standartlara uyğun laborator infrastruktur xidmətlərin keyfiyyəti və sektorlararası rəqabət qabiliyyəti artırılmışdır.

Nəticə

SOCAR və İRİA arasında birgə elmi tətqiqatlar aparılmışdır və nanokompozisiya tətbiqi nəticəsində radionuklidlərin ümumi aktivliyi 40–75 % aralığında azalmışdır. Lay sularında radionuklidlərin aktivliyinin Bismut 214-də təxminən 75 %, Tallium 208-də isə 70 %-ə yaxın azalma müşahidə edirik.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *Şahbazov E.Q.* Neft hasilatında mürəkkəbkəşmələrə qarşı yaşıl enerji və nanotexnologiyalar. – Bakı: "Azəri poliqrafiya", 2026, 415 s.
2. *Qəribov A.A.* Praktiki nüvə fizikası. – Bakı: "Elm", 2019, 416 s.
3. *Масимов Э.А.* Вода. Состояние и роль воды в биологических системах. Вода в природе. – Баку: "Füyuzat", 2025, 368 с.
4. *Shahbazov E.Q., Dishin O.* The Phenomenon of Superfluidity in Wells Nanoframe Journal // Scientific Israel-Technological Advantages, 2015, vol. 17, № 4, pp. 66-83.
5. *Shahbazov E.Q., Jabbarova K.* Anti-saline deposit nanosystem in oil production // Scientific Israel- Technological Advantages, 2016, vol.18, № 2, pp. 107-110.
6. *Шахбазов Э.Q., Дышин О.* Феномен сверхтекучести флюидов в нанокаркасе нефтяных скважин// Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2016, № 2, с. 31-39.
7. *Şahbazov E.Q., Əliyev C., Həsənova A.* Neftin nəqlində nanotexnologiyalar // AMEA-nın xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, İnformatika və idarəetmə problemləri, c. XXXVIII, № 6, "Elm" nəşriyyatı, Bakı, 2018, s. 91-95.

References

1. *Shahbazov E.Q.* Neft hasilatinda murekkebleshmelere qarshi yashil enerji ve nanotexnologiyalar. – Baki: "Azeri poliqrafiya", 2026, 415 s.
2. *Qaribov A.A.* Praktiki nuve fizikasi. – Baki: "Elm", 2019, 416 s.
3. *Masimov E.A.* Voda. Sistani i rol′ vody v biologicheskikh sistemax. Voda v prirode. – Baku: "Fuyuzat", 2025, 368 s.
4. *Shahbazov E.Q., Dishin O.* The Phenomenon of Superfluidity in Wells Nanoframe Journal // "Scientific Israel-Technological Advantages", 2015, vol. 17, № 4, pp. 66-83.
5. *Shahbazov E.Q., Jabbarova K.* Anti-saline deposit nanosystem in oil production // Scientific Israel- Technological Advantages 2016, vol. 18, № 2, pp. 107-110.
6. *Shakhbazov E.Q., Dishin O.* Fenomen sverkhtekuchesti flyuidov v nanokarkase neftyanykh skvajin // Azerbaycan neft teserrufati, 2016, № 2, s. 31-39.
7. *Shakhbazov E.Q., Aliyev C., Hasanova A.* Neftin neqlinde nanotexnologiyalar // AMEA-nin xeberleri, Fizika-texnika ve riyaziyyat elmleri seriyasi, Informatika ve idareetme problemleri, c. XXXVIII, № 6, "Elm" neshriyyati, Baki 2018, s. 91-95.

УДК 665.637.88

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-52-56

Исследование процесса окисления нефтяного гудрона в присутствии катализаторов, синтезированных на основе природных нефтяных кислот

В.М. Аббасов, д.х.н., Л.М. Эфендиева, д.х.н., Ю.П. Черепнова, д.ф.х.н., Б.А. Бабаева, Н.Х. Эфендиева
Институт нефтехимических процессов

e-mail: uta1980@inbox.ru

Ключевые слова: нефтяной гудрон, аэробное окисление, металлсодержащие катализаторы, гомогенные окислительные катализаторы, нефтепродукты, дорожный битум.

Рассмотрено влияние добавок, оказывающих каталитическое действие на процесс окисления нефтяного гудрона. В качестве добавок были изучены синтезированные Fe- и Mn-содержащие соли природных нефтяных кислот. Концентрация данных соединений в нефтяном гудроне составляла 0.1 и 0.3 % масс. на 100 г. сырья. Установлено, что добавка, содержащая соль металлов переменной валентности оказывает на процесс окисления разное каталитическое действие в зависимости от концентрации их в нефтяном сырье.

В работе представлено сравнение окисленных битумов, полученных в процессе окисления “без” и “с” добавлением исследуемых соединений в оптимальных концентрациях. Продемонстрировано, что введение в нефтяной гудрон Fe- и Mn-содержащих солей природных нефтяных кислот, как в отдельности, так и в смеси, оказывает влияние на продолжительность процесса окисления и на качественные характеристики окисленных битумов.

Təbii neft turşularının əsasında sintez edilmiş katalizarotların iştirakı ilə neft qudronunun oksidləşdirilməsi prosesinin tədqiqi

V.M. Abbasov, k.e.d., L.M. Əfəndiyeva, k.e.d., Y.P. Çerepnova, k.ü.f.d., B.Ə. Babayeva, N.X. Əfəndiyeva
Neft-Kimya Prosesləri İnstitutu

Açar sözlər: neft qudronu, aerob oksidləşmə, metalsaxlayan katalizatorlar, homogen katalizatorlar, neft məhsulları, yol bitumu.

Təqdim edilmiş məqalədə neft qudronunun katalitik oksidləşmə prosesində metalsaxlayan katalizator – əlavələrin təsiri tədqiq edilmişdir. Katalizator – əlavə kimi təbii neft turşularının Fe- və Mn duzları istifadə edilmişdir. Bu birləşmələrin neft qudronunda qatılığı 100 q xammala görə 0.1, 0.3 % kütlə təşkil etmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, dəyişkən valentli metal duzları xammalda miqdarından asılı olaraq, oksidləşmə prosesinə fərqli katalitik təsir göstərə bilər.

Tədqiqat işində oksidləşmə prosesi zamanı katalizatorsuz və optimal qatılıqlarda katalizatorun iştirakı ilə alınan oksidləşmiş bitumun müqayisəli təhlili verilmişdir. Sübut edilmişdir ki, neft qudronuna təbii neft turşularının Fe- və Mn duzlarının ayrı-ayrılıqda və qarışıq şəkildə əlavə edilməsi oksidləşmə prosesinin aparılma müddətinə və oksidləşmiş bitumun keyfiyyət göstəricilərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

Study of the process of oxidation of oil tar in the presence of catalysts synthesized based on natural petroleum acids

V.M. Abbasov, Dr. in Ch. Sc., L.M. Afandiyeva, Dr. in Ch. Sc., Yu.P. Cherepnova, PhD in Ch. Sc.,
B.A. Babayeva, N.H. Afandiyeva
Institute of Petrochemical Processes

Keywords: petroleum tar, aerobic oxidation, metal-containing catalysts, homogeneous oxidation catalysts, petroleum products, road bitumen.

This article examines the effect of additives that have a catalytic effect on the oxidation of petroleum tar. Synthesized Fe- and Mn-containing salts of natural petroleum acids were studied as additives. The concentration of these compounds in petroleum tar was 0.1 and 0.3 wt. % per 100 g of raw material. It has been established that an additive containing a salt of variable valence metals has a different catalytic effect on the oxidation process depending on their concentration in the petroleum row material. The paper presents a comparison of oxidized bitumens obtained in oxidation processes “without” and “with” the addition of the studied compounds at optimal concentrations. It is demonstrated that the introduction of Fe- and Mn-containing salts of natural petroleum acids into petroleum tar, both individually and in combination, affects the duration of the oxidation process and the quality characteristics of the oxidized bitumens.

Основная задача, стоящая перед современной нефтепереработкой – это повышение эффективности переработки нефти и качества выпускаемых нефтепродуктов, к которым относятся и нефтяные битумы. Поэтому, важное значение имеют исследования, направленные на разработку рациональных методов совершенствования технологии производства нефтяного битума, как одного из наиболее распространенных инженерно-строительных материалов [1, 2]. В современной нефтяной промышленности для регулирования качественных свойств битума применяют различные технологические приемы, среди которых можно выделить следующие:

– применение в качестве компонентов сырья или добавок к сырью продуктов, которые содержат смолисто-асфальтеновые вещества, полициклические ароматические углеводороды [3];

– использование веществ, способных катализировать или ингибировать процесс окисления гудрона, и соответственно, не только ускорять процесс окисления, но и оказывать влияние на свойства получаемых битумов [4];

– модификация битумов полимерами, адгезионными добавками для коррекции физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик товарной продукции [5].

При получении на производстве битумных материалов из тяжелых нефтяных остатков необходима реализация многостадийного процесса получения, который включает не только окисление гудрона, но и модификацию сырья для приобретения требуемого качества материала [6]. Несмотря на то, что модификаторы и добавки улучшают характеристики битума [7], технологический процесс их введения достаточно трудоемкий и требует дополнительного оборудования, а также отдельной стадии в производстве. Решением этих проблем может быть введение добавок, улучшающих качество битумов, в процесс окисления гудрона [8]. Во-первых, это позволяет экономнее расходовать добавку, так как при окислении происходит более полное её растворение в гудроне и равномерное распределение в битуме. Во-вторых, происходит сокращение производственной цепочки ввиду исключения стадии компаундирования битума с модификатором. Следовательно, на выходе получается более качественный материал с заданными характеристиками, по сравнению с битумом, полученным из немодифицированного гудрона.

В рамках исследования были проведены работы, связанные с процессом окисления гудрона с добавками (в присутствии Fe- и Mn-содержащих катализаторов) и без них, с целью сравнения свойств полученных продуктов и выявления эффективности добавок.

Исходным сырьем в исследовании процесса окисления служил нефтяной гудрон, получаемый на Нефтеперерабатывающем заводе им. Г. Алиева (Азербайджан) в процессе первичной переработки нефти. Физико-химические показатели, групповой состав гудрона даны в табл. 1.

Таблица 1

Показатель	Значение
Плотность при 20 °C, кг/м^3	965.5
Температура н.к., °C	Не ниже 450
Групповой состав, % масс.	
Асфальтены	16.6
Смолы	18.8
Масла	64.6
Температура размягчения по КиШ, °C	28.5
Температура вспышки в открытом тигле, °C	>286
Коксуемость, % масс.	11.48
Содержание серы, % масс.	0.48

В качестве добавок были исследованы образцы железо- и марганецсодержащей соли природных нефтяных кислот (Fe-ПНК, Mn-ПНК), синтезированных по следующей методике: в четырехгорлую реакционную колбу, снабжённую термометром, холодильником, делительной воронкой и мешалкой, заливают расчетное количество гексана (99 %, Sigma Aldrich) и природных нефтяных кислот (выделены из светлых дистиллятов смеси бакинских нефтей) в массовом соотношении 5:1, затем колбу нагревают при постоянном перемешивании до 40 °C. Посредством делительной воронки, в реакционную колбу по каплям добавляют 20 %-ный раствор NaOH (90 %, Sigma Aldrich), соответствующий кислотному числу выделенной нефтяной кислоты. После добавления раствора щелочи, смесь перемешивают при той же температуре в течение 1 ч. и затем к реакционной смеси добавляют стехиометрически рассчитанное количество неорганической или органической соли переходного элемента ($FeSO^4 \cdot 7H_2O$, $MnSO_4 \cdot 5H_2O$) (99 %, Sigma Aldrich) и реакцию продолжают в течение 3 ч. После окончания реакции, смесь разделяют с помощью делительной воронки. Водную фазу из нижней части воронки удаляют, а раствор соли с растворителем в органической фазе промывают водой, нагретой до 50–60 °C для удаления неор-

Таблица 2

Наименование показателя	Норма для БНД 50/70	Скорость воздушного потока, л/мин.	
		0.5	0.6
Без добавки			
Время окисления, ч	–	25	15
Температура размягчения по ГОСТ, °С	46-54	46	46
Температура хрупкости по Фраасу, °С	≤-15	-25	-23
Растяжимость при 25 °С, см	≥55	87	>100
Глубина проникания иглы диаметром 0.1 мм при 25 °С по ГОСТ	51–70	54	56
Адгезия, балл	1, 2, 3	3	2
С добавлением Fe-ПНК			
Время окисления, ч	–	11	8
Температура размягчения по ГОСТ, °С	46–54	47	48
Температура хрупкости по Фраасу, °С	≤-15	-20	-22
Растяжимость при 25 °С, см	≥55	>100	>100
Глубина проникания иглы диаметром 0.1 мм при 25 °С по ГОСТ	51–70	54	52
Адгезия, балл	1, 2, 3	2	1
С добавлением Mn-ПНК			
Время окисления, ч		11	8
Температура размягчения по ГОСТ, °С		45	45.9
Время окисления, ч	–	17	9
Температура размягчения по ГОСТ, °С	46–54	47.8	48
Температура хрупкости по Фраасу, °С	≤-15	-22	-21
Растяжимость при 25 °С, см	≥55	68	>100
Глубина проникания иглы диаметром 0.1 мм при 25 °С по ГОСТ	51–70	53	54
Адгезия, балл	1, 2, 3	2	1
С добавлением Fe:Mn-ПНК			
Время окисления, ч	–	10	8
Температура размягчения по ГОСТ, °С	46-54	46.7	49.4
Температура хрупкости по Фраасу, °С	≤-15	-20	-25
Растяжимость при 25 °С, см	≥55	99	>100
Глубина проникания иглы диаметром 0.1 мм при 25 °С по ГОСТ	51–70	54	56
Адгезия, балл	1, 2, 3	2	1

ганических анионов [9].

Методика проведения процесса окисления представлена ниже:

– термоокисление нефтяного гудрона на лабораторной установке [4] в окислительной колонне при температуре 260 ± 2 °С и скорости воздушного потока 0.5 и 0.6 л/ мин (5 и 6 $м^3/(м^2 \cdot мин)$);

– подготовка сырья (введение Fe-, Mn-ПНК и смеси Fe:Mn-ПНК в гудрон в концентрации 0.1; 0.3 % масс.), перемешивание до однородности, термоокисление в окислительной колонне при температуре 260 ± 2 °С и скорости воздушного потока – 0.5 и 0.6 л/мин (5 и 6 $м^3/(м^2 \cdot мин)$);

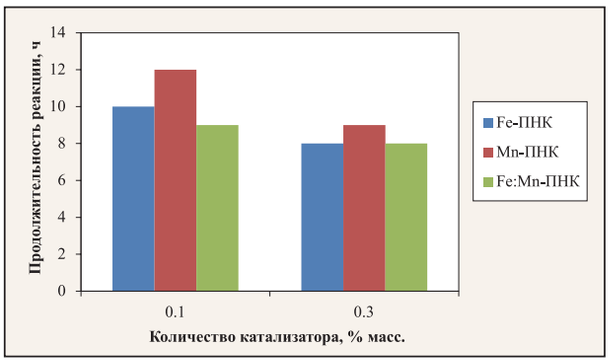
– отбор проб каждые 3–5 ч с целью измерения температуры размягчения по методу “Кольцо и Шар” (КиШ) получаемого битума;

– определение показателей качества полученных битумов (температура размягчения, глубина проникания иглы диаметром 0.1 мм при 25 °С (пенетрация), температура хрупкости по Фраасу, растяжимость (дуктильность) при 25 °С, адгезия к минеральным наполнителям) по ГОСТ AZ 3536601.242-2015 при достижении значения по КиШ 46–49 °С.

Затем выполнены сравнительные анализы показателей качества битума, полученного из гудрона с низкими показателями качества, и битума, полученного из того же образца гудрона с добавлением Fe-ПНК, Mn-ПНК и смеси Fe:Mn-ПНК (3:1). Проведенные исследования показали, что образцы битумов, полученных в присутствии 0.1 % масс. используемых добавок имели худшие показатели качества и процесс их получения проходил в более длительный период времени. Однако при использовании 0.3 % масс. добавок наблюдается устойчивый эффект процесса окис-

ления. Результаты анализа битумов, полученных из гудрона “без” и “с” добавлением 0.3 % масс. Fe-ПНК, Mn-ПНК и смеси Fe:Mn-ПНК представлены в табл. 2.

Анализ характеристик полученного битума показал, что при окислении нефтяного гудрона (без использования катализаторов) не удается достичь требуемых показателей качества битума в более короткий временной диапазон: 25 ч при скорости воздушного потока 0.5 л/мин и 15 ч при скорости воздушного потока 0.6 л/мин (см. табл. 2). В случае окисления гудрона в присутствии Fe-ПНК, Mn-ПНК и смеси Fe:Mn-ПНК проявляется соответствие всем требованиям ГОСТ AZ3536601.242-2015 в более короткий временной интервал продолжительности реакции (8–9 ч) при скорости воздушного потока – 0.6 л/мин. На рисунке представлены графические зависимости продолжительности процесса окисления от количества вводимого катализатора при скорости воздушного потока – 0.6 л/мин.



Зависимость продолжительности реакции окисления от количества вводимого катализатора

Таким образом, введение добавок позволяет достичь соответствия битума практически всем нормам ГОСТ и приводит к изменению скорости процесса окисления. Синтезированные катализаторы могут оказывать на процесс как каталитическое, так и ингибирующее воздействие в зависимости от концентрации в исходном нефтяном сырье. Оптимальное содержание (в данном случае – 0.3 % масс.) катализаторов и условие процесса окисления способствуют превращению компонентов нефтяного гудрона в соединения, положительно влияющие на эксплуатационные свойства битумного материала – пластичность, стабильность, сцепление с минеральными наполнителями. Качественные показатели и продолжительность процесса окисления гудрона до битума, полученного в присутствии смеси Fe:Mn-ПНК свидетельствует о проявлении синергетического эффекта в данном процессе.

Выводы

Установлено, что введение в нефтяной гудрон добавок – катализаторов, полученных на базе углеводородного сырья Азербайджана, воздействует на структурную организацию нефтяных систем. Введение в систему оптимального количества катализатора – 0.3 % масс., в особенности смеси Fe:Mn-ПНК, приводит к ускорению процесса окисления и изменению качественных показателей конечных продуктов окисления при одинаковых условиях проведения процесса окисления, что может быть использовано для получения окисленных битумов с улучшенными качественными показателями без внесения изменений в технологию процесса окисления.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда науки Азербайджана – ***Грант № AEF-MGC-2025-1(54)-20/16/4-M-16***

Список литературы

1. *Grushova E.I., Stan’ko M.V., Khat’ko I.N.* Influence of heavy pyrolysis resin on the processes of oil tar oxidation // Proceedings of BSTU, Issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geo-ecology, 2021, № 1, pp. 57-62. (In Russian)

2. *Cherepnova Yu.P.* Road oil bitumens: promising ways for obtaining and controlling properties (review) // Processes of petrochemistry and oil refining, 2024, vol. 25, № 3, pp. 694-703.

3. *Garashchuk Yu.A., Grushova E.I., Kuzemkin D.V.* The influence of a flavored additive to tar on the group composition of oxidizing bitumen // Chemistry. Ecology. Urban Studies: materials of the All-Russian scientific and practical conference. – Perm: Publishing House of Perm National Research Polytechnic University, 2023, vol. 3, pp. 44-46.

4. *Abbasov V.M., Afandiyeva L.M., Cherepnova Yu.P., Mammadov A.M., Ahmadbayova S.F., Aliyeva N.M., Nasibova G.G., Agamaliyeva D.B.* Study of physico-chemical characteristics of the bitumen obtained by aerobic catalytic oxidation of oil tar // SOCAR Proceedings, 2025, № 2, pp. 135-142.

5. *Брызгалов Н.И., Ахметзянов Р.Р.* Исследование реологических свойств полимерно-битумных вяжущих // Мир нефтепродуктов, 2023, № 4, с. 6-11.

6. *Popov M.R., Chernysheva E.A., Zuikov A.V., Kozhevnikova J.V*. Assessment of the effect of tar additives on properties bitumen // World of Petroleum Products, 2024, № 3, pp. 42-47.

7. *Belova N.A., Kortovenko L.P., Strakhova N.A*. Additives in bitumen // Bulletin of the Dagestan State Technical University // Technical Sciences, 2018, vol. 45, № 3, pp. 175-184.

8. *Abbasov V.M., Afandiyeva L.M., Cherepnova Yu.P., Nasibova G.G., Aliyeva N.M., Ahmadbayova S.F., Mammadov A.M., Lyadov A.S*. Commercial production of bitumen via oxidation of vacuum residue over iron catalysts // Petroleum Chemistry, 2025, vol. 64, № 3, pp. 298-303.

9. *Əfəndiyeva L.M.* Beşnüvəli Co, Ni komplekslərinin iştirakı ilə sintetik neft turşularının alınması prosesinin işlənib hazırlanması: kimya üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi üzrə dissertasiya, 2012.

References

1. *Grushova E.I., Stan'ko M.V., Khat'ko I.N*. Influence of heavy pyrolysis resin on the processes of oil tar oxidation // Proceedings of BSTU, Issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geo-ecology, 2021, No. 1, pp. 57-62. (In Russian).

2. *Cherepnova Yu.P*. Road oil bitumens: promising ways for obtaining and controlling properties (review) // Processes of petrochemistry and oil refining, 2024, vol. 25, No. 3, pp. 694-703.

3. *Garashchuk Yu.A., Grushova E.I., Kuzemkin D.V*. The influence of a flavored additive to tar on the group composition of oxidizing bitumen // Chemistry. Ecology. Urban Studies: materials of the All-Russian scientific and practical conference // Perm: Publishing House of Perm National Research Polytechnic University, 2023, vol. 3, pp. 44-46.

4. *V.M. Abbasov, L.M. Afandiyeva, Yu.P. Cherepnova, A.M. Mammadov, S.F. Ahmadbayova, N.M. Aliyeva, G.G. Nasibova, D.B. Agamaliyeva.* Study of physico-chemical characteristics of the bitumen obtained by aerobic catalytic oxidation of oil tar // SOCAR Proceedings, 2025, No. 2, pp. 135-142.

5. *Brizgalov N.I., Ahmetzyanov R.R.* Issledovaniye reologicheskih svoystv polimerno-bitumnih vyajushih // Mir Nefteproduktov, 2023, No. 4, s. 6-11.

6. *Popov M.R., Chernysheva E.A., Zuikov A.V., Kozhevnikova J.V*. Assessment of the effect of tar additives on properties bitumen // World of Petroleum Products, 2024, No. 3, pp. 42-47.

7. *Belova N.A., Kortovenko L.P., Strakhova N.A*. Additives in bitumen // Bulletin of the Dagestan State Technical University // Technical Sciences, 2018, vol. 45, No. 3, pp. 175-184.

8. *Abbasov V.M., Afandiyeva L.M., Cherepnova Yu.P., Nasibova G.G., Aliyeva N.M., Ahmadbayova S.F., Mammadov A.M., Lyadov A.S.* Commercial production of bitumen via oxidation of vacuum residue over iron catalysts // Petroleum Chemistry, 2025, vol. 64, No. 3, pp. 298-303.

9. *Efendiyeva L.M. Beshnuveli Co*. Ni komplekslerinin ishtiraki ile sintetik neft turşularinin alinmasi prosesinin ishlenib hazirlanmasi: kimya uzre felsefe doktoru elmi derecesi uzre dissertasiya, 2012.

UDC 568.5.011

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-57-63

Construction and application of supply chain performance evaluation system for petroleum enterprises

X.M. Zhao, I.Sh. Rustamov, Dr. in Ec. Sc.
Azerbaijan State Oil and Industry University

e-mail: 709169882@qq.com

Keywords: oil supply chain, performance evaluation, AHP-Entropy Weight Method, supply chain resilience, SOCAR, Caspian Energy.

Driven by both the global energy transition and the integration of Caspian energy trade, the oil and gas supply chain is facing multiple pressures, including cost control, low-carbon and green transformation, cross-border logistics risks, and insufficient supply resilience. To address this, this study constructs a performance evaluation system for cross-border oil companies across five dimensions based on the triple bottom line theory and the characteristics of the entire industry chain. The weights of the indicators are calculated using the analytic hierarchy process (AHP)-entropy combination weighting method. Empirical verification and sensitivity analysis are conducted using publicly available official data from the Azerbaijan National Oil Company (SOCAR) from 2022 to 2025. The results show that SOCAR's overall supply chain performance score steadily improved from 62.37 in 2022 to 75.19 in 2025. Logistics resilience and the ability to reduce carbon emissions across the entire supply chain are the two core bottlenecks restricting overall performance. Sensitivity analysis confirms the robustness of the evaluation results. The study indicates that this evaluation system is well-suited for oil companies in the Caspian region and can serve as a quantitative decision-making tool for supply chain optimization, cost reduction and efficiency improvement, and carbon neutrality transformation. Based on this, corresponding optimization strategies are proposed to address the existing shortcomings of SOCAR's supply chain.

Neft müəssisələrinin tədarük zəncirinin fealiyyətinin qiymətləndirilməsi sisteminin qurulması və tətbiqi

S.M. Çjao, İ.Ş. Rüstəmov, i.e.d.
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: neft təchizat zənciri, performansın qiymətləndirilməsi, AHP-Entropiya Çəki Metodu, təchizat zəncirinin davamlığı, SOCAR, Xəzər energetikası.

Həm qlobal enerji keçidi, həm də Xəzər enerji ticarətinin inteqrasiyası ilə idarə olunan neft və qaz təchizat zənciri bir çox təzyiqlərlə üzləşir, o cümlədən xərclərə nəzarət, aşağı karbonlu və yaşıl transformasiya, sərhədyanı logistika riskləri və təchizat dayanıqlığının qeyri-kafi olması.

Bunu həll etmək üçün bu tədqiqat üçqat mənfəət nəzəriyyəsinə və bütün sənaye zəncirinin xüsusiyyətlərinə əsaslanaraq sərhədyanı neft şirkətləri üçün beş ölçüdə fəaliyyət qiymətləndirmə sistemi qurur. Göstəricilərin çəkiləri analitik iyerarxiya prosesi (AHP)-entropiya kombinasiyasının çəki metodu ilə hesablanır. Empirik yoxlama və həssaslıq təhlili 2022-ci ildən 2025-ci ilə qədər Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkətinin (SOCAR) ictimaiyyətə açıq rəsmi məlumatlarından istifadə etməklə aparılır. Nəticələr göstərir ki, SOCAR-ın ümumi təchizat zəncirinin fəaliyyət balı 2022-ci ildəki 62.37-dən 2025-ci ildə 75.19-a qədər davamlı olaraq yaxşılaşıb. Logistika dayanıqlığı və bütün təchizat zənciri boyunca karbon emissiyalarını azaltmaq qabiliyyəti ümumi fəaliyyəti məhdudlaşdıran iki əsas maneədir. Həssaslıq təhlili qiymətləndirmə nəticələrinin möhkəmliyini təsdiqləyir.

Tədqiqat göstərir ki, bu qiymətləndirmə sistemi Xəzər regionundakı neft şirkətləri üçün çox uyğundur və təchizat zəncirinin optimallaşdırılması, xərclərin azaldılması və səmərəliyin artırılması, eləcə də karbon neytrallığının transformasiyası üçün kəmiyyət qərar qəbuletmə vasitəsi kimi xidmət edə bilər. Buna əsasən, SOCAR-ın təchizat zəncirindəki mövcud çatışmazlıqları aradan qaldırmaq üçün müvafiq optimallaşdırma strategiyaları təklif olunur.

Разработка и применение системы оценки эффективности целей поставок для нефтегазовых предприятий

С.М. Чжао, И.Ш. Рустамов, д.э.н.
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Ключевые слова: нефтяная цепочка поставок, оценка эффективности, метод AHP-энтропийного взвешивания, устойчивость цепочки поставок, SOCAR, Каспийская энергетика.

В условиях глобального энергетического перехода и интеграции Каспийской энергетической торговли цепочка поставок нефти и газа сталкивается с многочисленными проблемами, включая контроль затрат, низкоуглеродную и "зеленую" трансформацию, риски трансграничной логистики и недостаточную устойчивость поставок.

Для решения этих проблем в данном исследовании разработана система оценки эффективности трансграничных нефтяных компаний по пяти параметрам, основанная на теории тройной нижней линии и характеристиках всей отраслевой цепочки. Веса показателей рассчитываются с использованием метода взвешивания комбинации аналитического иерархического процесса (AHP) и энтропии. Эмпирическая проверка и анализ чувствительности проведены с использованием общедоступных официальных данных Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики (SOCAR) за период с 2022 по 2025 гг. Результаты показывают, что общий показатель эффективности цепочки поставок SOCAR неуклонно улучшался с 62.37 в 2022 г. до 75.19 в 2025 г. Устойчивость логистики и способность сокращать выбросы углерода по всей цепочке поставок являются двумя основными узкими местами, ограничивающими общую эффективность. Анализ чувствительности подтверждает надежность результатов оценки.

Исследование показывает, что данная система оценки хорошо подходит для нефтяных компаний Каспийского региона и может служить количественным инструментом принятия решений для оптимизации цепочки поставок, снижения затрат и повышения эффективности, а также для достижения углеродной нейтральности. На основе этого предлагаются соответствующие стратегии оптимизации для устранения существующих недостатков цепочки поставок SOCAR.

Introduction

The Caspian Sea is one of the world's pivotal oil and gas production bases. The petroleum industry contributes 18.5 % of Azerbaijan's total GDP and 35 % of its total export volume [1]. As the core national energy enterprise, SOCAR undertakes over 90 % of domestic oil and gas exploitation, refining, cross-border storage and transportation businesses. Its supply chain covers onshore oilfields, offshore platforms, Baku refineries, Kulevi Black Sea oil terminal, trans-Caspian pipelines and 564 overseas filling stations across Europe. The industrial chain is featured with long operation links, numerous cross-border nodes, as well as prominent geopolitical and logistics risks [2].

Against the global energy transition and low-carbon development trend, oil and gas supply chains worldwide are facing mounting challenges in cost control, green transformation and risk resistance [3]. Existing studies on oil supply chain performance mainly focus on petrochemical enterprises in the Middle East and China, while localized research targeting state-owned oil companies in the Caspian region remains inadequate [4].

Three critical research gaps exist in current literature. First, few evaluation frameworks are tailored for Azerbaijan's cross-border oil industrial chain, ignoring the unique characteristics of multi-country pipeline transportation and regional geopolitical risks [5]. Second, most empirical analyses rely on simulated data or questionnaire surveys, lacking long-term verification based on consecutive official operational data of real enterprises [6]. Third, previous studies rarely integrate operational efficiency, economic benefits, green sustainability, digital intelligence and supply chain resilience into a unified evaluation system to identify segment-specific operational bottlenecks [7].

To fill these research gaps, this paper constructs a multi-dimensional supply chain performance evaluation system adapted to the Caspian oil and gas industry. Combined with triple bottom line theory and the AHP-entropy combined weighting method, we conduct empirical analysis using SOCAR's real operational data from 2022 to 2025. This research expands the theoretical boundary of sustainable supply chain evaluation and provides practical references for Caspian regional oil enterprises. The remainder of this paper is organized as follows: Literature Review, Research Methodology, Construction of Evaluation System, Empirical Analysis, Optimization Countermeasures, Conclusions and Research Prospects.

Literature Review

With the advancement of global energy transition, quantitative evaluation of oil and gas supply chain performance has become a hot research topic in energy management. Early evaluation systems mainly took economic benefits as the core indicator and only focused on production and operational efficiency of domestic industrial chains, while ignoring cross-border logistics, low-carbon constraints and geopolitical

risks [8]. In recent years, scholars have gradually incorporated ecological and environmental indicators into evaluation frameworks, forming sustainable supply chain evaluation logic based on triple bottom line theory [3]. Nevertheless, most studies still fail to add digitalization and geopolitical resilience indicators, which cannot adapt to the operation mode of modern cross-border oil enterprises.

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is widely used to build efficiency measurement frameworks for oil and gas supply chains covering exploitation, transportation and distribution links [9]. To make up for the subjectivity of AHP, scholars have introduced entropy weight method, rough set and other objective weighting tools to optimize evaluation models [6]. Some studies adopted combined algorithms such as AHP-BP to construct risk assessment models, but their empirical samples are limited to domestic petrochemical enterprises and lack regional adaptability [7]. In addition, several literatures only deduced mathematical models for crude oil supply chain optimization without forming a complete implementable indicator system [10].

International research on energy supply chain resilience mostly focuses on European imported oil and gas markets, and the relevant evaluation paradigms are designed for European and American trade scenarios, which cannot match the characteristics of multi-country pipeline transportation in the Caspian region [5]. Local research on Azerbaijan's petroleum industry mostly analyzes industrial efficiency from the macro cluster perspective, lacking micro decomposition of performance in upstream and downstream supply chain links [2]. Some studies have explored the digital transformation path and production efficiency benchmark of SOCAR, but they have not established a comprehensive multi-dimensional performance diagnosis system [4]. Existing domestic and foreign research is difficult to be directly applied to cross-border integrated oil companies like SOCAR.

The triple bottom line theory advocates the coordinated development of economy, society and environment, which lays the core theoretical foundation for sustainable supply chain evaluation [3]. Different from traditional evaluation systems that merely emphasize economic benefits, this theory expands evaluation perspectives to ecological protection and social operation. Considering the special cross-border operation and complex geopolitical environment of Caspian oil enterprises, this study further adds digital intelligence and supply chain resilience to the theoretical framework, forming a five-dimensional evaluation system with regional characteristics.

Research Methodology and Data Sourcesы

This study adopts four research methods: literature induction, AHP-entropy combined weighting method, comprehensive scoring model and empirical analysis. A complete set of mathematical models and calculation processes are presented as follows.

1. Min-Max Standardization

Original indicators are standardized to eliminate dimension differences. Two types of indicators are classified: positive indicators (higher value means better performance) and negative indicators (lower value means better performance).

Positive indicators: $X_{ij} = \dfrac{X_{ij} - \min\left(X_j\right)}{\max\left(X_j\right) - \min\left(X_j\right)}$.

Negative indicators: $X_{ij} = \dfrac{\max\left(X_j\right) - X_{ij}}{\max\left(X_j\right) - \min\left(X_j\right)}$,

where X_{ij} refers to the original value of indicator j in year i; X_{ij} is the standardized value; max(X_j) and min(X_j) represent the maximum and minimum values of indicator j during the research period.

2.Analytic Hierarchy Process (AHP)

We invited 3 senior managers from SOCAR Supply Chain Department and 2 professors from Azerbaijan State Oil and Industry University to construct judgment matrices for subjective weighting. A total of 5 expert questionnaires were distributed and all were recovered with a 100 % valid rate. The consistency ratio is calculated as CR = 0.072 < 0.1, which means the judgment matrix passes the consistency test and the AHP weights are valid [9].

3. Entropy Weight Method

Calculate the proportion of each standardized indicator: $P_{ij} = \dfrac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} X_{ij}}$.

Calculate the entropy value of each indicator: $e_j = -\dfrac{1}{\ln n}\sum_{i=1}^{n} P_{ij} \ln P_{ij}$.

Calculate the objective weight of each indicator: $w_{\text{Entropy,j}} = \dfrac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^{m}\left(1 - e_j\right)}$.

4. Combined Weight Model

To balance subjective expert experience and objective data characteristics, the combined weight formula is set as:

$w_i = \alpha w_{\text{AHPi}} + (1 - \alpha) w_{\text{Entropy,i}}$, $\alpha = 0.5$,

where α = 0.5 indicates equal weight distribution for AHP subjective weight and entropy objective weight.

5. Comprehensive Performance Scoring Model

The final supply chain performance score is calculated by weighted summation:

$$S = \sum_{i=1}^{n} w_i X_i .$$

The total score ranges from 0 to 100, and a higher score represents better supply chain performance.

All data in this paper are publicly available official statistics covering 2022–2025, divided into four categories:

1. Enterprise official reports: SOCAR quarterly and annual operational bulletins, SOCAR Sustainable Development Reports (https://socar.az/en).

2. Government statistics: Annual Energy Statistical Yearbook issued by the Ministry of Azerbaijan[1].

3. International institutional data: IEA Caspian Oil and Gas Trade Database.

4. Other public data: Industrial data from the Economic and Commercial Office of Chinese Embassy in Azerbaijan and published papers in Azerbaijan Oil Industry.

Construction of petroleum enterprise supply chain performance evaluation system

Construction Principles

Industrial Pertinence: The system covers the full oil industrial chain including offshore exploitation, cross-border pipeline transportation, deep refining and global distribution.

Data Accessibility: All indicators adopt quantitative public statistical data, without unmeasurable qualitative indicators.

Multi-dimensional Balance: Coordinate operational performance, economic profit, environmental protection, digital development and risk resilience comprehensively.

Regional Adaptability: Add characteristic indicators targeting Caspian cross-border logistics and geopolitical supply interruption risks.

Hierarchical Framework and Indicator Weights

This study designs 5 primary dimensions, 16 secondary indicators and 32 quantifiable tertiary indicators. The combined weight of each primary dimension is shown below:

Operational Efficiency (Weight: 0.268): Includes exploitation efficiency, refining efficiency, logistics & storage efficiency and terminal distribution efficiency. All indicators are annotated with definition and attribute (positive/negative).

Economic Benefits (Weight: 0.234): Includes supply chain cost control, profit indicators and asset turnover efficiency.

Green Sustainability (Weight: 0.186): Includes low-carbon emission reduction, ecological protection and green investment.

Digital Intelligence (Weight: 0.142): Includes digital coverage rate, data operation efficiency and digital cost reduction.

Supply Chain Resilience (Weight: 0.170): An innovative dimension adapted to Caspian geopolitical characteristics, covering supply stability, logistics anti-interruption capacity and risk emergency capacity.

Interpretation of weight distribution

Operational efficiency has the highest weight because production, refining and logistics are the core business links of oil enterprises. Economic benefits rank the second, reflecting the profit-oriented operation of SOCAR. As a typical cross-border energy enterprise facing complex regional situations, supply chain resilience is set as a characteristic dimension. Green sustainability and digital intelligence are defined as key transformation directions for long-term development.

Interpretation of supply chain resilience dimension

Different from traditional evaluation systems, this dimension is specially designed for the Caspian region. Considering multi-country pipeline transit, Black Sea terminal logistics and frequent geopolitical fluctuations, it focuses on supply stability, anti-interruption capacity and risk emergency capability, which fully fits the actual operation of regional national oil companies.

Empirical analysis based on SOCAR's real data

Core raw data we can see in the Table 1.

Annual Scores of Primary Dimensions we can see in Table 2.

Comprehensive Performance Scores

The annual comprehensive supply chain performance scores are as follows:

2022: 62.37
2023: 65.91
2024: 69.85
2025: 75.19

Table 1

Indicator Category	2022	2023	2024	2025
SOCAR Total Crude Output (10.000 tons)	726.1	738.5	750.0	762.4
Crude Refining Volume (10.000 tons)	543.2	561.7	580.9	622.6
Total Crude Export Volume (10.000 tons)	1482	1547	1660	1593
Annual Throughput of Kulevi Oil Terminal (10.000 tons)	860	945	1072	1316
Full-chain Carbon Emission per Thousand Tons Oil (tons)	12.7	12.1	11.5	10.8
Total Number of Overseas Filling Stations	521	536	552	564

Notes: Data sourced from SOCAR official bulletins, sustainable development reports and public statistics of relevant institutions.

Table 2

Dimension	2022	2023	2024	2025	Weight
Operational Efficiency	64.22	67.58	71.35	78.64	0.268
Economic Benefits	66.75	68.14	70.92	74.36	0.234
Green Sustainability	55.10	59.63	65.27	71.85	0.186
Digital Intelligence	53.68	58.21	64.73	72.09	0.142
Supply Chain Resilience	56.41	59.07	62.45	67.32	0.170

Notes: Scores are calculated after min-max standardization and weighted summation

Table 3

α Value	Weighting Preference	2025 Comprehensive Score
0.3	Objective-leaning	74.52
0.5	Balanced	75.19
0.7	Subjective-leaning	75.88

Notes: The maximum score deviation is 1.36 points (1.8 %). Pearson correlation coefficient between AHP weights and entropy weights is $r = 0.68$ ($p < 0.01$)

Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis of 2025 comprehensive score we can see in Table 3.

The results show that the evaluation score is not sensitive to the change of α within a reasonable range. The consistency between expert judgment and objective data verifies the robustness of the evaluation system, so α=0.5is adopted for all calculations in this paper.

Empirical Result Analysis

SOCAR's supply chain comprehensive performance maintained steady growth from 2022 to 2025, with an average annual growth of 3.20 points. The growth is mainly driven by the expansion of refining capacity, full-capacity operation of Kulevi Black Sea oil terminal, continuous low-carbon investment and supply chain digital transformation.

Operational efficiency achieved the most prominent improvement. Driven by a 7.2 % year-on-year growth of refining capacity and expanded logistics throughput of the Black Sea terminal, storage and transportation efficiency was significantly optimized, becoming the core driving force for overall performance growth.

First, supply chain resilience is always at a low level. SOCAR relies heavily on single trans-Caspian pipelines, with insufficient standby logistics channels and weak capacity to resist geopolitical trade shocks. Second, the foundation of green sustainability is relatively weak. Offshore platforms lack sufficient methane recovery facilities, and the carbon reduction progress lags behind EU benchmark oil and gas enterprises. Third, the digital transformation of overseas distribution terminals is lagging, and the online coverage of intelligent inventory scheduling for European filling stations is less than 60 %.

This evaluation system is verified by four consecutive years of official quantitative data of SOCAR. All indicators are traceable and calculation results are reproducible. It can accurately identify weak links in each supply chain segment and adapt to regular performance diagnosis of state-owned oil enterprises in the Caspian region.

Combined with the bottlenecks identified in empirical analysis, targeted optimization strategies are proposed.

Enhance cross-border supply chain resilience.

Expand the scale of standby trans-Caspian pipelines, develop multi-port shunting transportation in Georgia and Romania, and establish a 3-month strategic crude oil reserve to cope with geopolitical supply risks.

Accelerate full industrial chain low-carbon transformation.

Increase investment in methane capture equipment for offshore platforms, popularize waste gas recycling technology in refineries, and steadily implement SOCAR's 2030 carbon emission reduction strategic targets.

Promote digital upgrading of global distribution terminals.

Unify the intelligent inventory management system for 564 overseas filling stations, and build an integrated digital scheduling platform for cross-border oil and gas supply chains.

Establish a regular performance evaluation mechanism.

Apply the five-dimensional evaluation system to SOCAR's annual supply chain assessment, and dynamically allocate resources for exploitation, logistics and distribution links according to evaluation results.

Conclusions, Managerial Implications and Research Prospects

This paper constructs a five-dimensional supply chain performance evaluation system suitable for Caspian regional petroleum enterprises. Empirical results prove that SOCAR's supply performance increased year by year from 2022 to 2025. Logistics resilience, full-chain carbon reduction capacity and digitalization of overseas terminals are three long-term restrictive bottlenecks.

Based on triple bottom line theory, this study innovatively adds the supply chain resilience dimension adapting to regional geopolitical characteristics, which expands the theoretical framework of sustainable oil supply chain evaluation. The AHP-entropy combined weighting method guarantees the objectivity and robustness of evaluation results.

The evaluation system can be directly applied to national oil companies in the Caspian region. It provides quantifiable decision-making support for regional oil enterprises to optimize supply chains, reduce operating costs and realize carbon-neutral transformation.

For Caspian regional oil enterprises, it is essential to balance operational efficiency, economic benefits and sustainable development. Enterprises should prioritize building diversified logistics channels to improve supply resilience, and take low-carbon investment and digital transformation as core strategies to cultivate long-term competitive advantages. For regional energy regulators, this evaluation system can be used to formulate industrial policies and promote the sustainable development of the Caspian energy industry.

Future research can be expanded in three directions: First, carry out horizontal comparative analysis of multiple oil and gas enterprises in Central Asia to improve regional performance benchmarks. Second, introduce the system dynamics model to simulate the long-term impact of geopolitical conflicts and international crude oil price fluctuations on supply chain performance. Third, expand evaluation indicators to adapt to new energy integration combined with SOCAR's green hydrogen transformation business.

References

1. *Azerbaijan* Ministry of Energy. Annual energy statistical yearbook of Azerbaijan. Baku, Azerbaijan: Author, 2025.

2. *Aliyeva T.M*. Increasing the efficiency of Azerbaijan oil cluster. – Baku: Azerbaijan State University of Economics, 2021.

3. *Miemczyk J., Luzzini D*. Achieving triple bottom line sustainability in supply chains // International Journal of Operations & Production Management, 2019, vol. 39(2), pp. 238-259.

4. *Eremin N., Abukova L.* Controlling of the digital transformation oil and gas industry // Caspian Energy Bulletin, 2023, vol. 8(2), pp. 31-38.

5. *Urciuoli L., Mohanty S., Hintsa J., Boeck H*. The resilience of energy supply chains // Supply Chain Management: An International Journal, 2014, vol. 19(1), pp. 46-63.

6. *Nan G.F, Zhang Y.W.* Assessment on sustainable development of petroleum supply chain based on rough set and entropy weight method // Journal of Tianjin University (Social Sciences), 2013, vol. 15(5), pp. 385-391.

7. *Zhao L.Z., Zhang N.F.* Research on supply chain resilience of petrochemical enterprises under dual circulation background // Journal of Liaoning Petrochemical University, 2024, vol. 44(1), pp. 89-96.

8. Cui S.J., Zhang W.J., Wang Q. Research on China's petroleum supply chain structure and cost management model // Logistics Technology, 2009, vol. 28(12), pp. 184-187.

9. Hajiyev F.S. Analysis and evaluation of optimal use of productive capacities in oil engineering companies // American Journal of Engineering Research, 2023, 12(3), pp. 80-85.

10. Sahebi H., Nickel S., Ashayeri J. Strategic and tactical mathematical programming models within the crude oil supply chain context // Computers & Chemical Engineering, 2014, 68, pp. 56-77.

11. Hajiyev F.S. Analysis and evaluation of optimal use of productive capacities in oil engineering companies // American Journal of Engineering Research. 2023, vol. 12(3), pp. 80-85.

12. Sahebi H., Nickel S., Ashayeri J. Strategic and tactical mathematical programming models within the crude oil supply chain context // Computers & Chemical Engineering, 2014, vol. 68, pp. 56-77.

UDC 339.743+336.748

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-64-72

Exchange rate policy and currency risk in Azerbaijan – in the context of economic resilience

A.N. Mahmudov
Azerbaijan State University of Economics

e-mail: mahmudov.altay.nurali@unec.edu.az

Keywords: exchange rate policy, currency risk, economic resilience, Azerbaijan, Dutch Disease, Original Sin, foreign exchange reserves, non-performing loans.

This paper examines the relationship between exchange rate policy, currency risk, and economic resilience in Azerbaijan – a resource-rich open economy whose macroeconomic performance is deeply intertwined with hydrocarbon revenue cycles. Using a qualitative, descriptive research design grounded in secondary data from official governmental and international institutional sources, the study analyses four key indicators over the 2015–2024 period: the Real Effective Exchange Rate (REER), the trade balance, lending interest rates, and the Non-Performing Loan (NPL) ratio. These dynamics are interpreted through the conceptual lenses of "Dutch Disease" and "Original Sin", which link resource dependence and foreign-currency balance-sheet mismatches to systemic financial fragility. The twin devaluations of 2015 exposed these fragilities dramatically: the manat depreciated by approximately 50 % over the year, triggering a surge in NPLs to 21 %, a contraction in the banking sector, and a sharp deterioration in real household incomes. The paper traces how currency risk transmitted into interest rate and credit risk through the risk premium and balance sheet channels, creating reinforcing feedback loops that undermined financial sector stability. In the post-crisis period, macroprudential reforms, the accumulation of combined official reserves of approximately USD 71 billion by end-2024 – equivalent to about 41 months of imports – and the decline of deposit dollarisation from above 70 % to below 40 % have measurably strengthened the economy's capacity to absorb external shocks. The findings suggest that genuine economic resilience in Azerbaijan requires not only adequate foreign exchange buffers but also structural economic diversification, expansion of non-oil exports, and the progressive development of domestic capital markets. Accordingly, the paper identifies the development of domestic currency-hedging instruments, the pursuit of an explicitly counter-cyclical fiscal policy drawing on sovereign wealth fund resources, and the strengthening of domestic productive capacity as the key policy priorities for durable macroeconomic resilience.

Azərbaycanda məzənnə siyasəti və valyuta riski – İqtisadi dayanıqlıq kontekstində

A.N. Mahmudov
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti

Açar sözlər: valyuta məzənnəsi siyasəti, valyuta riski, iqtisadi dayanıqlıq, Azərbaycan, Holland xəstəliyi, Orijinal Günah, valyuta ehtiyatları, problemli kreditlər.

Məqalədə makroiqtisadi göstəriciləri karbohidrogen gəlir dövrləri ilə sıx bağlı olan, resurslarla zəngin açıq iqtisadiyyata malik Azərbaycanda valyuta məzənnəsi siyasəti, valyuta riski və iqtisadi dayanıqlıq arasındakı əlaqə araşdırılır. Rəsmi hökumət və beynəlxalq institusional mənbələrdən əldə edilən ikincili məlumatlara əsaslanan keyfiyyət xarakterli, təsviri tədqiqat dizaynından istifadə edilməklə 2015–2024-cü illər üzrə dörd əsas göstərici təhlil olunur: real effektiv valyuta məzənnəsi (REER), ticarət balansı, kredit faiz dərəcələri və problemli kreditlərin (NPL) nisbəti. Bu dinamikalar resurs asılılığını və xarici valyutada yaranan balans uyğunsuzluqlarını sistem xarakterli maliyyə kövrəkliyi ilə əlaqələndirən "Holland xəstəliyi" və "Orijinal günah" konsepsiyaları çərçivəsində şərh olunur. 2015-ci ilin ikili devalvasiyası bu kövrəklikləri kəskin şəkildə üzə çıxardı: manat il ərzində təxminən 50 % dəyərdən düşdü, bu isə problemli kreditlərin 21 %-ə qədər artmasına, bank sektorunda daralmaya və ev təsərrüfatlarının real gəlirlərində kəskin pisləşməyə səbəb oldu.

Məqalədə valyuta riskinin risk mükafatı və balans hesabatı kanalları vasitəsilə faiz dərəcəsi və kredit riskinə necə ötürüldüyü, maliyyə sektorunun sabitliyini sarsıdan, bir-birini gücləndirən əks-əlaqə dövrələrinin necə yarandığı izlənilir. Böhrandan sonrakı dövrdə makroprudensial islahatlar, məcmu rəsmi ehtiyatların 2024-cü ilin sonuna qədər təxminən 71 mlrd. ABŞ dollarına (təqribən 41 aylıq idxala ekvivalent) çatması və depozitlərin dollarlaşmasının 70 %-dən yuxarı səviyyədən 40 %-dən aşağıya düşməsi iqtisadiyyatın xarici şokları absorbsiya etmək qabiliyyətini nəzərəçarpacaq dərəcədə gücləndirmişdir. Nəticələr göstərir ki, Azərbaycanda həqiqi iqtisadi dayanıqlıq yalnız adekvat valyuta buferlərini deyil, həm də struktur iqtisadi diversifikasiyanı, qeyri-neft ixracının genişləndirilməsini və daxili kapital bazarlarının mərhələli inkişafını tələb edir.

Bundan əlavə, tədqiqat davamlı makroiqtisadi dayanıqlığın təmin edilməsi üçün valyuta risklərindən qorunma (hedcinq) üçün daxili alətlərin inkişafını, dövlət neft fondunun resurslarına əsaslanan, aydın ifadə olunmuş əks-tsiklik fiskal siyasətin həyata keçirilməsini və daxili istehsal potensialının gücləndirilməsini əsas siyasət prioritetləri kimi müəyyən edir.

Валютная политика и валютные риски в Азербайджане – в контексте экономической устойчивости

А.Н. Махмудов
Азербайджанский государственный экономический университет

Ключевые слова: политика валютного курса, валютный риск, экономическая устойчивость, Азербайджан, голландская болезнь, первородный грех, валютные резервы, неработающие кредиты.

В статье исследуется взаимосвязь между политикой валютного курса, валютным риском и экономической устойчивостью в Азербайджане – богатой ресурсами открытой экономике, макроэкономические показатели которой тесно связаны с циклами доходов от углеводородов. На основе качественного описательного дизайна исследования, опирающегося на вторичные данные из официальных правительственных и международных институциональных источников, в работе анализируются четыре ключевых показателя за период 2015–2024 гг.: реальный эффективный валютный курс (REER), торговый баланс, процентные ставки по кредитам и доля неработающих кредитов (NPL). Эти процессы интерпретируются в рамках концепций "голландской болезни" и "первородного греха", связывающих ресурсную зависимость и валютные несоответствия балансов с системной финансовой уязвимостью. Двойная девальвация 2015 года резко выявила эти уязвимости: манат обесценился примерно на 50 % за год, что привело к резкому росту NPL до 21 %, сокращению банковского сектора и резкому ухудшению реальных доходов домохозяйств.

В статье прослеживается, как валютный риск транслировался в процентный и кредитный риски через каналы премии за риск и балансовых эффектов, создавая самоусиливающиеся петли обратной связи, которые подорвали стабильность финансового сектора. В посткризисный период макропруденциальные реформы, накопление совокупных официальных резервов, достигших примерно 71 млрд. долларов США к концу 2024 г. (что эквивалентно примерно 41 месяцу импорта), и снижение долларизации депозитов с уровня выше 70 % до уровня ниже 40 % заметно укрепили способность экономики абсорбировать внешние шоки. Результаты исследования показывают, что для достижения подлинной экономической устойчивости в Азербайджане необходимы не только адекватные валютные буферы, но и структурная диверсификация экономики, расширение несырьевого экспорта и поступательное развитие внутренних рынков капитала.

Кроме того, в качестве приоритетных направлений политики, необходимых для обеспечения долгосрочной макроэкономической устойчивости, в работе определяются развитие внутренних инструментов хеджирования валютных рисков, проведение явно выраженной контрциклической бюджетной политики с опорой на ресурсы государственного нефтяного фонда и укрепление внутреннего производственного потенциала.

Introduction

In the modern global economy, exchange rate policy, foreign exchange risk management, and the maintenance of adequate foreign exchange reserves are considered among the key macroeconomic instruments for ensuring economic resilience. Particularly in small open economies, external shocks, fluctuations in energy prices, volatility of capital flows, and global financial uncertainty can significantly affect currency stability and the overall financial system. In this context, the effectiveness of exchange rate policy and the role of foreign exchange reserves as a "shock absorber" are of critical importance for maintaining macroeconomic and financial stability.

The Azerbaijan economy is highly dependent on oil revenues and foreign currency inflows; therefore, exchange rate fluctuations and foreign exchange risk directly influence the country's macroeconomic stability. In particular, the 2015 devaluations and the global uncertainty caused by the COVID-19 pandemic demonstrated the strategic importance of exchange rate and reserve policies for economic resilience. For this reason, examining the relationship between exchange rate policy, foreign exchange risk, foreign exchange reserves, and economic resilience represents both a theoretically and practically significant area of research.

Literature Review

Resource-rich economies often face a distinct macroeconomic dilemma: how to absorb large, volatile commodity-driven foreign exchange inflows without destabilizing the broader economy. A foundational concern in the literature is "Dutch Disease", where a booming resource sector induces a real exchange rate appreciation, effectively pricing the manufacturing and tradable sectors out of international markets [1]. While not necessarily slowing long-term growth, this phenomenon necessitates active management to ensure the domestic economy does not become overly reliant on a single, volatile export [1]. Because commodity prices are highly volatile, resource-rich countries are prone to pro-cyclicality−where they spend more during boom times and are forced to cut back during busts, as capital flows in these economies often reinforce rather than mitigate the commodity price cycle, exacerbating business cycle volatility.

The literature suggests that resource-rich countries exhibit unique preferences for exchange rate regimes, often favoring more managed or fixed arrangements to provide stability against turbulent capital inflows. While flexible regimes are generally praised as shock absorbers, resource-rich countries in practice frequently opt for fixed or

managed regimes. This choice often functions as a "policy crutch" to provide nominal stability and reduce the perceived risk of currency volatility for international investors, although it may sacrifice independent monetary policy.

The transmission of currency risk into interest rate and credit risk is a foundational concern for economic resilience, particularly in emerging economies where currency mismatches–often termed "Original Sin" – are prevalent. The following review delineates the mechanics of these transmission channels.

1. The Interest Rate Transmission Channel: The transmission of currency risk to domestic interest rates typically operates through the Risk Premium Channel and the Defensive Monetary Policy Channel.

– The Risk Premium Channel: In open economies, investors demand a "risk premium" to hold assets denominated in a currency subject to high volatility [2]. When currency risk increases, this premium rises, forcing domestic interest rates upward even if the base policy rate remains unchanged. This effectively tightens financial conditions and increases the cost of borrowing for the entire economy.

– The Defensive Monetary Policy Channel: Central banks in emerging markets may adopt a defensive monetary policy stance when sharp currency depreciation, capital outflows, or speculative pressure threaten exchange-rate stability. In such episodes, monetary authorities may raise nominal interest rates in order to reduce depreciation pressure, limit exchange-rate overshooting, and contain inflation pass-through. However, this defensive response creates a macroeconomic trade-off: while higher interest rates may support the currency in the short run, they also increase borrowing costs through the cost-of-capital channel, thereby weakening investment, credit growth, and aggregate demand [3].

2. The Credit Risk Transmission Channel: The transmission to credit risk is primarily governed by the Balance Sheet Effect (or Valuation Effect), which bridges the gap between exchange rate movements and the solvency of domestic borrowers.

– Balance Sheet Mismatch: When firms or households hold debt denominated in foreign currency (e.g., USD or EUR) but derive their primary revenue in local currency, they are directly exposed to exchange rate fluctuations. A domestic currency depreciation instantly inflates the local-currency value of this debt, deteriorating borrower balance sheets [2].

– Default and Non-Performing Loans (NPLs): As the debt-servicing burden increases due to depreciation, the probability of default for firms and households rises. This leads to a spike in Non-Performing Loans (NPLs) within the banking sector. This "credit risk" channel can trigger a systemic contraction in lending, as banks become more risk-averse and tighten credit standards to preserve their own capital ratios.

3. Amplification: The "Doom Loop" Interaction: These risks rarely act in isolation; they often converge into a feedback loop that undermines economic resilience:

1. Shock: An external shock (e.g., commodity price drop) induces currency depreciation.

2. Valuation Effect: Unhedged foreign debt burdens rise, increasing credit risk and NPLs.

3. Risk Assessment: Market participants perceive the economy as having higher sovereign and default risk, pushing risk premia (and thus interest rates) higher.

4. Contraction: Higher interest rates further depress economic activity, leading to lower tax revenues and further deteriorating the sovereign balance sheet, which in turn fuels further depreciation [2].

Utilizing Azerbaijan as a primary case study–particularly the macroeconomic volatility observed between 2015 and 2017–this paper examines how commodity-dependent revenue streams, institutional credibility, and structural financial mismatches ("Original Sin") determine the sustainability of domestic capital markets. The findings emphasize that resilience is less a function of the nominal exchange rate regime and more a product of robust fiscal buffers and the mitigation of foreign currency exposure in the banking sector.

Azerbaijan's exchange rate policy has long been shaped by its structural dependence on hydrocarbon revenues, a characteristic that positions it alongside other resource-rich small open economies in which the choice between fixed and flexible regimes carries exceptional macroeconomic stakes. Hasanov and Huseynov [4] found through cointegration-based equilibrium exchange rate analysis that the Azerbaijani manat was overvalued relative to its estimated equilibrium level, with oil prices and government expenditures among the main determinants of the misalignment – a pattern consistent with Dutch disease

dynamics. This early diagnosis prefigured the currency crises of 2015.

The suitability of a fixed exchange rate under external shocks was formally tested by Samedova et al. [5], who applied regression analysis, principal component analysis, and Granger causality tests to Azerbaijani macroeconomic data. Their study concluded that a fixed rate was structurally inadvisable given weak monetary transmission, limited integration with the US economy, persistent public distrust of the manat, and the near-total absence of domestic currency-hedging instruments. The authors argued that artificial maintenance of the peg would inevitably produce devaluation accompanied by inflation, real income contraction, and rising unemployment – a prognosis borne out by the events of 2015. The twin devaluations of 2015 represent the defining episode in the modern literature on Azerbaijani currency risk. In February 2015, the manat was devalued by roughly one-third against the US dollar, while the December 2015 adjustment moved the exchange rate from about 1.05 to 1.55 AZN/USD; measured in terms of the dollar value of the manat, the two adjustments implied a cumulative loss of approximately one-half of the currency's value. Gupta et al. [6], whose cross-country analysis of 195 currency-crisis episodes found that about 60 % were contractionary, provide a useful theoretical backdrop for interpreting the Azerbaijani case. Azerbaijan's post-devaluation experience was broadly consistent with this contractionary pattern: real GDP and non-oil output contracted in 2016, domestic demand and household purchasing power came under pressure, and banking-sector asset quality deteriorated sharply, with the NPL ratio later reaching a peak of around 21 % at end – 2016.

The financial sector consequences were severe. The number of operating banks contracted from 45 in 2014 to 30 by 2018, and the International Bank of Azerbaijan – the country's largest – defaulted on its external obligations in May 2017. Deposit dollarisation, which the IMF attributes to volatile inflation, asymmetric exchange rate policies, and shallow financial markets [7], surged above 70 % of total deposits by 2016, creating acute currency mismatches between banks' manat-denominated liabilities and their foreign-currency loan books. The non-performing loan ratio peaked at 21 % at end − 2016 before a prolonged recovery.

The empirical relationship between global oil prices and the manat exchange rate has been examined through several econometric frameworks. Using vector autoregressive (VAR) models for the period 2002Q1–2018Q4, Zulfigarov and Neuenkirch [8] identified a pronounced asymmetry in oil price transmission: exchange rate responses are concentrated on the downside, with oil price declines triggering sharp depreciation pressure, while price increases lead to appreciation through the monetary policy tightening channel.

Czech and Niftiyev [9], employing structural VAR (SVAR) models to compare Azerbaijan and Kazakhstan, confirmed that rising crude prices are associated with manat appreciation and reserve accumulation, while the reverse holds during price declines. Critically, the oil–exchange rate relationship remained statistically significant across both pre-crisis and COVID-19 crisis periods, underscoring its structural – rather than episodic – character. These findings are compounded by fiscal transmission: as oil revenues fall, governments reduce public expenditure, depressing non-oil sector activity and amplifying the macroeconomic impact of currency depreciation [8]. Since the stabilisation of the manat at approximately AZN 1.70 per US dollar following the 2015–2016 crisis, the Central Bank of Azerbaijan (CBA) has maintained a de facto peg sustained through regular foreign exchange interventions. Combined CBA and SOFAZ reserves reached approximately USD 71 billion by end-2024 – equivalent to 41 months of projected imports – providing a substantial buffer [7]. Deposit dollarisation has declined markedly from its 2016 peak, driven by higher manat deposit rates and sustained exchange rate stability [7]. The IMF's 2024 Financial Sector Assessment Programme (FSAP) nonetheless identified persistent vulnerabilities: reliance on volatile wholesale corporate deposits, credit concentration in the hydrocarbon sector, and residual dollarisation in business loans [7].

Data and methodology

This study adopts a qualitative, descriptive research design to examine the relationship between exchange rate policy and economic resilience in Azerbaijan. This research utilizes a comparative and interpretative approach. The methodology focuses on the longitudinal observation of macroeconomic trends, allowing for a structured comparison of financial performance across distinct economic phases−specifically the period preceding the 2015 devaluation and the subsequent years of managed adjustment. By synthesizing existing academic literature with official statistical reports,

this paper seeks to provide a nuanced description of how monetary and fiscal policies have shaped the domestic financial landscape.

The analysis is grounded in secondary data obtained from official governmental and institutional bodies to ensure accuracy and historical consistency. The selection of data focuses on four key variables that serve as qualitative indicators of economic resilience:

– Real Effective Exchange Rate (REER): Used to describe Azerbaijan's external competitiveness. Rather than modeling misalignment, the study uses REER trends to illustrate the divergence between internal and external prices and to detect symptoms of the "Dutch Disease" phenomenon.

– Trade Balance: This variable is analyzed to describe the country's exposure to commodity price shocks. The study uses trade balance figures to demonstrate the shifting reliance on hydrocarbon exports and the subsequent pressures exerted on the national currency.

– Interest Rates: These are tracked to provide a descriptive account of the monetary policy stance. The study examines shifts in interest rate corridors to illustrate the central bank's efforts to balance liquidity management with inflationary pressures.

– Non-Performing Loans (NPLs): The NPL ratio is utilized as a descriptive proxy for banking sector health. By observing the trajectory of NPLs alongside periods of exchange rate depreciation, the research illustrates the transmission of currency risk into the domestic credit market.

Methodological framework

The analytical process is structured around descriptive synthesis and trend comparison. The research does not employ quantitative modelling to establish statistical causation; instead, it provides an interpretative evaluation of how these variables moved in relation to one another during the 2015–2024 timeframe.

The study is organized into three analytical layers:

1. Contextual Analysis: A literature review establishes the theoretical framework regarding exchange rate regimes and "Original Sin" in emerging markets.

2. Trend Observation: A descriptive analysis of the selected variables over time, identifying key inflection points (e.g., 2015–2017 devaluation, post-pandemic recovery).

3. Synthesis: The descriptive data is integrated with theoretical concepts to explain the evolution of economic resilience in Azerbaijan. This approach allows for a holistic view of policy outcomes, highlighting the effectiveness of macro-prudential measures in mitigating currency risk without the need for predictive modeling.

Analysis

The long-term formation of Azerbaijan's real effective exchange rate (REER) above the base index level of 100 reflects (Figure 1) the real appreciation of the Azerbaijani manat.

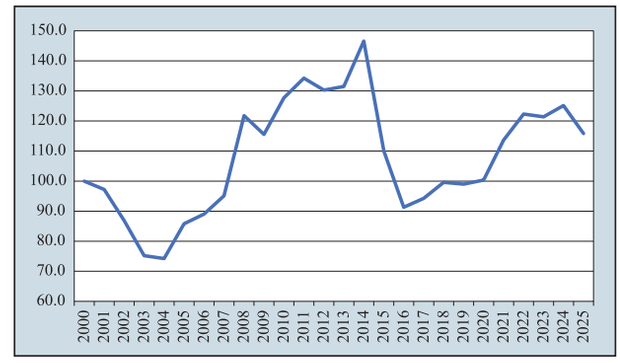


Figure 1. Real effective exchange rate of Azerbaijan manat (AZN). Source: prepared by the author based on data from the Central Bank of the Republic of Azerbaijan

This dynamic can primarily be associated with high foreign exchange revenues generated from oil exports, substantial foreign currency inflows into the country, and the implementation of a fixed exchange rate policy. In particular, the large volume of foreign exchange revenues originating from the energy sector enabled the nominal exchange rate of the manat to remain stable over an extended period, resulting in an appreciation of the real exchange rate.

Although maintaining a high REER level may positively contribute to short-term macroeconomic stability and import capacity, it also creates certain long-term risks regarding the competitiveness of the non-oil sector. The appreciation of the real exchange rate causes domestic goods and services to become relatively more expensive in foreign markets, potentially constraining the development of non-oil exports. At the same time, imported goods become more accessible in the domestic market, creating additional competitive pressure on local producers. This process is commonly explained within the framework of the "Dutch Disease" approach in international economic literature and is considered characteristic of economies heavily dependent on natural resource revenues.

In the case of Azerbaijan, the persistently high

REER can be interpreted as an indicator of the economy's dependence on oil revenues and the exchange-rate-oriented nature of monetary policy. However, such a structure increases the economy's vulnerability to external shocks. In particular, the sharp decline in global oil prices after 2014 and the devaluations experienced in 2015 demonstrated that maintaining an overvalued real exchange rate for an extended period may lead to the accumulation of pressure in the foreign exchange market. From this perspective, the REER indicator is important not only for evaluating exchange rate dynamics, but also for assessing the level of economic resilience, the capacity to adapt to external shocks, and the effectiveness of monetary policy. The decline in Azerbaijan's trade balance (Figure 2) in recent years reflects structural changes in external trade revenues and the impact of global economic shocks. In particular, increasing volatility in global energy prices, changing energy demand in European markets, and the expansion of imports have contributed to the weakening of the trade balance compared to previous years. Since Azerbaijan's external trade balance has traditionally been shaped by oil and gas exports, declining revenues in the energy sector have directly affected the size of the trade surplus.

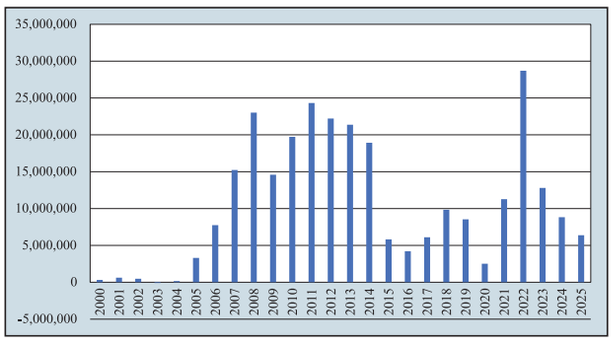


Figure 2. Azerbaijan's trade balance (thousand AZN). Source: prepared by the author based on data from the Central Bank of the Republic of Azerbaijan

The deterioration of the trade balance is also significant from the perspective of macroeconomic stability and the foreign exchange market. The weakening of the external trade surplus reduces net foreign currency inflows into the country, potentially creating additional pressure on the foreign exchange market in the long run. This constitutes an important risk factor, particularly in economies implementing fixed or managed exchange rate regimes, in terms of maintaining the effectiveness of monetary policy and preserving foreign exchange reserves.

At the same time, the faster growth of imports relative to exports highlights issues related to the competitiveness of the non-oil sector. The persistently high level of the real effective exchange rate (REER) makes imported products more accessible in the domestic market and may constrain the development of local production. Under such conditions, the weak development of non-oil exports further deepens the economy's dependence on oil revenues in external trade.

From this perspective, the declining trend in the trade balance can be regarded as one of the factors increasing the economy's vulnerability to external shocks. Especially under conditions of declining oil prices and global economic uncertainty, the weakening of the external trade balance demonstrates the growing interrelationship between foreign exchange reserves, exchange rate stability, and economic resilience. Therefore, expanding non-oil exports, diversifying exports, and strengthening domestic production capacity are considered among the key priorities for ensuring long-term economic resilience.

Although Azerbaijan's foreign exchange reserves have demonstrated a certain recovery trend in recent years, the indicators still remain relatively more vulnerable compared to the strong accumulation period observed before 2014. Prior to 2014, high global oil prices generated substantial export revenues, enabling the rapid growth of the country's strategic foreign exchange reserves. However, as shown in Figure 3., after 2014, the sharp decline in global energy prices, weakening foreign currency inflows, and increasing pressure on the exchange rate led to a reduction in reserves.

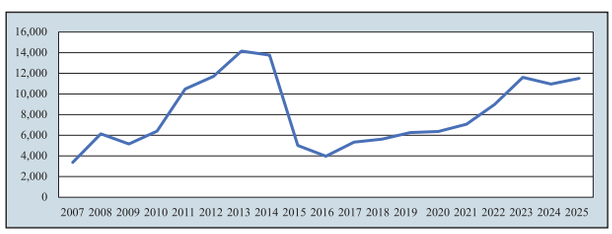


Figure 3. Foreign exchange reserves of the Central Bank of Azerbaijan (million AZN). Source: prepared by the author based on data from the Central Bank of the Republic of Azerbaijan

This process became particularly evident during the devaluations of 2015. During that period, intensive interventions were carried out in the foreign exchange market to protect the value of the national currency, contributing to the decline in reserves. Although subsequent years witnessed

some recovery in reserves due to partial improvements in energy prices and stronger fiscal-monetary coordination, the structural vulnerabilities of the foreign exchange market have not been fully eliminated.

The fact that foreign exchange reserves have not fully returned to the high resilience levels observed before 2014 indicates that the economy remains vulnerable to external shocks and changes in global energy markets. Particularly under fixed or managed exchange rate regimes, foreign exchange reserves are considered one of the primary pillars of monetary policy. In this regard, reserve dynamics serve not only as an external sector indicator but also as an important measure for evaluating exchange rate stability, investor confidence, and economic resilience.

Furthermore, the weakening trade balance, the limited share of non-oil exports, and the persistently high REER can be regarded as structural factors constraining the sustainable strengthening of foreign exchange reserves. Therefore, ensuring long-term macroeconomic resilience requires economic diversification, the expansion of non-oil exports, and the establishment of a more balanced structure of foreign currency inflows.

The persistently high lending interest rates in Azerbaijan reflect the limited effectiveness of the monetary transmission mechanism and the existence of structural risks within the financial sector. In Figure 4, according to IMF data, the lending interest rate in the country has averaged around 14–15 % in recent years, which is considered relatively high compared to many developing economies.

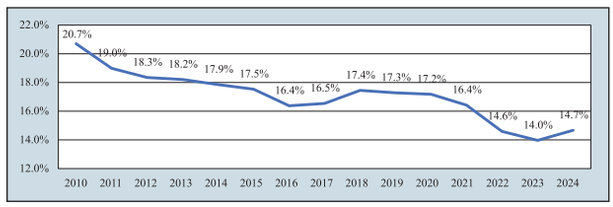


Figure 4. Lending interest rates in Azerbaijan. Source: prepared by the author based on data from the International Monetary Fund

The devaluation of the manat in 2015 demonstrated that sharp changes in the national currency's exchange rate directly affect the financial position of economic agents borrowing in foreign currency. The debt burden of households and businesses with foreign currency loans increased significantly in manat terms, leading to a rise in non-performing loans. This process can be considered a classic example of the transformation of currency risk into credit risk.

At the same time, devaluation expectations and uncertainty in the foreign exchange market contribute to an increase in the risk premium within the banking sector. Banks tend to raise lending interest rates in order to compensate for the potential risks arising from exchange rate fluctuations. Consequently, currency risk gradually transforms into interest rate risk, increasing the cost of credit resources. This weakens the effectiveness of the monetary transmission mechanism and constrains financing opportunities for the real sector.

Moreover, high interest rates themselves further increase credit risk. Rising borrowing costs weaken the ability of businesses and households to fulfill their debt obligations, potentially leading to an increase in overdue and non-performing loans. Thus, an interaction emerges between currency risk, interest rate risk, and credit risk, with these risks reinforcing one another and creating systemic vulnerabilities within the financial sector.

In the context of Azerbaijan's economy, these processes become even more relevant due to oil price volatility, the implementation of a fixed exchange rate policy, and the economy's high dependence on foreign currency revenues. External shocks that generate pressure in the foreign exchange market affect not only exchange rate stability but also the asset quality of the banking sector, lending dynamics, and overall economic resilience. Therefore, the transformation of currency risk into interest rate and credit risk can be considered one of the key theoretical and practical issues in evaluating monetary policy and financial stability policy in Azerbaijan.

Conclusion

This paper set out to examine how exchange rate policy shapes currency risk and, by extension, the broader economic resilience of Azerbaijan. The descriptive analysis of four macroeconomic indicators – the Real Effective Exchange Rate, the trade balance, lending interest rates, and the NPL ratio – across the 2015–2024 period yields several coherent conclusions that carry both theoretical and policy relevance.

First, the evidence confirms that Azerbaijan's prolonged maintenance of a fixed or tightly managed exchange rate, underpinned by hydrocarbon revenues, produced a sustained real appreciation of the manat that is consistent with classic Dutch Disease dynamics. While this arrangement deliv-

ered nominal stability and supported import capacity over the medium term, it simultaneously eroded the competitiveness of the non-oil tradable sector and created structural dependence on a single, volatile revenue source. The persistently elevated REER, viewed alongside the deteriorating trade balance, illustrates that the exchange rate regime functioned as a policy crutch rather than a reflection of genuine external competitiveness.

Second, the twin devaluations of 2015 serve as the defining empirical episode for understanding how suppressed currency risk materialises when external conditions shift. The approximate 50 % depreciation of the manat over the year triggered a textbook cascade through the financial system: balance sheet mismatches inflated the local-currency burden of foreign-currency debt, NPLs surged to 21 % of total loans, the banking sector contracted sharply, and real household incomes declined. These dynamics confirm the theoretical framework developed in the literature review, whereby currency risk transmits into credit risk through the valuation channel and into interest rate risk through the risk premium and defensive monetary policy channels. The high lending interest rates that have persisted since 2015 – averaging approximately 14–15 % − reflect not only the aftermath of the devaluation shock but also the structural weakness of monetary transmission in an economy where fiscal policy remains the dominant macroeconomic stabiliser.

Third, the post-2016 stabilisation period demonstrates that macroprudential reforms and reserve accumulation can measurably improve financial sector resilience. The decline in deposit dollarisation from above 70 % in 2016 to below 40 % by 2025 indicates that a combination of exchange rate stability, higher manat deposit rates, and regulatory tightening can reduce the currency mismatches that amplify systemic risk. Combined CBA and SOFAZ reserves reaching approximately USD 71 billion by end-2024 – equivalent to 41 months of projected imports – represent a substantial external buffer. However, this buffer is contingent on continued hydrocarbon revenues; the structural sources of reserve accumulation have not fundamentally changed.

Fourth, several residual vulnerabilities identified by the IMF's 2024 FSAP – reliance on volatile wholesale corporate deposits, credit concentration in the hydrocarbon sector, and the underdevelopment of domestic currency-hedging instruments – indicate that financial sector resilience remains incomplete. The deteriorating trade balance, driven by slower export revenue growth relative to import expansion, adds further medium-term pressure on the foreign exchange market and reserve adequacy. These findings reinforce the conclusion of Samedova et al. [5] that a sustainable exchange rate framework for Azerbaijan must be accompanied by a structural transformation of the economy, rather than relying indefinitely on the protective capacity of reserves.

Taken together, these findings support a central thesis: economic resilience in Azerbaijan is less a function of the nominal exchange rate regime itself and more a product of the structural conditions that regime must accommodate. A managed peg can deliver short-term stability, but only if it is supported by robust fiscal buffers, limited foreign-currency balance sheet mismatches, and a diversified export base. Where these conditions are absent – as was the case in 2015 – the accumulated tensions release through disorderly adjustment that imposes disproportionate costs on the financial sector and households.

From a policy perspective, this analysis points to three priorities. First, the development of domestic currency-hedging instruments – including foreign exchange derivatives and local-currency bond markets – would reduce the "Original Sin" exposure that makes Azerbaijan's financial system vulnerable to depreciation shocks. Second, fiscal policy should be explicitly counter-cyclical, drawing on SOFAZ resources during commodity price downturns to cushion the economy without forcing abrupt exchange rate adjustment. Third, and most fundamentally, sustainable resilience requires progress on economic diversification: expanding the non-oil export base, strengthening domestic productive capacity, and reducing the structural feedback between global hydrocarbon prices and domestic monetary and financial conditions. Until such diversification is achieved, Azerbaijan's exchange rate policy will remain constrained by the very revenues that currently sustain it – a dependence that constitutes both its greatest source of stability and its most significant systemic risk.

References

1. *Magud N.E., Sosa S.* When and why worry about real exchange rate appreciation? The missing link between Dutch disease and growth // Journal of International Commerce, Economics and Policy, 2013, № 4(2), 1350009.

2. *Fisera B., Workie Tiruneh M., Hojdan D.* Currency depreciations in emerging economies: A blessing or a curse for external debt management? // International Economics, 2021, vol. 168, pp. 132-165.

3. *Montiel P.J.* Tight money in a post-crisis defense of the exchange rate: What have we learned? The World Bank Research Observer, 2003, vol. 18(1), pp. 1-23.

4. *Hasanov F., Huseynov F.* Real exchange rate misalignment in Azerbaijan (MPRA Paper No. 29561). University Library of Munich. 2009.

5. *Samedova E.R., Mamedova S.K., Aliyeva M.S., Samadova M.T., Kashiyeva L.A.* Exchange rate regime in a crisis: The case of Azerbaijan // Journal of Eastern European and Central Asian Research, 2022, № 9(4), pp. 679-690.

6. *Gupta P., Mishra D., Sahay R.* Behavior of output during currency crises // Journal of International Economics, 2007, vol. 72(2), pp. 428-450.

7. *IMF.* Republic of Azerbaijan: 2025 Article IV consultation (IMF Country Report No. 25/98). International Monetary Fund. 2025.

8. *Zulfigarov F., Neuenkirch M.* The impact of oil price changes on selected macroeconomic indicators in Azerbaijan. Economic Systems, 2020, vol. 44(4), 100814.

9. *Czech K., Niftiyev I.* The impact of oil price shocks on oil-dependent countries' currencies: The case of Azerbaijan and Kazakhstan // Journal of Risk and Financial Management, 2021, vol. 14(9), p. 431.

UOT 622.276

DOI.10.37474/0365-8554/2026-10-73-77

Qeyri-bircins neft layının işlənməsində suyun selektiv təcridi prosesini tənzimləməklə cari neftvermə əmsalının qiymətləndirilməsi

K.S. Məmmədov
Bakı Ali Neft Məktəbi

e-mail: kanan.mammadov@bhos.edu.az

Açar sözlər: qeyri-bircins neft layı, cari neftvermə əmsalı, quyu məhsulunun sulaşma dərəcəsi, neftin su ilə sıxışdırılması rejimi, silikat geləsaslı tərkibin yuyulma müddəti.

Məqalədə neft yataqlarının işlənməsinin müəyyən mərhələsində müxtəlif tip sular (o cümlədən, laya vurulan su və yuxarı hissədən süzülən kənar su) yüksək keçiricilikli sahələrə daxil olaraq istismar quyularına çatır və onun məhsulunda suyun miqdarı artır. Bu baxımdan neftə görə hasilatın artırılması və ya sabit saxlanması üçün quyuya daxil olan suyun təcrid edilməsi əsas problem kimi zərurət təşkil edir. Problemin həlli üçün layın su ilə doymuş dərinliyinə asanlıqla daxil olan, su buraxan kanalları effektiv şəkildə bağlayan, neftə görə faza keçiriciliyini dəyişməyən silikat gel tərkibi kompozisiya əsas kimi seçilmişdir.

Qeyri-bircins ikitəbəqəli konkret layın laycıqları arasında axın olduqda və olmadıqda neftin su ilə sıxışdırılması rejimi və həmçinin geltərkibli kompozisiyanın tətbiqi ilə istismar quyusuna daxil olan suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsindən vurucu və hasilat quyusu ətrafından təcridi prosesi sulaşmanın müəyyən tərtibin uygun tənzimlənməklə neftin su ilə sıxışdırma rejimində layın istismara buraxılması ikifazalı (su, neft) və üçkomponentli (su, neft, təcridedici komponent) hesablama modeli bazasında tədqiq edilmişdir.

Hasilat quyusunun sulaşma faizinin artmasına uyğun suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsində vurucu və hasilat quyusu ətrafından təcridində laylararası axın olduqda və olmadıqda layın cari neftin çıxarılma əmsalı adi suvurma rejiminin uyğun nəticələri ilə müqayisəsi aparılmış və təcrid prosesinin tənzimlənmə səmərəliyi dərəcəsi qiymətləndirilmişdir. Həmçinin layın təbəqələri arası axın olduqda və olmadıqda yüksək keçiricilikli lay hissəsindən vurucu və hasilat quyusu ətrafından suyun təcridinin yuyulma vaxtı proqnozlaşdırılmşdır.

Оценка текущего коэффициента нефтеотдачи путём регулирования процесса селективной изоляции воды при разработке неоднородного нефтяного пласта

К.С. Мамедов
Бакинская высшая школа нефти

Ключевые слова: неоднородный нефтяной пласт, текущий коэффициент нефтеотдачи, степень обводнённости продукции скважины, режим вытеснения нефти водой, срок вымывания состава на основе силикатного геля.

На определённой стадии разработки нефтяных месторождений воды различных типов (в том числе закачиваемая в пласт вода и поступающая сверху законтурная вода) проникают в высокопроницаемые зоны пласта, достигают добывающих скважин и увеличивают содержание воды в их продукции. В этой связи для повышения или поддержания уровня добычи нефти одной из основных задач является изоляция воды, поступающей в скважину. Для решения данной проблемы в качестве основы была выбрана композиция на основе силикатного геля, которая легко проникает в водонасыщенные глубинные зоны пласта, эффективно блокирует водопроводящие каналы и не изменяет фазовую проницаемость по нефти. Эффективность её применения была исследована на примере конкретного неоднородного двухслойного пласта как при наличии, так и при отсутствии межслоевых перетоков в режиме вытеснения нефти водой.

Режим вытеснения нефти водой в конкретном неоднородном двухслойном пласте как при наличии, так и при отсутствии межслоевых перетоков, а также процесс изоляции воды, поступающей в добывающую скважину из высокопроницаемой части пласта, с применением гелеобразной композиции в окрестностях нагнетательной и добывающей скважин, при регулировании в соответствии с определённой последовательностью роста обводнённости, а также процесс ввода пласта в эксплуатацию в режиме вытеснения нефти водой исследованы на основе двухфазной (вода–нефть) и трёхкомпонентной (вода–нефть–изолирующий компонент) расчётных моделей.

Проведено сравнение текущего коэффициента извлечения нефти при изоляции воды в высокопроницаемой части пласта вокруг нагнетательной и добывающей скважин в зависимости от роста обводнённости продукции скважины как при наличии, так и при отсутствии межслоевых перетоков с соответствующими результатами обычного режима заводнения. На основе этого оценена эффективность регулирования процесса изоляции воды. Кроме того, спрогнозировано время вымывания изолирующего состава из высокопроницаемой части пласта при наличии и отсутствии межслоевых перетоков.

Evaluation of the current oil recovery factor by regulating the selective water shut-off process in the development of a heterogeneous reservoir

K.S. Mammadov
Baku Higher Oil School

Keywords: heterogeneous reservoir, current oil recovery factor, water cut of well production, waterflooding regime, wash-out time of silicate gel-based composition.

The article considers that at a certain stage of oil field development, different types of water (including injected water and external water influx from upper formations) enter high-permeability zones and reach production wells, resulting in an increase in water content in the produced fluids. In this regard, isolating the water entering the well is a key and necessary challenge in order to increase or maintain oil production rates. To address this problem, a silicate gel-based composition was selected as the base material, which can easily penetrate water-saturated deep zones of the reservoir, effectively block water-conducting channels, and does not alter the phase permeability with respect to oil. The displacement of oil by water in a specific heterogeneous two-layer reservoir, both in the presence and absence of interlayer crossflow, as well as the process of isolating water entering the production well from the high-permeability zone of the reservoir using a gel-based composition around injection and production wells, was investigated by regulating the process according to a certain order of water cut increase during waterflooding. The study was carried out based on two-phase (water–oil) and three-component (water–oil–isolation agent) computational models during reservoir development. A comparison of the current oil recovery factor was performed between cases with and without interlayer crossflow, depending on the increase in water cut, and compared with conventional waterflooding results. Based on this, the efficiency of regulating the water shut-off process was evaluated. In addition, the plugging (washing-out) time of the isolating composition from the high-permeability zone was predicted for both cases-with and without interlayer crossflow.

Neft yataqlarında lay təzyiqinin saxlanılması üsullarından ən geniş tətbiq olunanı süni suvurmadır. Bu halda prosesin səmərəliyi əsasən yataqların geoloji quruluşundan və kollektorluq xüsusiyyətlərindən asılı olur. Qeyri-bircins laylardan ibarət olan yataqlarda isə yüksək səmərənin əldə edilməsi üçün suvurmanın daha mütərəqqi üsullarından istifadə etmək lazım gəlir. Adi suvurma prosesində isə su yüksək keçiricilikli sahələrə daxil olaraq istismar quyularına çatır, zəif keçiricilikli neftli sahələr isə suvurmanın təsiri ilə əhatə olunmur. Belə hallarda istismar quyusunun məhsulunda suyun miqdarı artır və son nəticədə layın neftvermə əmsalı aşağı göstərici ilə xarakterizə edilir.

Neft quyularının vaxtından əvvəl sulaşmasının qarşısının alınması üçün maneənin yaradılması üzrə fiziki-kimyəvi üsullar və quyunun optimal iş rejiminin və məhsuldar horizontun sulaşmış hissələrinə minimal təsir yaratmağa hesablanmış hidrodinamik üsullar praktiki əhəmiyyətliliyi ilə seçilir [1–3].

Təcridetmənin fiziki-kimyəvi üsulları daban, tavan sularının və laya vurulan suyun quyuya daxil olmasının məhdudlaşdırılması üçün layın istənilən yerindən və lazımi anlarda suya görə keçilməz sərhədin yaradılmasına əsaslanır. Bunun üçün vurucu quyulara və istismar quyularının sulaşmış sahəsinə müxtəlif tamponaj (yapışdırıcı) materiallar, o cümlədən emulsiyalar, polimer sistemləri, sement qarışıqları, gel yaradan tərkiblər daxil edilir.

Təcridetmənin hidrodinamik üsulları ilə laya lokal təsir edilməsi yolu ilə su və neft axınının istiqamətini dəyişməklə (idarə etməklə) neftverimin artırılması imkanları tədqiq edilir.

Məsaməli mühitdə terrigen kollektorlu qeyri-bircins neft yataqlarının sulaşmış quyularının təcridi üçün optimal variant kimi silikat gel əsaslı tərkibin (kütlə payının 4 %-i maye şüşə, 0.6 %-i xlorid turşusu və 0.063 %-i metal nanohissəcik olan) tətbiqi seçilmiş, qeyri-bircins üfüqi yatımlı layda selektiv təcriddə onun layın dərinliyinə nüfuz etməsi, təcrid dərəcəsi, müddəti, optimal anının seçilməsi xarakteristikalarının tənzimlənməsini nəzərə alan riyazi modelləşdirmənin hesablama nəticələri üzrə cari neftvermə əmsalının qiymətləndirilməsi və onun əsasında texnoloji həllin səmərəliyi analizi aparılmışdır [1, 4].

Məsələnin qoyuluşu və hesablama sxemi. Keçiriciliyə nəzərən qeyri-bircins üfüqi təbəqəli layın laycıqları aralarında axın olduqda və olmadıqda neftin su ilə sıxışdırılması məsələsi tədqiq edilir. Qəbul edilir ki, vurucu və hasilat quyusu nöqtəvi mənbə şəklində layın sərhədlərinin mərkəzi hissəsində yerləşir. Fərz edilir ki, layın xarici sərhədi keçirməzdir. Vurucu quyuda vurulan suyun həcmi miqdarı verilir. Neft layının işlənməsinin müəyyən müddətindən sonra hasilat quyusunun sulaşması baş verir və nəticə etibarı ilə neft hasilatı azalmağa başlayır. Bundan sonra sulaşmış istismar quyusunun və ya vurucu quyunun ətrafında yüksək keçiricilikli lay hissəsindən təcrid yerinin yaradılması və yenidən suvurma prosesi aparılır.

Qeyri-bircins üfüqi təbəqəli layda neftin su ilə sıxışdırılmasında hasilat quyusunun sulaşmasından sonra istismar və ya vurucu quyu ətrafında yüksək keçiricilikli lay hissəsindən təcrid yerinin yaradılması və təcrid edilmədən sonra suvurma

prosesi ikifazalı (su və neft) üçkomponentli (su, neft, gel) süzülmə modeli ilə təsvir edilir və onun həlli üçün təzyiq və silikat gelin konsentrasiyaya görə iterasiyalı – nöqtəvi Yakobi üsulu, su ilə doymaya görə isə Eyler üsulundan istifadə olunur [4, 5].

Quyuları nəzərə alan $Q_{fe}(t)$, ($f = n, s$) funksiyası (r_w, z_k^{min}) və (r_k, z_k^{max}) silindrləri ilə məhdudlaşmış daxili oblastlarda təzyiqləri uyğun olaraq $p_{ei}(x_{ew}, y_{jw}, z_{kw}, t)$ və $p_{ei}(t) = p_{ei}(x_e, y_j, z_k, t)$ olan axının ikifazalı kvaziqərarlaşmış olması əsasında modelləşdirilir. Quyuda su və neftə görə debit aşağıdakı kimi hesablanır [6, 7]:

$$Q_{fe}(t) = \bar{\phi}_f(p_s, s, c) Q_e(t),$$

$$\bar{\phi}_{ni}(p_{si}, s_i, c_i) = \frac{\lambda_{ni}(p_{si}, s_i, c_i)}{\lambda_{ni}(p_{si}, s_i, c_i) + \lambda_{si}(p_{si}, s_i, c_i)},$$

$$\bar{\phi}_{si}(p_{si}, s_i, c_i) = 1 - \bar{\phi}_{ni}(p_{si}, s_i, c_i),$$

$$\bar{\phi}_f(p_s, s, c) = \sum_{i=1}^{2} \bar{\phi}_{fi}(p_{si}, s_i, c_i),$$

$$Q_e(t) = \frac{2\pi h}{\ln \frac{r_k}{r_w}} \sum_{i=1}^{2} \int_{p_{si}(x_{iw}, y_{jw}, z_{kw}, t)}^{p_{si}(t)} \times$$

$$\times \left\{\lambda_{ni}(p_{si}, s_i, c_i) + \lambda_{si}(p_{si}, s_i, c_i)\right\} dp_{si},$$

$$k_i = \frac{f_{si}(s_i, c_i)}{\mu_{si}(p_{si}, c_i)} = \lambda_{si} k_i \frac{f_{ni}(s_i, c_i)}{\mu_{ni}(p_{si}, c_i)} = \lambda_{ni}.$$

burada k_i – məsaməli mühitin mütləq keçiricilik əmsalı; $f_{si}(s_i, c_i)$ və $f_{ni}(s_i, c_i)$ – mühitdə su və neft fazalarının nəzəri faza keçiriciliкləri; $\mu_{si}(p_{si}, c_i)$, $\mu_{ni}(p_{ni}, c_i)$ – su və neft fazalarının özlülükləri; p_{si}, p_{ni} – su və neft fazalarının təzyiqləri; r_k – quyunun drenaj radiusu; r_c – quyunun radiusu; $i = 1$, 2 – indeksi uyğun olaraq birinci və ikinci layı ifadə edir.

Hesablama nəticələri. Qeyri-bircins ikitəbəqəli neft layında laylararası axın olduqda və olmadıqda yüksək keçiricilikli lay hissəsindən istismar quyusuna daxil olan suyun vurucu və hasilat quyusu ətrafından təcrid yerinin layın cari neftvermə əmsalına təsirinin test hesablamaları aparılmışdır. Təcrid prosesi 60 m^3 həcmli su təcridedici agentin hasilat və ya vurucu quyuya vurulması ilə aparılır. Su axınının təcridi prosesi quyu məhsulunun sulaşması – 38 % (zəif sulaşma), 50 % (orta sulaşma), 96 % (yüksək sulaşma) olduqda yerinə yetirilmişdir. Təcrid dərəcələrinin (qalıq müqavimət amilinin) 30 halına baxılmışdır.

Hesablamalarda lay parametrlərinin qiymətləri və həmçinin mayelərin xassələri üçün aşağıdakı verilənlərdən istifadə edilmişdir.

l_x = 500 m; l_y = 250 m; l_{zz} = 50 m; $Q^n_{sv}(t)$ = = 320 m^3/gün;

$k_1 = 10^{-12}$ m^2 ($0 \le z \le 22.5$ m), $k_a = 10^{-15}$ m^2 ($22.5 \le z \le 27.5$ m),

$k_2 = 0.5 \cdot 10^{-12}$ m^2 ($2.75 \le z \le 50$ m),

$\varphi_i(c_i) = c_i/2$; $s_{i0}(x, y, z) = 0.2$; $c_{i0}(x, y, z) = 0$; $a_i(s_i, c_i) = 0$; $i = 1.2$,

$\mu_{si}(p_{si}, c_i) = 1 + 0.55c_i - 0.3c^2_i$, mPa·s;

$\mu_{ni}(p_{si}, c_i) = 14.6 - 14.7c_i + 5.5c^2_i$, mPa·s, i = = 1.2.

Hesablamalar iki işlənmə variantı üçün aparılmışdır.

Baza variantı (I variant): qeyri-bircins ikitəbəqəli layın laycıqları arasında axın olduqda və olmadıqda neftin su ilə sıxışdırılması rejimində işlənməsinin texnoloji göstəriciləri proqnozlaşdırılmışdır.

Su axınının yüksək keçiricilikli lay hissəsindən təcridi variantı (II variant): qeyri-bircins təbəqəli layın laycıqları arasında axın olduqda və olmadıqda istismar quyusuna daxil olan suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsindən vurucu və hasilat quyusu ətrafından təcridi prosesindən sonra su ilə sıxışdırma rejimində layın istismara buraxılmasına baxılmışdır.

Baza variantının hesablama nəticələri cədvəl 1-ə, su axınının yüksək keçiricilikli lay hissəsindən təcridi variantının nəticələri isə cədvəl 2, 3 və 4-ə daxil edilmişdir.

Hasilat quyusunun sulaşma faizinin artmasına uyğun suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsində vurucu quyu ətrafından təcridində laylararası axın olduqda layın cari neftin çıxarılma əmsalı adi suvurmanın uyğun nəticələri ilə müqayisədə 0.0317; 0.0298 və 0.0026 tərtibində artır. Laylararası axın olmadıqda isə uyğun artım fərqi 0.3874; 0.3727 və 0.0657 təşkil edir. Yəni laylararası axın olmadıqda sulaşmanın istənilən anında təcridin effektivliyi yüksək olur və hasilat quyusunun zəif, orta sulaşmasında isə həmin göstəricinin qiyməti daha kəskin artır.

Hasilat quyusunun sulaşma faizinin artmasına uyğun suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsində hasilat quyusu ətrafından təcridində laylararası axın olduqda layın cari neftin çıxarılma əmsalı adi suvurmanın uyğun nəticələri ilə müqayisədə 0.3551; 0.3365 və 0.0455 tərtibində artır. Laylararası axın olmadıqda isə uyğun artım fərqi 0.3792; 0.3655 və 0.0665 təşkil edir. Yəni laylararası axın olduqda və olmadıqda sulaşmanın istənilən anında təcridin effektivliyi yüksək olur və hasilat quyusu-

Cədvəl 1

Sulaşma, %	Axın nəzərə alındıqda			Axın nəzərə alınmadıqda		
	Neftvermə əmsalı			Neftvermə əmsalı		
	Təcridə qədər		Lay üzrə orta qiyməti	Təcridə qədər		Lay üzrə orta qiyməti
	I lay	II lay		I lay	II lay	
96	0.4723	0.6131	0.5427	0.4937	0.5893	0.5415
50	0.1206	0.3896	0.2551	0.1103	0.3740	0.2421
38	0.1093	0.3726	0.2409	0.0998	0.3567	0.2282

Cədvəl 2

Sulaşma, %	Axın nəzərə alındıqda			Axın nəzərə alınmadıqda		
	Neftvermə əmsalı			Neftvermə əmsalı		
	Təcriddən sonra (mötərizədə təcridin dərəcəsi göstərilib)		Lay üzrə orta qiyməti	Təcriddən sonra (mötərizədə təcridin dərəcəsi göstərilib)		Lay üzrə orta qiyməti
	I lay	II lay		I lay	II lay	
96	0.4502(30)	0.6404(30)	0.5453	0.5741(30)	0.6405(30)	0.6073
50	0.139(30)	0.4308(30)	0.2849	0.5745(30)	0.6551(30)	0.6148
38	0.1306(30)	0.4146(30)	0.2726	0.5746(30)	0.6567(30)	0.6156

Cədvəl 3

Sulaşma, %	Axın nəzərə alındıqda			Axın nəzərə alınmadıqda		
	Neftvermə əmsalı			Neftvermə əmsalı		
	Təcriddən sonra (mötərizədə təcridin dərəcəsi göstərilib)		Lay üzrə orta qiyməti	Təcriddən sonra (mötərizədə təcridin dərəcəsi göstərilib)		Lay üzrə orta qiyməti
	I lay	II lay		I lay	II lay	
96	0.5053(30)	0.6711(30)	0.5882	0.5745(30)	0.6416(30)	0.6080
50	0.4582(30)	0.725(30)	0.5916	0.5745(30)	0.6407(30)	0.6076
38	0.456(30)	0.7359(30)	0.5960	0.5745(30)	0.6404(30)	0.6074

Cədvəl 4

Sulaşma, %	İkitəbəqəli layda yüksək keçiricilikli lay hissəsindən vurucu quyu ətrafından suyun təcridi		İkitəbəqəli layda yüksək keçiricilikli lay hissəsindən hasilat quyusu ətrafından suyun təcridi	
	Axın nəzərə alındıqda	Axın nəzərə alınmadıqda	Axın nəzərə alındıqda	Axın nəzərə alınmadıqda
	Yuyulma vaxtı, (gün)	Yuyulma vaxtı, (gün)	Yuyulma vaxtı, (gün)	Yuyulma vaxtı, (gün)
96	134	217	169	218
50	78	294	141	298
38	76	324	135	299

nun zəif, orta sulaşmasında isə həmin göstəricinin qiyməti daha kəskin artır. Laylararası axın olmadıqda hasilat quyusunun sulaşmasının istənilən anında təcridin effektivliyi laylararası axın olduğu halın uyğun nəticələri ilə müqayisədə 2–3 % tərtibində yüksək olur.

Hasilat quyusunun sulaşma faizinin artmasına uyğun laylararası axın olduqda suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsindən hasilat quyusu ətrafından təcridində layın cari neftin çıxarılma əmsalı vurucu quyu ətrafından təcridin uyğun nəticələri ilə müqayisədə 0.3254; 0.3067 və 0.0429 tərtibində artır. Laylararası axın olmadıqda isə hasilat quyusunun zəif və orta sulaşmasında azalma, yüksək sulaşmada isə artma fərqi özünü göstərir, uyğun olaraq azalma 0.0082 və 0.0072, artma isə 0.007 təşkil edir. Yəni laylararası axın olduqda sulaşmanın istənilən anında hasilat quyusu tərəfindən təcridin effektivliyi vurucu quyu ətrafından təcridin effektivliyi ilə müqayisədə daha yüksək olur. Laylararası axın olmadıqda isə hasilat və ya vurucu quyu ətrafından təcridin effektivlik dərəcəsi sulaşmanın istənilən anı üçün təxminən eyni olur.

Hasilat quyusunun sulaşma faizinin artmasına uyğun laylararası axın olduqda suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsindən vurucu quyu ətrafından təcridində silikat gel əsaslı tərkibin yuyulma

müddəti hasilat quyusu ətrafında təcridin eyniadlı göstəricisindən kifayət qədər aşağı (≈1.24–1.81 dəfə) olur. Laylararası axın olmadıqda hasilat quyusunun orta və yüksək sulaşma faizində uyğun hallar üçün yuyulma müddəti aşağı olmaqla kifayət qədər az fərqlənir, lakin hasilat quyusunun aşağı sulaşma faizində uyğun hal üçün yuyulma müddəti (≈1.084 dəfə) artır.

Nəticə

1. Hasilat quyusunun zəif və orta sulaşmasına uyğun suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsindən laylararası axın olduqda və olmadıqda hasilat quyusu ətrafından təcriddə layın cari neftin çıxarılma əmsalı adi suvurmanın uyğun nəticələri ilə müqayisədə kəskin artır.

2. Hasilat quyusunun zəif və orta sulaşmasına uyğun suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsindən laylararası axın olmadıqda vurucu quyu ətrafından təcriddə layın cari neftin çıxarılma əmsalı adi suvurmanın uyğun nəticələri ilə müqayisədə kəskin artır.

3. Hasilat quyusunun zəif və orta sulaşmasına uyğun laylararası axın olduqda suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsindən hasilat quyusu ətrafından təcridində layın cari neftin çıxarılma əmsalı vurucu quyu ətrafından təcridin uyğun nəticələri ilə müqayisədə kəskin artır.

4. Laylararası axın olduqda sulaşmanın istənilən anında suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsindən hasilat quyusu tərəfindən təcridin effektivliyi vurucu quyu ətrafından təcridin effektivliyi ilə müqayisədə daha yüksək olur. Laylararası axın olmadıqda isə hasilat və ya vurucu quyu ətrafından təcridin effektivlik dərəcəsi sulaşmanın istənilən anı üçün təxminən eyni olur.

5. Hasilat quyusunun sulaşma faizinin artmasına uyğun laylararası axın olduqda suyun yüksək keçiricilikli lay hissəsindən vurucu quyu ətrafından təcridində silikat geləsaslı tərkibin yuyulma müddəti hasilat quyusu ətrafında təcridin yuyulma müddətindən kifayət qədər aşağı (≈1.24–1.81 dəfə) olur.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *Старковский В.А*. Обоснование технологии селективной изоляции притока воды в добывающих скважинах на нефтяных месторождениях композициями на основе щелочных сликатных гелей: автореферат дис. канд. тех. наук. ОАО “ВНИИнефть”, 2013, 25 с.
2. *Sengupta B., Sharma V.P., Udayabhanu G*. Gelation studies of an organically cross-linked polyacrylamide water shut-off gel system at different temperatures and PH // Journal Petroleum Science and Engineering, 2012, v. 81, p. 145-150.
3. *Ентов В.М., Турецкая Ф.Д*. Гидродинамичечское моделирование разработки неоднородных нефтяных пластов // Механика жидкости и газа, 1995, № 6, с. 87-93.
4. *Suleimanov B.A., Feyzullayev Kh.A., Abbasov E.M.* Numerical simulation of water shut-off performance for heterogeneous composite oil reservoirs // An İnternational Journal Applied and Computational Mathematics, 2019, vol. 18, No. 3, pp. 261-271.
5. *Азиз Х., Сеттари Э*. Математическое моделирование пластовых систем: пер. с английского. – М.: Недра, 1982, 407 с.
6. *Фейзуллаев Х.А.* Моделирование процессов разработки глубокозалегающих газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. – Баку: “Фүюзат”, 2025, 420 с.
7. *Abbasov E.M., Feyzullayev Kh A.* Mathematical simulation of gas-liquid mixture flow in a reservoir and a wellbore with allowance for the dynamical interactions in the reservoir-well system // Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2016, v. 56, No. 1, pp. 148-160.

References

1. *Starkovskiy V.A.* Obosnovanie tekhnologii selektivnoy izolyatsii pritoka vody v dobyvayushchikh skvazhinakh na neftyanykh mestorozhdeniyakh kompozitsiyami na osnove shchelochnykh silikatnykh geley: Avtoreferat dis. kand. tekh. nauk. OAO “VNIINeft”, 2013, 25 p.
2. *Sengupta B., Sharma V.P., Udayabhanu G*. Gelation studies of an organically cross-linked polyacrylamide water shut-off gel system at different temperatures and PH // Journal Petroleum Science and Engineering, 2012, v. 81, p. 145-150.
3. *Entov V.M., Turetskaya F.D.* Gidrodinamicheskoe modelirovanie razrabotki neodnorodnykh neftyanykh plastov // Mekhanika zhidkosti i gaza, 1995, No. 6, p. 87-93.
4. *Suleimanov B.A., Feyzullayev Kh.A., Abbasov E.M*. Numerical simulation of water shut-off performance for heterogeneous composite oil reservoirs // An International Journal Applied and Computational Mathematics, 2019, vol. 18, No. 3, pp. 261-271.
5. *Aziz Kh., Settari E*. Matematicheskoe modelirovanie plastovykh sistem: Per. s angliyskogo. – M.: Nedra, 1982, 407 p.
6. *Feyzullayev Kh.A.* Modelirovanie protsessov razrabotki glubokozalegayushchikh gazokondensatnykh i neftegazokondensatnykh mestorozhdeniy. – Baku: “Fuyuzat”, 2025, 420 p.
7. *Abbasov E.M., Feyzullayev Kh A*. Mathematical simulation of gas-liquid mixture flow in a reservoir and a wellbore with allowance for the dynamical interactions in the reservoir-well system // Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2016, vol. 56, No. 1, pp. 148-160.



Şahin Xosrov oğlu Axundov – 65 il !

Şahin Xosrov oğlu Axundov 1961-ci il oktyabr ayının 2-də Bakı şəhərində anadan olmuşdur. 1978-ci ildə orta məktəbi bitirdikdən sonra M.Əzizbəyov adına Azərbaycan Neft və Kimya İnstitutunun (indiki Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti) "Geoloji-kəşfiyyat" fakültəsinə daxil olub.

1984-cü ildə institutu "Neft və qaz yataqlarının geologiyası, axtarışı və kəşfiyyatı" ixtisası üzrə bitirib "Azneft" İstehsalat Birliyinin Qobustan kəşfiyyat qazma idarəsinə təyinat almışdır. Ş.Axundovun ilk işi Pirsaat sahəsində qazılan kəşfiyyat quyusunda qazma ustasının köməkçisi vəzifəsi olub. Sonrakı peşəkar karyerasını həmin idarənin tabeliyində olan Ceyrançöl dərin kəşfiyyat qazma ekspedisiyasının Tərsdəllər, Zərdab, Kürsəngi və Gürzündağ kəşfiyyat sahələrində sahə geoloqu kimi davam etdirmişdir.

Ş.Axundovun elmə olan marağı onu 1988-ci ildə Azərbaycan Dövlət Neft Sənayesinin Elmi-Tədqiqat və Layihə İnstitutuna (hazırda SOCAR-ın "Neftqazelmitədqiqatlayihə" İnstitutu) gətirdi. Burada o, böyük geoloq-mühəndis, elmi işçi vəzifəsindən "Geoloji-geofiziki ümumiləşdirmə" laboratoriyasının müdiri vəzifəsinə qədər yol keçmişdir.

1992-ci ildə Şahin Axundov könüllü olaraq Azərbaycan Respublikasının ərazi bütövlüyünün qorunması uğrunda döyüşlərdə, Birinci Qarabağ müharibəsində iştirak etmiş, iki dəfə yaralanmışdır.

2002-ci ildə o, Yaponiya Milli Neft Korporasiyası (Japan National Oil Corporation) ilə elmi-texniki əməkdaşlıq çərçivəsində neft və qazın axtarış və kəşfiyyatı (Exploration geology) istiqaməti üzrə üçaylıq ixtisasartırma kursunda iştirak etmək üçün Tokio şəhərinə ezam olunmuşdur.

2005-ci ildə "Kür və Qabırrı çaylararası rayonunun Üst Tabaşir və Eosen çöküntülərində neft və qaz yataqlarının əmələgəlmə şəraitləri və onların axtarış perspektivliyi" mövzusunda dissertasiyasını uğurla müdafiə edib geologiya-mineralogiya elmləri namizədi alimlik dərəcəsi almışdır.

Ş.Axundov Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının 26 iyul 2016-cı il tarixli qərarı ilə "Neft və qaz yataqlarının geologiyası, axtarışı və kəşfiyyatı" ixtisası üzrə dosent elmi adına layiq görülmüşdür.

Peşəkar fəaliyyətinin ilkin mərhələsində istedadlı alim, geologiya-mineralogiya elmləri namizədi K.Q.Quliyev ilə bir kollektivdə iş imkanı onun geoloji bilik, bacarıq və dünyagörüşünə əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmişdir. Ş.X.Axundovun bir alim kimi formalaşması Azərbaycan neft elminin görkəmli nümayəndələri, geologiya-mineralogiya elmləri doktoru R.İ.Rüstəmov və geologiya-mineralogiya elmləri namizədi M.Ə.Rzayevlə sıx əməkdaşlıq şəraitində və onların bilavasitə məsləhətləri ilə baş vermişdir. Elmi rəhbəri Rahid İsmayıl oğlu Rüstəmovun rəhbərliyi altında onların Azərbaycanın müxtəlif bölgələrinin neftqazlılıq problemlərinə həsr olunmuş çoxsaylı məqalələri dərc edilmişdir. Elmi rəhbəri ilə apardığı tədqiqatlarda ölkəmizin çökmə hövzələrinin paleotektonik təkamülü, litofasial xüsusiyyətləri, həmçinin paleo- və müasir geotermik şəraiti kimi müxtəlif aspektlər araşdırılmışdır.

Bu yaxınlarda Şahin müəllimin həmmüəllifi olduğu yeni monoqrafiyası nəşr edilmişdir. Kitabda müəllif Orta Kür çökəkliyinin öyrənilməsinə həsr edilmiş uzun illərin tədqiqatlarını ümumiləşdirmiş, Azərbaycanın Üst Tabaşir və Eosen komplekslərinin geoloji təkamülü haqqında toplanmış məlumatlar sistemləşdirilmiş, çöküntü qatının quruluşunun kompleks tektonik, geoloji-geokimyəvi və hidrokimyəvi təhlili təqdim edilmişdir. Azərbaycan geoloji məktəbinin layiqli davamçısı olaraq, Şahın Axundov burada elmi mülahizə və nəticələrini təqdim etmiş, geoloji elmin bu sahəsində təsəvvürlərin genişlənməsinə töhfə vermişdir.

2018-ci ildə Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkətinin (SOCAR) fərmanı ilə Şahin Axundov neft-qaz sənayesinin inkişafında göstərdiyi xüsusi xidmətlərə görə "Fəxri neftçi" döş nişanı ilə təltif edilib.

O, 50-dən çox elmi əsərin müəllifidir.

Şahin müəllim yaxşı ailə başçısı, qayğıkeş ata, həm də babadır.

SOCAR-ın "Neftqazelmitədqiqatlayihə" İnstitutunun "Neft və qaz yataqlarının geologiyası və işlənilməsi" şöbəsinin əməkdaşları adından Şahin müəllimi yubiley münasibətilə səmimi-qəlbdən təbrik edir, ona möhkəm cansağlığı və uzun ömür arzulayırıq.

NQETLİ-nin "Neft və qaz yataqlarının geologiyası və işlənilməsi" şöbəsinin əməkdaşları

Azərbaycanın neft-qaz sənayesinə və geologiya elminə həsr olunmuş ömür



Akif Əli oğlu Nərimanov – Azərbaycan neft-qaz sənayesinin və geologiya elminin inkişafına mühüm töhfələr vermiş, ölkənin zəngin neft-qaz potensialının öyrənilməsi və mənimsənilməsi istiqamətində uzun illər səmərəli elmi və istehsalat fəaliyyəti ilə tanınmış görkəmli alim, geologiya-mineralogiya elmləri doktoru, professor Respublikanın əməkdar mühəndisi, yüksək ixtisaslı neft geoloqu və təcrübəli istehsalat mütəxəssisidir.

O, Azərbaycan neft-qaz geologiyasının ən mühüm istiqamətlərindən biri olan Cənubi Xəzər hövzəsinin tədqiqi sahəsində xüsusi xidmətləri ilə seçilmişdir. Alimin çoxillik istehsalat və elmi fəaliyyəti neft-qaz yataqlarının axtarışı və kəşfiyyatı, karbohidrogen ehtiyatlarının elmi əsaslarla qiymətləndirilməsi, perspektiv strukturların müəyyənləşdirilməsi və yataqların səmərəli işlənməsi məsələlərinin həllinə yönəlmişdir. Onun bu istiqamətdə apardığı tədqiqatlar Cənubi Xəzərin mürəkkəb geoloji quruluşunun və neftqazlılıq potensialının daha dərindən öyrənilməsinə, eləcə də Azərbaycanın neft sənayesinin elmi-texniki bazasının möhkəmləndirilməsinə, geoloji biliklərin zənginləşdirilməsi və milli neft geologiyası məktəbinin formalaşmasına mühüm töhfə vermişdir.

Akif Nərimanov 10 oktyabr 1946-cı il tarixində Gəncə şəhərində anadan olub. 1970-ci ildə Azərbaycan Neft və Kimya İnstitutunun (indiki Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti), geoloji-kəşfiyyat fakültəsini dağ-mədən mühəndis-geoloqu ixtisası üzrə bitirib.

Onun əmək fəaliyyəti hələ təhsil aldığı dövrdə, 1968-ci ildən başlayıb. O, neft sənayesində fəaliyyətinə neft hasilatı üzrə operator kimi əfsanəvi Neft Daşları yatağında başlamış, qazma sahəsində qazmaçı köməkçisi kimi davam etmiş və sonrakı onilliklər ərzində müxtəlif istehsalat və rəhbər vəzifələrdə çalışmışdır.

Akif Nərimanovun peşəkar fəaliyyətinin böyük hissəsi Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkəti (SOCAR) ilə bağlı olub. Müxtəlif illərdə qazma, neft hasilatı və geoloji-kəşfiyyat sahələrində işləyib.

O,"Kaspmorneft" və "Azneft" istehsalat birliklərində geologiya üzrə rəhbər vəzifələrdə çalışıb, daha sonra "Azneft" İstehsalat Birliyinin baş geoloqu və baş direktorun geologiya üzrə müavini olub. Sonrakı mərhələdə SOCAR-ın Strateji İnkişaf üzrə vitse-prezidentinin müşaviri vəzifəsində çalışıb.

Onun fəaliyyətinin mühüm istiqamətlərindən biri Azərbaycanın həm quruda, həm də dənizdə neft-qaz potensialının qiymətləndirilməsi və yeni yataqların axtarışı olub.

Akif Nərimanovun iştirakı ilə Xəzər dənizində bir sıra yataqlar, o sıradan Günəşli, Çıraq, Azəri, 8 Mart, Ələt-dəniz və s. kəşf olunub.

Akif Nərimanov müxtəlif dövrlərdə Azərbaycanın neft-qaz ehtiyatlarının öyrənilməsi və yataqların qiymətləndirilməsi üzrə beynəlxalq şirkətlərlə, o sıradan AMOCO, Mobil, BP, Exxon, Statoil, Chevron, Conoco, Unocal və Total şirkətləri ilə birgə layihələrdə qrup rəhbəri kimi iştirak edib. Bu layihələr çərçivəsində neft-qaz ehtiyatlarının qiymətləndirilməsi, Azəri, Çıraq, Günəşli, Şahdəniz kimi yataqların geoloji modelləşdirilməsi və işlənmə perspektivlərinin araşdırılması aparılıb.

Onun istehsalat fəaliyyətində başqa mühüm istiqamət Azərbaycanda uzun müddət istismar olunan köhnə neft yataqlarının bərpası və hasilatın artırılması olub. 1992-ci ildə onun rəhbərliyi ilə quruda köhnə neft yataqlarının bərpasına yönəlmiş xüsusi proqram hazırlanıb. Bu proqram, uzun müddət istismar olunan yataqlarda hasilatın yenidən artırılması üçün geoloji və texniki tədbirlərin sistemləşdirilməsini nəzərdə tuturdu. O, həmçinin qaz hasilatının artırılması proqramının hazırlanmasında da iştirak edib. Belə ki, 2006-cı ildə onun hazırladığı ikiillik tədbirlər proqramının məqsədi SOCAR-ın qaz hasilatının əhəmiyyətli dərəcədə artırılması idi. Proqram çərçivəsində Günəşli, Bulla-dəniz, 8 Mart və Bahar kimi yataqlarda yeni qaz quyularının qazılması və digər tədbirlər nəzərdə tutulmuşdur ki, nəticədə ölkəmiz xaricdən təbii qaz idxalından imtina edə bilmişdir.

İstehsalat fəaliyyətində qazandığı zəngin praktiki təcrübəni dərin elmi biliklərlə vəhdətdə inkişaf etdirən Akif Nərimanov uzun illər ərzində yorulmaz və məhsuldar elmi fəaliyyət göstərərək Azərbaycan neft-qaz geologiyası elminin inkişafına misilsiz töhfələr vermiş, öz fundamental araşdırmaları, elmi əsərləri və zəngin peşəkar irsi ilə milli geologiya elminin tarixində layiqli və mötəbər yer tutmuşdur.

Onun elmi fəaliyyətinin ən mühüm mövzularından biri Cənubi Xəzər hövzəsinin neft-qaz yataqlarının formalaşması məsələsidir. 1980-ci illərdən başlayaraq bu istiqamətdə sistemli tədqiqatlar aparıb. Onun hazırladığı konsepsiyada neft-qaz yataqlarının yaranma mexanizmləri, müxtəlif tipli geoloji tələlərin formalaşma vaxtı, neftin yaranması və miqrasiyası kimi məsələlər araşdırılıb.

Cənubi Xəzər hövzəsində dərində yatan horizontların neftqazlılıq perspektivlərinin elmi əsaslandırılması istiqamətində Akif Nərimanovun xidmətlərini xüsusi qeyd etmək lazımdır. Onun bu tədqiqatlarının nəticələri 1984-cü ildə XXVII Dünya Geoloji Konqresində məruzə olunub, geniş müzakirələr doğurub və SSRİ Elmlər Akademiyası sistemində həmin ilin ən yaxşı elmi işləri siyahısına daxil edilib.

Bu dərin araşdırmaların nəticəsi olaraq o, 1983-cü ildə geologiya-mineralogiya üzrə "Cənubi Xəzərin qərb şelfində neft və qaz yataqlarının formalaşması (axtarış işlərinin perspektivli istiqamətlərinin müəyyənləşdirilməsi ilə əlaqədar)" mövzusunda elmlər namizədliyi dissertasiyasını, 1990-cı ildə "Dərin çöküntülərin neftqazlılığının geoloji əsasları (Cənubi Xəzər çökəkliyi timsalında)" mövzusunda doktorluq dissertasiyasını müdafiə etmişdir.

Onun elmi əsərləri Azərbaycanla yanaşı beynəlxalq elmi nəşrlərdə də dərc olunub. O, AAPG və EAGE kimi beynəlxalq təşkilatların tədbirlərində çoxsaylı məruzələrlə çıxış edib. 2014-cü ildə Akif Nərimanovun həmmüəllifliyi ilə Azərbaycanın neft geologiyasının tarixinə həsr olunmuş "Prometeydən bu günə qədər: Azərbaycanda neft geologiyasının yaranması və inkişafı tarixi" adlı kitabı nəşr etdirib. Bu fəaliyyəti nəticəsində o, Cənubi Xəzər hövzəsinin neft-qaz geologiyası üzrə mütəxəssis kimi ölkəmizdə və beynəlxalq elmi dairələrdə də tanınıb. O, uzun illərdir ki, Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının eksperti olaraq peşəkar elmi kadrların hazırlanmasında iştirak edir.

Akif Nərimanovun elm sahəsindəki fəaliyyətinin başqa bir istiqaməti "Azərbaycan Geoloqu" elmi bülleteni ilə bağlıdır. O, 2014-cü ildən nəşrin baş redaktorudur.

Çoxşaxəli istehsalat və elmi fəaliyyəti ilə yanaşı, Akif Nərimanov 18 il ərzində əvəzçilik əsasında Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetində professor kimi pedaqoji fəaliyyət göstərmiş, zəngin elmi və istehsalat təcrübəsini gənc nəslə ötürərək müxtəlif geoloji fənləri tədris etmişdir.

Akif Nərimanovun peşəkar, elmi və ictimai fəaliyyəti yalnız ölkə miqyası ilə məhdudlaşmamış, onun təşəbbüsləri Azərbaycanın neft-qaz geologiyası sahəsində beynəlxalq əməkdaşlığın inkişafına da xidmət etmişdir. AAPG təşkilatının fəal üzvü olaraq o, 1990-cı illərdə Azərbaycanda neft geoloqlarının peşəkar təşkilatlanmasında mühüm rol oynayıb və Azərbaycan Neftçi Geoloqları Cəmiyyətinin yaradılmasının təşəbbüskarlarından və qurucularından biri olub və uzun müddət təşkilata rəhbərlik edib. Eyni zamanda Avropa Yer Elmləri Alimləri və Mühəndisləri Assosiasiyası (EAGE) ilə də fəal əməkdaşlıq edib və onun Azərbaycan bölməsinin inkişafında iştirak edib.

Akif Nərimanovun fəaliyyəti yalnız elm və dövlət neft şirkəti ilə məhdudlaşmayıb. O, Azərbaycanın neft xidmətləri sektorunda beynəlxalq şirkətlərlə müştərək müəssisələrin yaradılmasında da iştirak edib. Onun təşəbbüsü ilə 1995-ci ildə SOCAR və Hollandiyanın Fugro şirkəti ilə "Azəri-Fuqro"; 1999-cu ildə Schlumberger ilə "Azlab"; 2005-ci ildə ABŞ-nin Target şirkəti və Siemens ilə "Oil & Gas ProServ" müştərək müəssisələri yaradılmışdır. Akif Nərimanov bu müəssisələrin direktorlar şuralarına rəhbərlik edib.

Zəngin istehsalat, elmi və ictimai fəaliyyətinə görə Akif Nərimanov müxtəlif elmi və peşəkar təltiflərə layiq görülüb, o cümlədən Azərbaycan Respublikasının "Əməkdar Mühəndisi" fəxri adına və Prezident təqaüdünə; Ukrayna Geoloqlar Komitəsinin qızıl medalına, AAPG Special Award mükafatına. AAPG-nin xüsusi mükafatı onun neft geologiyasına, xüsusilə Cənubi Xəzər hövzəsinin öyrənilməsinə, Azərbaycan Neftçi Geoloqları Cəmiyyətinin yaradılmasına və gənc geoloqların inkişafına töhfələri ilə əlaqəlidir.

O, həmçinin Rusiya Təbii Elmlər Akademiyasının və Avropa Akademiyasının üzvüdür.

Zəngin elmi irsini və çoxillik peşəkar təcrübəsini böyük əzmlə davam etdirən Akif Nərimanov elmi və ictimai fəaliyyətini uğurla sürdürür, Azərbaycan neft geologiyası elminin və neft sənayesinin inkişafına öz dəyərli töhfələrini verməkdə davam edir. Azərbaycan Neftçi Geoloqları Cəmiyyətinin İdarə Heyətinin sədri kimi o, gənc geoloqların peşəkar inkişafına, onların müasir elmi biliklərə yiyələnməsinə və milli geologiya məktəbinin ənənələrinin layiqincə davam etdirilməsinə xüsusi diqqət və qayğı göstərir.

Akif müəllimin zəngin həyat yolu, çoxillik elmi və istehsalat fəaliyyəti, Azərbaycan neft geologiyasının inkişafına verdiyi töhfələr və gənc nəslin yetişdirilməsində göstərdiyi fədakar xidmətlər böyük ehtiram və minnətdarlıq doğurur.

Akif Əli oğlu Nərimanovu 80 illik yubileyi münasibətilə səmimi-qəlbdən təbrik edir, ona möhkəm cansağlığı, uzun ömür, tükənməz enerji, gələcək fəaliyyətində uğurlar və doğma Azərbaycan neft geologiyasının inkişafı naminə qarşıdakı illərdə də uğurlar arzulayırıq!

SOCAR-ın vitse-prezidenti
Arzu Cavadova