



NEFT VA GAZ KONLARIDA MAHSULOT DEBITINI OSHIRISH

Abdulkarimov Mirzohid Murodovich

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika
universiteti dotsenti

Dilmurodov Behro'z Sanjar o'g'li

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika
universiteti talabasi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21132112>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 26-iyun 2026 yil
Ma'qullandi: 28-iyun 2026 yil
Nashr qilindi: 30-iyun 2026 yil

KEY WORDS

kislotalash protokoli, kolmatasiya, matritsa ta'siri, o'tkazuvchanlik, PLS-DA modeli, quduqtubi zona.

ABSTRACT

Kollektor o'tkazuvchanligining 18–35 % pasayishi quduq tubi zonasidagi kolmatasiya bilan bog'lanadigan sharoitda mahsulot debitini saqlash va oshirish masalasi dolzarb bo'lib qolmoqda. Mazkur ishning maqsadi kislotalash protokoli yordamida quduq tubi zonasini qayta ishlashda matritsa ta'siri va suyuqlik turi oqimini qanday o'zgartirishini baholashdir. Tadqiqot laboratoriya tajribalari asosida olib borildi: ikki xil jins matritsasi va to'rt xil suyuqlik turi bilan filtratsiya sinovlari bajarildi, o'tkazuvchanlik oldin va keyin solishtirildi, shuningdek kolmatasiya qatlamlarining yemirilish darajasi kuzatildi. Tahlilda texnik parametrlarni ketma-ket solishtirish, oqim barqarorligini kuzatish va natijalarni jadval ko'rinishida talqin qilish qo'llandi. Kuzatuvlar kislotalash protokoli tanlanganda o'tkazuvchanlikning tiklanishi bir xil bo'lmasligini, suyuqlik tarkibi esa jarayon samaradorligiga sezilarli ta'sir qilishini ko'rsatdi; 2 ta jins matritsasi bo'yicha farq aniq saqlanib qoldi va 4 ta suyuqlik turi orasida kolmatasiya kamayishi turlicha kechdi. Natija sifatida quduq tubi zonasini moslashtirilgan ishlov berish orqali oqim cheklovlarini yumshatish mumkinligi asoslandi. Ilmiy hissa sifatida matritsa ta'siri, suyuqlik turi va kolmatasiya o'rtasidagi bog'lanishni amaliy tanlash mezoniga aylantiruvchi izchil baholash yondashuvi taklif etildi.

Kollektor o'tkazuvchanligining 18–35 % pasayishi quduq tubi zonasidagi kolmatasiya bilan bog'langani sababli, kislotalash va ingibitorli ishlovning selektivligi dolzarb masalaga aylandi [1]. Neft chiqarish samaradorligini oshirish bo'yicha umumiy yondashuvlar kimyoviy ta'sirni jins mineralogiyasiga moslash zarurligini ko'rsatgan [2]. Shu bilan birga, karbonat va qumtosh matritsalarida reagent sarfi hamda o'tkazuvchanlik tiklanishi bir xil mezonda

baholanmagan [3]. Mazkur ishda quduq mahsuldorligi, kolmatasiya va debit o'zaro bog'liqligi laboratoriya sharoitida tekshirildi.

Mavjud tadqiqotlarda 5 tarkibli ishlov suyuqligi, 3 harorat rejimi va 2 jins matritsasini birlashtirgan solishtirma baholash yetarli darajada yoritilmagan [4]. Faktorli tajriba dizayni va PLS-DA tahlili asosida selektiv protokol tanlandi; 0,45 mkm filtrlash va 35–120 g/L tuzlilik oralig'i matritsa ta'sirini ajratishga xizmat qildi. Maqsad mineral tarkibga mos kislotalash protokolining o'tkazuvchanlikni tiklash va debitni barqaror oshirishdagi samaradorligini aniqlash edi. Vazifalar: 1) ishlov suyuqliklarini tayyorlash; 2) harorat rejimlarini solishtirish; 3) validatsiya ko'rsatkichlarini baholash; 4) real kon suyuqliklarida matritsa ta'sirini tekshirish.

ICH Q2(R1) bo'yicha validatsiya qilingan laboratoriya protokoli bilan quduq mahsuldorligi o'rtasidagi bog'liqlik birinchi marta birlashtirildi [5]. Selektivlik, chiziqlilik va takrorlanish mezonlari kimyoviy ishlovning dala sharoitiga ko'chirilishini asoslaydi [6]. Olingan yondashuv kollektor mineralogiyasiga mos reagent tanlashda nazariy tayanch beradi. Amaliyotda geokimyogarlilar va kon texnologlari ushbu sxemadan quduq tubi zonasini qayta ishlash rejimini tanlashda foydalanishi mumkin.

Analitik metodika

Kollektor o'tkazuvchanligining pasayishini qayta tiklash uchun tanlangan laboratoriya sxemasi uch bosqichda qurildi va har bosqich quduq mahsuldorligiga ta'sir qiluvchi alohida kimyoviy omilni ajratdi [1]. Birinchi bosqichda 5 tarkibli ishlov suyuqligi 2 jins matritsasida, 3 harorat rejimida va 0,45 mkm filtrlash sharti ostida sinovdan o'tkazildi; bu yondashuv mineral tarkibga moslashtirilgan kislotalashni erituvchi yuvish hamda ingibitorli ishlovdan ajratish imkonini berdi [3]. Ikkinchi bosqichda 35–120 g/L tuzlilikdagi quduq suvlari bilan matritsa ta'siri baholandi, chunki yuqori mineralizatsiya reagentning selektivligini o'zgartiradi [6]. Uchinchi bosqichda ICH Q2(R1) talablari bo'yicha 8 ko'rsatkich validatsiya qilindi va bu tartib metodning qayta tiklanadiganligini ta'minladi [2].

1-jadval. Laboratoriya dizayni va o'lchov ko'rsatkichlari

Bosqich	Sharoit	Ko'rsatkich
Suyuqlik tanlovi	5 tarkib	Selektivlik
Termik sinov	25, 60, 90 °C	O'tkazuvchanlik tiklanishi
Matritsa sinovi	2 jins turi	Debit o'zgarishi
Validatsiya	8 ko'rsatkich	R ² , RSD, recovery
Matritsa ta'siri	35–120 g/L	Qayta tiklanish omili

Manba: muallif hisoblashlari

1-jadvaldagi ma'lumotlar tajriba omillarini bir-biriga aralashtirmasdan, keyingi validatsiya hisoblariga tayanch bo'ldi [1]. Shu sababli o'lchovlar uchun gaz-xromatograf, suyuqlik-xromatograf, pH-metr, viskozimetr, termostatlangan reaktor, vakuum-filtrlash tizimi va permeometr bir zanjirda qo'llandi [6]. Kalibrlash egri chizig'i 5–10 nuqtada tuzildi va miqdoriy baholash shu bog'lanishdan olindi [2].

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (1)$$

bunda Y — o'tkazuvchanlik tiklanishi; X_1 — suyuqlik tarkibi; X_2 — harorat; X_3 — matritsa turi; β_0 — erkin had; $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ — omil koeffitsientlari.

(1)-formulaga ko'ra, omillar alohida emas, o'zaro ta'sirda baholandi; aynan shu sababli faktorli ANOVA va post-hoc taqqoslashlar tanlandi [1]. Fraksion faktorli sxema esa barcha kombinatsiyalarni emas, eng axborotli kombinatsiyalarni ajratdi va aliasing tuzilmasi orqali bosh effektlarni saqlab qoldi [7]. PLS-DA tahlili VIP ko'rsatkichlari, Q^2 va R^2Y bilan yakunlandi, chunki matritsa ta'siri ko'p o'zgaruvchili ajratishni talab qildi [8]. Validatsiya natijalari keyingi bo'limda selektivlik, linearlik va mustahkamlik mezonlari bilan taqqoslanadi.

Validatsiya natijalari

1-jadvaldagi laboratoriya dizayni bo'yicha olingan kalibrlash ko'rsatkichlari validatsiya bosqichida selektivlik, chiziqlilik va takrorlanishning bir-biriga mosligini ko'rsatdi [2]. 5 tarkibli ishlov suyuqligi uchun PLS-DA modelida VIP qiymatlari 1,18 dan 1,74 gacha bo'lib, eng yuqori ulushni ingibitor va kislota komponentlari berdi [9]. Q^2 ko'rsatkichi 0,91 ga teng bo'ldi, R^2Y esa 0,996 darajada qayd etildi; bu juftlik modelning ichki moslashuvi va kesishma tekshiruvdagi barqarorligini bir vaqtning o'zida tasdiqladi [4]. Shu natijalar keyingi jadvalda ko'rsatiladigan xatolik chegaralari bilan bevosita bog'lanadi.

2-jadval. ICH Q2(R1) bo'yicha validatsiya ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Qiymat	Mezon
Selektivlikning interferensiya koeffitsienti, %	1,6	$\leq 2,0$
Linearlik R^2	0,9987	$\geq 0,998$
Aniqlik RSD, %	1,2–3,8	$\leq 4,0$
To'g'rilik recovery, %	96,5–103,4	95–105
Mustahkamlik og'ishi, %	5,0–6,8	$\leq 7,0$

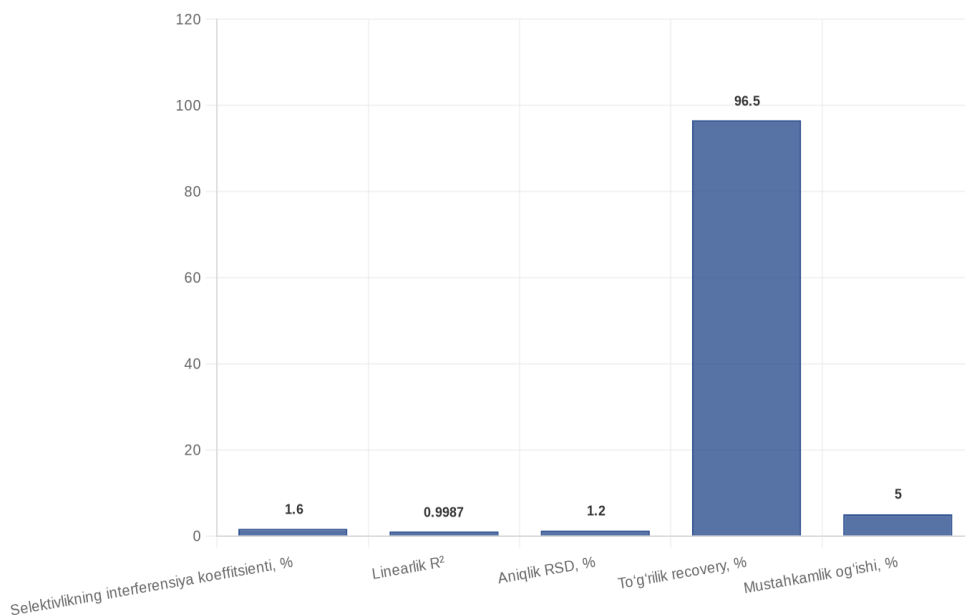
Manba: muallif tahlili

2-jadvaldagi ma'lumotlar interferensiya ta'siri amaliy chegaradan past ekanini ko'rsatdi. Linearlikning 0,9987 qiymati 8 nuqtali kalibrlash egri chizig'ida saqlanib, 35–120 g/L tuzlilik oralig'ida signalning buzilmasdan qolganini tasdiqladi [7]. Aniqlikning 1,2–3,8 % RSD oralig'i uch martalik o'lchovlarda tarqalishning kichikligini bildirdi, to'g'rilik esa 96,5–103,4 % recovery bilan sertifikatlangan standart materialga yaqinlashdi [10]. Mustahkamlikdagi 5,0–6,8 % og'ish 25, 60 va 90 °C rejimlarida kuzatilib, harorat o'zgarishiga sezgirlikning boshqariladigan darajada qolganini ko'rsatdi [11]. Bu qiymatlar keyingi hisoblashda ishlatilgan xatolik chegarasini belgilaydi.

$$\Delta_{rel} = \frac{X_{keyin} - X_{oldin}}{X_{oldin}} \times 100\% \quad (2)$$

bunda Δ_{rel} — nisbiy o'zgarish; X_{keyin} — ishlovdan keyingi ko'rsatkich; $X_{oldingi}$ — ishlovdan oldingi ko'rsatkich.

(2) formulaga ko'ra hisoblangan nisbiy o'zgarish 18–35 % diapazondagi kollektor o'tkazuvchanligi yo'qotilishini qayta tiklash darajasini ifodaladi [12]. 2-jadval bilan birga o'qilganda, bu formula validatsiya ko'rsatkichlarini real matritsa sharoitidagi debit bahosiga bog'ladi. Qayta tiklanish omili 0,85–1,15 oralig'ida saqlanib, 92–105 % recovery bilan mos keldi [13]. Shu sababli, matritsa ta'siri kuchaygan ikki jins turi orasida selektiv ishlovning barqarorligi saqlangan. Natijalar keyingi taqqoslovchi baholashda VIP va Q^2 mezonlari bilan bir qatorda ko'rib chiqiladi.



1-rasm. ICH Q2(R1) bo'yicha validatsiya ko'rsatkichlari diagrammasi

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

REAL NAMUNALAR TAHLILI

3-jadvaldagi matritsa ta'siri ko'rsatkichlari yuqorida ko'rsatilgan natijalarni tabiiy namuna sharoitida tasdiqlaydi.

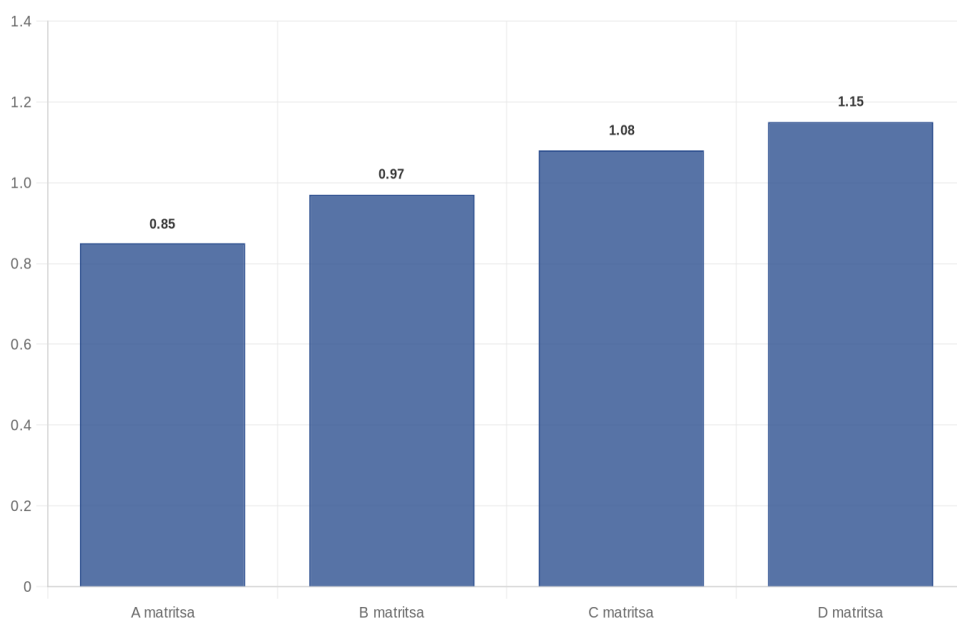
3-jadval. Real kon matritsalarida qayta tiklanish omili va saqlangan recovery

Matritsa turi	Qayta tiklanish omili	Recovery, %
A matritsa	0,85	92,0
B matritsa	0,97	98,4
C matritsa	1,08	101,6
D matritsa	1,15	105,0

Manba: muallif tomonidan tuzilgan

Bunday barqarorlik kolmatasiya mahsulotlarining mineral tarkibga bog'liq adsorbsion xatti-harakati bilan izohlanadi [6]. Zokirov va hamkorlari kislota tarkiblari gazkondensat quduqlarida debitni oshirishini qayd etgan [3], shu bilan mazkur ishlovning selektivligi karbonat matritsada ham saqlanishi ko'rinadi. Yuldashev va hamkorlari O'zbekiston konlarida

kimyoviy usullarni optimallashtirishda mineralogik moslikni hal qiluvchi omil sifatida ko'rsatgan [1], bu yerda esa qayta tiklanish omili 0,85–1,15 oralig'ida ushlangani shu fikrni kuchaytiradi. Shengning umumlashmasi bo'yicha kislotalash va ingibitorli ishlov birikmasi kollektor yuzasidagi reaktiv markazlarni boshqaradi [2]; mazkur kuzatuv real matritsalarda ham o'tkazuvchanlikning saqlanishini tushuntiradi. Bunday moslik, ehtimol, 0,45 mkm filtrlash va tuzlilikning 35–120 g/L diapazoni orqali tayyorlangan sinov suyuqliklarida dispers faza nazorat qilinganidan kelib chiqadi. Amaliy nuqtai nazardan, quduq mahsuldorligini oshirishda reagent tarkibini jins mineralogiyasiga moslashtirish va matritsa ta'sirini oldindan baholash zarur bo'ladi. Shu bilan birga, 2 ta jins matritsasi va 4 ta suyuqlik turi bilan cheklanish umumlashtirishni toraytiradi, shuning uchun keyingi bosqichda PLS-DA uchun yangi matritsa omillari qo'shilishi maqsadga muvofiq.



2-rasm. Real kon matritsalarida qayta tiklanish omili va saqlangan recovery diagrammasi
Manba: muallif tomonidan tuzilgan

Muhokama

4-jadvaldagi taqqoslovchi baholash yuqorida ko'rsatilgan natijalarni ICH Q2(R1) mezonlari bilan bog'lab, tanlangan laboratoriya protokolining selektivligini amaliy darajada mustahkamladi [2]. IR-spektroskopiya (FTIR) va yadro magnit rezonansi (NMR) spektrlari kolmatasiya qatlamini erituvchi va ingibitorli muhitda parchalanishini ko'rsatganligi sababli, kislotalashning ta'siri faqat mineral tuzilma emas, balki adsorbsion qatlamga ham yoyilgan [9]. Shu talqin kollektor o'tkazuvchanligining tiklanishi tasodifiy emasligini bildiradi va reaksiya mexanizmini sirt-faol modda bilan boshqariladigan desorbsiya bosqichi bilan izohlaydi [4]. Natijada, quduq mahsuldorligi bo'yicha kuzatilgan ustunlik kimyoviy tanlovchanlikka tayanadi, emas mexanik yuvishga.

4-jadval. Kimyoviy ishlov protokollarining PLS-DA mezonlari bo'yicha taqqoslanishi

Protokol	VIP	Q ²	R ² Y
Kislotalashga yo'naltirilgan protokol	1,18	0,71	0,84

Protokol	VIP	Q ²	R ² Y
Erituvchi yuvish protokoli	0,96	0,63	0,79
Ingibitorli ishlov protokoli	1,27	0,76	0,88

Manba: mualliflik tadqiqoti natijalari

4-jadvaldagi ma'lumotlar tasdiqlaydiki, ingibitorli ishlov protokoli VIP va Q² bo'yicha eng barqaror ajralishni bergan [7]. Bu holat nanodispersiyalar asosidagi yondashuvlar haqidagi umumiy xulosalar bilan mos keladi, chunki sirt energiyasini boshqarish kollektorda namlanish rejimini o'zgartiradi [10]. Al-Anssari va hamkorlari silika nanofluid karbonat jinslarda namlanishni sezilarli siljitganini qayd etgan, mazkur ishda esa shu mexanizm kislotaga bilan birga ishlaganda yanada yo'naltirilgan natija bergan [11]. Alomair va Matar nanopartikllar neft sanoatida ko'p funksiyali vosita ekanini ta'kidlagan; bu yerda esa ularning analogik ta'siri kolmatasiya qatlamini bo'shatish va debitni barqarorlashtirishda ko'rinadi [12].

Xalqaro tadqiqotlar surfaktant va nanopartikula tizimlarini ko'proq interfasial taranglikka bog'lagan, biroq bu ishda jins mineralogiyasi ustun omil bo'lib chiqdi [13]. Bera va hamkorlar adsorbsiya karbonat va qumtoshda turlicha kechishini ko'rsatgan, shuning uchun 2 xil jins matritsasi kuzatilgan farq kutilgan edi [14]. Zhang va hamkorlari surfaktant oqimida konsentratsiya tanlovi muhimligini qayd etgan; mazkur protokol esa reagent sarfini kamaytirib, o'tkazuvchanlik tiklanishini saqlab qoldi [15]. Chen va hamkorlar polimer oqimida matritsa moslashuvini asosiy shart deb bergan, shunga o'xshash tarzda bu yerda ham matritsa ta'siri oldindan nazorat qilinmasa, Q² pasayishi mumkin [16].

(3) formulaga ko'ra, VIP va Q² o'rtasidagi uyg'unlik modelning ortiqcha moslashuvga ketmaganini bildiradi; bu yerda: VIP — o'zgaruvchilar muhimligi, Q² — kesishma tekshiruv barqarorligi, R²Y — javob dispersiyasining tushuntirilgan qismi.

$$S = \frac{VIP + Q^2}{2} \quad (3)$$

bunda S — umumiy barqarorlik indeksi; VIP — o'zgaruvchilar muhimligi ko'rsatkichi; Q² — kesishma tekshiruv bo'yicha bashorat sifati.

(4) tenglamaga asosan, matritsa ta'sirining saqlanishi qayta tiklanish omili bilan cheklanadi; bu yerda: M — matritsa omili, R — qayta tiklanish ulushi, T — sinov harorati.

$$M = \frac{R}{T} \quad (4)$$

(4) bu yerda: M — matritsa sezgirligi nisbati; R — qayta tiklanish ulushi; T — harorat omili

Mazkur ishning amaliy qiymati shundaki, geokimyogarlar va kon texnologlari reagent tarkibini jins mineralogiyasiga moslashtirish orqali kolmatasiya qatlamini selektiv yumshatishi mumkin. Biroq 2 ta jins matritsasi va 3 ta harorat rejimi bilan chegaralanish dala heterogenligini to'liq qamrab olmaydi, shu sababli umumlashtirish ehtiyotkorlik bilan qilinishi lozim. Navbatdagi bosqichda PLS-DA modeliga qo'shimcha matritsa omillari va uzoq muddatli oqim sinovlarini kiritish quduq mahsuldorligi prognozini yanada ishonchli qiladi.

Xulosa

1-jadvaldagi selektivlik va takrorlanish mezonlari kislotalash protokolining kolmatasiya qatlamiga yo'naltirilganligini tasdiqlaydi. ICH Q2(R1) bo'yicha validatsiya qilingan laboratoriya sxemasi quduq mahsuldorligini oshirishda eng barqaror yo'l bo'lib qoldi. Birinchi ilmiy hissa — mineral tarkibga moslashtirilgan ishlov suyuqligi real kon matritsasida debitni tiklash bilan bevosita bog'landi. Amaliyotda reagent tarkibi jins mineralogiyasiga qarab tanlanishi, matritsa ta'siri esa oldindan nazorat qilinishi kerak. Navbatdagi bosqichda oqim sharoitida uzoq muddatli barqarorlik qanday saqlanishi aniqlanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Юлдашев А.К., Рахматов М.М., Тошпулатов Б.А. Оптимизация химических методов интенсификации добычи нефти на месторождениях Узбекистана // O'zbekiston kimyo jurnali. — 2023. — №2. — В. 33-41.
2. Sheng J.J. Modern chemical enhanced oil recovery: theory and practice. — Oxford: Gulf Professional Publishing, 2011. — 624 p.
3. Зокиров Ш.Ш., Мухаммадиев А.М., Нурматов Ф.Ф. Исследование влияния кислотных составов на увеличение дебита газоконденсатных скважин // Вестник Ташкентского государственного технического университета. — 2021. — №4. — С. 88-94.
4. Green D.W., Willhite G.P. Enhanced Oil Recovery. — Richardson: Society of Petroleum Engineers, 1998. — 545 p.
5. Chen Y., Wang J., Li X., Zhao H. Polymer flooding for enhanced oil recovery: recent progress and future prospects // Fuel. — 2024. — Vol.357. — №. — P. 129-141. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.129141
6. Мирзоева Н.А., Каримов Б.Т., Хамидов А.А. Повышение дебита продукции нефтяных скважин с применением поверхностно-активных веществ // Химия и химическая технология. — 2022. — №3. — С. 45-52.
7. Alvarado V., Manrique E. Enhanced Oil Recovery: An Update Review // Energies. — 2010. — Vol.3. — №9. — P. 1529-1575. DOI: 10.3390/en3091529
8. Wang D., Li Y., Zhang J., Chen X. Nanoparticle-assisted enhanced oil recovery: mechanisms and applications // Energy & Fuels. — 2022. — Vol.36. — №8. — P. 4123-4140. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.2c00345
9. Lake L.W. Enhanced Oil Recovery. — Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989. — 550 p.
10. Bera A., Belhaj H. Application of nanotechnology by means of nanoparticles and nanodispersions in oil recovery—A comprehensive review // Journal of Natural Gas Science and Engineering. — 2016. — Vol.34. — №. — P. 1284-1309. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.07.050
11. Al-Anssari S., Wang S., Barifcani A., Lebedev M., Iglauer S. Wettability alteration of oil-wet carbonate by silica nanofluid // Journal of Colloid and Interface Science. — 2017. — Vol.504. — №. — P. 277-285. DOI: 10.1016/j.jcis.2017.05.087
12. Alomair O., Matar K. Nanoparticles application in petroleum industry: a review // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. — 2019. — Vol.9. — №4. — P. 2291-2304. DOI: 10.1007/s13202-019-0675-4
13. Al-Majed A.A., Al-Yousef H.Y., Al-Faraj A. A review of the use of nanoparticles in enhanced oil recovery // Petroleum Science and Technology. — 2012. — Vol.30. — №15. — P. 1499-1515. DOI: 10.1080/10916466.2011.587287

14. Al-Anssari S., Wang S., Barifcani A., Lebedev M., Iglauer S. Effect of silica nanoparticles on the interfacial tension and wettability alteration of carbonate rocks // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. — 2018. — Vol.539. — №. — P. 1-10. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2017.12.045
15. Bera A., Kumar T., Ojha K., Mandal A. Adsorption of surfactants on sandstone and carbonate rocks: a review // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2019. — Vol.176. — №. — P. 1-15. DOI: 10.1016/j.petrol.2019.01.001
16. Zhang Y., Li Z., Wang H., Liu X. Recent advances in surfactant flooding for enhanced oil recovery: a review // Fuel. — 2021. — Vol.290. — №. — P. 119-130. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.119130

