

Neftli quyularda məhsuldar intervalların məsəmə strukturunun üçölçülü rəngli vizuallaşdırma üsulu ilə detallaşdırılması

Ə.B. Həsənov, f.-r.e.d.¹,E.Y. Abbasov, g.-m.ü.f.d.², D.N. Məmmədova³,
Ü.S. İbrahimova³, G.V. Rəhimova¹¹Neft və Qaz İnstitutu,²SOCAR,³Geologiya və Geofizika İnstitutu

e-mail: adalathasanov@yahoo.com

Açar sözlər: üçölçülü vizuallaşdırma, hidravlik qırılma, litotip, neft duyuları, karotaj, əhəngdaşı, məsəməlik, neft yatağı.

DOI.10.37474/0365-8554/2023-8-4-9

Детализация поровой структуры продуктивных интервалов нефтяных скважин методом трехмерной цветовой визуализации

А.Б. Гасанов, д.ф.-м.н.¹, Э.Я. Аббасов, д.ф.-м.н.², Д.Н. Мамедова³,
У.С. Ибрагимова³, Г.В. Рагимова¹

¹Институт нефти и газа,²SOCAR,³Институт геологии и геофизики

Ключевые слова: трехмерная визуализация, гидроразрыв, литотип, нефтяные скважины, каротаж, известняки, пористость, нефтяное месторождение.

Описан вариант расширения методологии применения ГРП на нефтяных месторождениях, а также возможности трехмерного моделирования с цветовой визуализацией поровой структуры продуктивных интервалов скважин. В качестве полигона выбран геолого-геофизический разрез продуктивного горизонта B3B4 одной из скважин Московдинского нефтяного месторождения с известными данными по комплексной интерпретации результатов ГИС и микрокомпьютерной томографии. Продуктивный коллектор в анализируемом участке разреза по данным ГИС характеризуется высокой степенью неоднородности, а томографические исследования полноразмерного ядра позволили выделить здесь 4 литологических типа, различающихся особенностями строения пор. Учет выявленной неоднородности коллектора, а также данных о толщине и других характеристиках ФЕС отдельных литотипов, составляющих разрез, позволили значительно повысить детальность итоговой геологической модели продуктивного участка ствола скважины. Отличительной особенностью этой модели является использование метода укрупнения исходного массива данных за счет добавления промежуточных значений, рассчитанных теоретически. Наглядность итоговой геологической модели стенок скважины обеспечивается трехмерной цветовой визуализацией расчетных данных укрупненного массива и позволяет судить о наличии на боковой поверхности стенок скважины участков с хорошей и со слабой флюидопроницаемостью. Согласно данной модели, в прискважинной зоне наблюдаются внутрипластовые поперечные и продольные флюидопроницающие "коридоры", определяющие гидродинамические перемещения естественных и искусственных флюидов в пространстве продуктивных коллекторов.

Detailing the pore structure of productive intervals within oil wells using 3D color imaging

A.B. Hasanov, Dr. in Phys.-Math. Sc.¹ E.Y. Abbasov, PhD in Geol.-Min. Sc.², D.N. Mammadova³, U.S. Ibrahimova³, G.V. Rahimova¹

¹Oil and Gas Institute,²SOCAR,³Institute for Geology and Geophysics

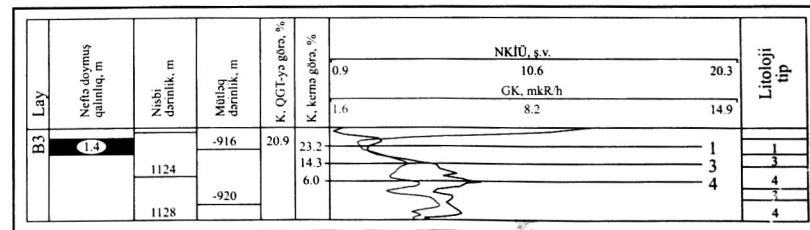
Keywords: 3D imaging, hydraulic fracturing, lithotype, oil wells, well logging, limestones, porosity, oil field.

The article describes an approach to the expansion of the methodology for applying hydraulic fracturing in oil fields by adding the possibilities of 3D modeling with color imaging of the pore structure within productive intervals of the wells. As an applied example, the geological and geophysical section of the productive level of one of the wells in Moskindinskoye oil field with known data on the integrated interpretation of the results of well logging and microcomputer tomography was chosen. According to well-logging data, the productive reservoir in the analyzed area of the section is characterized by a high degree of heterogeneity. The tomography studies of a full-size core enabled to identify four lithotypes here with different pore structure features. The consideration of the identified reservoir heterogeneity, as well as the data on the thickness and other characteristics of reservoir properties of individual lithotypes which make up the section, allowed to significantly increasing the detail of the final geological model of the wellbore section. A distinctive feature of this final geological model is the use of the method of enlargement of the initial data array by adding intermediate values which were calculated theoretically. The visibility of the final geological model of the borehole walls is provided by color 3D imaging of the calculated data of the enlarged massif and gives an idea on the presence of areas with good and weak fluid conductivity on the lateral surface of the borehole walls. According to this model, the intrastratal transverse and longitudinal fluid-conducting "corridors" are observed in the circumwell zone that define the hydro-dynamic movements of natural and artificial fluids in the medium of productive reservoirs.

Asan çıxarılabilən karbohidrogen ehtiyatlarının uzunmüddətli hasilatı tanınmış iri neftli-qazlı yataqların nəzərəcarpacaq dərəcədə tükənməsinə gətirib çıxarmışdır. Bu isə müasir dünyada neft sənayesinin inkişafını xeyli mürəkkəbləşdirir [1–4]. Buna misal olaraq Azərbaycanın uzun müddət istismar olunan neft yataqlarını, Volqa-Ural neft-qaz hövzəsini və bir çox başqalarını göstərmək olar ki, burada sulu horizontlarda əlverişli məsəməlik və keçiricilik xassələrinə (MKX) malik olan terrigen neft yataqları yerləşir. Bu baxımdan neft hasilatının intensivləşdirilməsi üçün neftvermə əmsalını artırmağa, maddi resurslara xeyli qənaət etməyə və ətraf mühitə təsirləri azaltmağa imkan verən yeni ekoloji təmiz və səmərəli texnologiyaların birgə tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu texnologiyalar həm yeni nəzəri yanaşmalara, həm də tükənmiş neft-qaz yataqlarının işlənməsi üzrə qabaqcıl təcrübələrin tətbiqi üçün əsaslanırlar.

Böyük dərinliklərdə çöküntülərin kollektor xassələrinin dayanıqlığının proqnozlaşdırılmasında nəzəri yanaşmaya misal olaraq, qeyri-səlis mantiq metodlarından və çevik hesablamalardan istifadəni qeyd etmək olar. Xüsusilə, faza mühitinin parametrləri və poliqonların paylanması, eksperimental məlumatların təqdim olunması baxımından qeyri-səlis petrofiziki modellərin müzakirə olunduğu haqqında bir sıra tədqiqatlar aparılmışdır [5, 6]. Digər işlərdə isə korrelyasiya-reqressiya təhlili metodları əsasında şistlərin məsəməliyinin modelləşdirilməsinin mümkünlüyü nəzərdən keçirilir [7]. Müəlliflər tərəfindən quyu tədqiqatı məlumatlarına əsaslanan petrofiziki parametrlərin proqnozlaşdırılmasında süni intellektdən istifadə edilib [8]. Ədəbiyyatda quyu geofiziki tədqiqatları (QGT) məlumatlarına əsasən petrofiziki parametrlərin proqnozlaşdırılması üsuluna da rast gəlinir [8]. Bundan əlavə, petrofiziki tədqiqatlarda qeyri-səlis mantiqin tətbiqinin nəticəsi müzakirə edilir və metodun əsasını təşkil

edən əsas anlayışlar izah olunur [9]. Başqa bir tədqiqat işində vurğulanır ki, ilkin parametrlərin müşahidə edilən qeyri-müəyyənliyi tədqiq olunan geoloji obyektlərin qeyri-bircinsliyi ilə bağlıdır və bu, etibarlı dərəcədə kəmiyyətə qiymətləndirilir [10]. Parametrlər arasındakı nisbəti nəzərə alan belə yanaşma qrafik modellərin və sxemlərin etibarlılığını proqnozlaşdırmağa imkan verir. Tükənmiş neft və qaz yataqlarının işlənməsinin innovativ üsulları arasında layın hidravlik qırılma üsulu (LHQ), hidravlik qırılmanın propant və radial qazma texnologiyası üsulları diqqətə layiqdir [11, 12]. Hidravlik qırılma texnologiyasının daha bəhsə başa gəlməsinə və quyuların açılması zamanı daha çox istifadə olunmasına baxmayaraq, bu texnologiya dünya təcrübəsində çətin çıxarılabilən neft ehtiyatlarının işlənməsində çoxdan istifadə olunur [13, 14]. Ayrı-ayrı neft yataqlarında LHQ üsulunun tətbiqinin təhlili bir sıra nəşr olunmuş əsərlərdə verilmişdir [15, 16]. Nəzərdən keçirilən nəşrlərdən belə məlum olur ki, LHQ nəticəsində lay minimum möhkəmlikdə olan müstəvilər boyu dağılır və çatlar təzyiq aradan qaldırıldıqdan sonra propantla bərkidilir, etibarlı və uzunmüddətli neft "kəmərlərinə" çevrilir. Propant LHQ texnologiyasının ümumi səmərəliliyi qırılmaların sayı, uzunluğu, forması, açılma dərəcəsi və s. ilə müəyyən edilir. Öz növbəsində, bu parametrlər yatağın mineral tərkibindən və məsəmə strukturundan asılıdır. Bundan əlavə, neftli layın struktur xüsusiyyətlərini də nəzərə almaq lazımdır [17–19]. Məsələnin kifayət qədər aydın təqdim olunmasına baxmayaraq, hidravlik qırılmanın nəticələrini proqnozlaşdırmaq üçün müvafiq alqoritmlər və kompüter proqramları hələ hazırlanmamışdır [20]. Buna baxmayaraq, bu problemlər əsasən nümunələrlə laboratoriyada və çöl təcrübələrindən əldə edilən məlumatlardan istifadə etməklə həll edilə bilər. Belə tədqiqatların nümunələri bir sıra elmi əsərlərdə verilmişdir [21–23]. LHQ istifadəsində müəyyən bir təcrübə Moskindinsk neft yatağının Vereyskiy məhsuldar



Şəkil 1. B3B4 məhsuldar horizontunun intervalında Moskindinsk yatağının quyu hissəsinin xüsusiyyətləri (Qalkin 2021)

horizontunun işlənməsinə dair nəşrlərdə təsvir edilmişdir [11]. Müəlliflər tərəfindən aparılan tədqiqatlar elektron mikroskopik və mikrokompyuter tomoqrafiyası ilə tam ölçülü kern nümunələrinin hərtərəfli öyrənilməsinə əsaslanır.

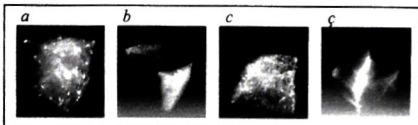
Tədqiqat metodologiyası

Bu məqalənin müəllifləri tədqiqat metodologiyasını genişləndirməyə cəhd məqsədilə quyuların məhsuldar intervallarının məsamə strukturunun rəngli 3D vizuallaşdırması imkanlarını yuxarıda göstərilən işlərin siyahısına daxil etmişlər. Sınaq meydançası kimi Moskundinsk neft yatağının quyularından birinin B3B4 məhsuldar horizontunun tədqiqat nəticələrindən istifadə edilmişdir (şəkil 1). Quyu kəsilişində neftli intervalların müəyyən edilməsi neytron-neytron karotajı (NNK-t) üsulu ilə həyata keçirilmişdir.

Araşdırılan yatağın neftli intervalı Vereysk karbonatlı layı ilə təmsil olunaraq quyuların karotaj məlumatlarına əsasən müəyyən edilmiş və qeyri-bircinsliyin yüksək dərəcəsi ilə xarakterizə olunmuşdur. Kəsilişdə müxtəlif xassələrə malik əhəngdaşları aşkar edilmişdir [24]. Layın məhsuldar hissəsində məsaməliyin orta qiyməti 16.5 %-dir, lakin neftdəyümlü hissədə məsaməlik 17.7 %-ə çatır (maksimum qiymət 28 %). Orta keçiricilik 0.160 və 0.172 mkm² (maksimum 0.745 mkm²).

B3B4 horizontundan götürülmüş tamölçülü (diametri 100 mm olan) kernin tomoqrafik tədqiqatları kollektorların tipini və məsamə boşluğunun strukturunu müəyyən etməyə imkan verdi [24, 25]. Bu məlumatlara əsasən məhsuldar horizontda (B3B4-də) məsamə strukturunun xüsusiyyətlərinə görə fərqlənən dörd litotipi fərqləndirmək olur [24]:

– litotip 1 kern və QGT məlumatlarına görə məsaməliyi 20 %-dən çox olan yüksəkkeçiricilikli kollektorla təmsil olunur (şəkil 2, a);



Şəkil 2. Müxtəlif sülur litotiplərinin nümunələrinin tomoqramları (B3B4 horizontundakı kern):

a – litotip 1; b – litotip 2; c – litotip 3; d – litotip 4

– litotip 2 QGT tərəfindən məsaməliyi 12–13 % diapazonunda olan kollektor kimi interpretasiya olunur. Kern məlumatlarına görə isə, litotip 2, karbonatlı sülurların məsaməli və sıx növlərinin (hər

bir 3–10 sm) bir-birini əvəz etməsi ilə təmsil olunur (şəkil 2, b);

– litotiplər 3 və 4 (şəkil 2, c), QGT məlumatlarına görə, məsaməliyi 7 %-dən az olan qeyri-kollektorlar kimi şərh olunur. Bununla belə, litotip 3 üçün hasilat prosesində (aktiv xarici təsirlə) neftin “izlərinin” olması xarakterikdir;

– litotip 4 daha sıx əhəngdaşları ilə təmsil olunur; burada heç bir neft təzahürü aşkar olunmamışdır.

Bu zaman müəyyən edilmişdir ki, çatlı-məsaməli litotip (litotip 3) ilə təmsil olunan geoloji kəsiliş intervalı sənaye əhəmiyyətli neft ehtiyatlarına malik ola bilər [24, 25].

Nəticələrin müzakirəsi

Yuxarıda verilən məlumatları nəzərə alaraq, qeyri-bircins kern nümunəsinin açıq məsaməliyi onun keçirici və qeyri-keçirici hissələrinin məsaməliklərinin cəmi kimi müəyyən edilə bilər [24]:

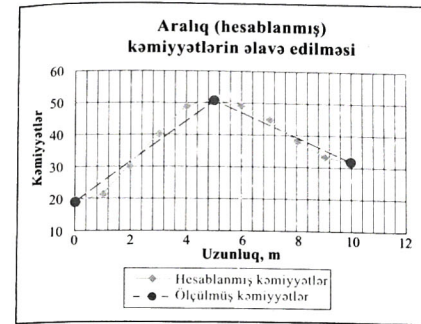
$$K_{m.mayeqb} = D_{keq} K_{m.keq} + (1 - D_{keq}) K_{m.a}, \quad (1)$$

burada $K_{m.mayeqb}$ – qeyri-bircins nümunənin açıq məsaməliyi; D_{keq} – keçirici kollektorların hissəsi (rentgen tomoqrafiyası ilə); $K_{m.a}$ – kollektorların açıq məsaməliyidir.

Müəyyən edilmişdir ki, çatlı-məsaməli litotiplə təmsil olunan geoloji kəsiliş intervalı özündə sənaye əhəmiyyətli neft ehtiyatlarını saxlaya bilər [24, 25]. Kollektorların qeyri-bircinsliyinin, eləcə də müəyyən edilmiş litotiplərin qalınlığı və horizontun həcmi-süzülmə xassələrinin (HSX) və digər amillərin nəzərə alınması, yekun geoloji modelin məlumatlığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Geoloji model həm də əsas fiziki və kimyəvi parametrlər olan kollektorların HSX 3D tədqiqatları olmadan dolğun hesab edilə bilməz. Kollektorların HSX-si adətən kern tədqiqatlarının qurğuları (KTQ) adlı xüsusi cihazlardan istifadə etməklə eksperimental olaraq müəyyən edilir. Eyni zamanda məhsuldar horizontun flüid süzülmə qabiliyyətinin dəyişkənliyi haqqında məlumatların diskretliyi zamanı çatışmayan kəmiyyətlərə əlavə olaraq məlumat massivinin böyüdülməsi üsulundan istifadə etmək olar [20]. Məlumat massivinin böyüdülməsi üsulu MS Excel proqram məhsulundan istifadə etməklə, bəzə də ölçülməyən, lakin nəzəri olaraq hesablanmış aralıq kəmiyyətləri əlavə etməklə həyata keçirilir (şəkil 3).

Bizim nümunəmiz və Moskundinsk yatağının B3B4 horizontunu təmsil edən kernin tomoqrafik tədqiqatlarından əldə etdiyimiz məlumatlarla,



Şəkil 3. MS Excel proqram məhsulundan istifadə etməklə məlumat massivinin böyüdülməsi

məhdud faktiki məlumatlara əsaslanaraq böyüdülmüş massiv yaratmaq mümkündür [24].

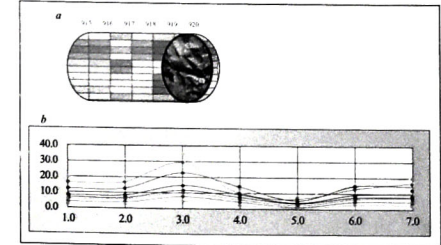
Xanaların artırılması və bölünməsi ilə daha böyük massivdən istifadə edərək, hər bir xanaya müvafiq dəyər təyin edilir. Sonradan hər xananın tərkibindəki dəyərdən asılı olaraq, xanalarla müvafiq rəng verməklə bütün məlumatları vizuallaşdırma bilirik. Bu prosedura MS Excel proqram məhsulundan istifadə etməklə asanlıqla həyata keçirilir. Şəkil 4-də hesablanmış kəmiyyətlərin rəngli vizuallaşdırılması ilə böyüdülmüş massiv göstərilir. Başqa sözlə desək, hesablamalar nəticəsində alınan düz təsvir kern nümunəsinin silindrin yan səthinin açılmasına uyğun gəlir.

	11	914.0	915.0	916.0	917.0	918.0	919.0	920.0	Aver
0	12.6	13.0	23.2	14.3	6.0	14.9	15.3	14.2	
10	4.19	4.34	7.73	4.77	2.00	4.96	5.11	4.7	
20	2.79	2.89	5.16	5.18	1.33	3.31	3.41	3.2	
30	4.2	4.3	7.7	4.8	2.0	5.0	5.1	4.7	
40	20.00	20.74	35.63	12.33	8.39	16.00	20.62	19.1	
50	16.67	17.28	29.69	10.27	6.99	13.33	17.39	15.9	
60	8.4	8.7	15.5	9.5	4.0	9.9	10.2	9.5	
70	6.51	6.75	12.03	7.41	3.11	7.71	7.96	7.4	
80	5.79	6.00	10.69	6.59	2.77	6.86	7.07	6.5	
90	12.6	13.0	23.2	14.3	6.0	14.9	15.3	14.2	
Aver	9.4	9.7	17.1	8.7	4.3	9.7	10.7		

Şəkil 4. Kern nümunəsinin yan səthi və en kəsikləri boyunca məsaməliyin qiymətlərinin dəyişməsinin rəngli vizuallaşdırılması (H-quyu dərinliyi; *en kəsiklərinin bucaqlarıdır; Aver-kernin yan səthi və en kəsikləri boyunca K_m -in orta qiymətləri)

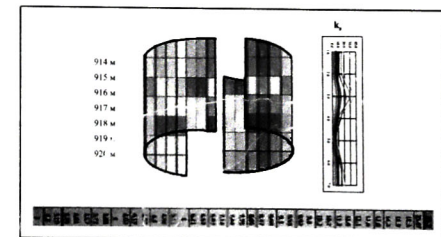
Şəkil 4-də göstərilən açılmış şkala (°) – kernin en kəsiyinin fırlanma bucaqlarına uyğundur (10° addım ilə) və sınaqdan keçirilmiş kernin məsaməlik qiymətlərinin daxili dəyişməsinə əks etdirməyə imkan verir. Başqa sözlə, yuxarıda təsvir edilən rəngli vizuallaşdırma modeli açıq məsamələrin kern daxilində paylanma xüsusiyyətlərini qiymətləndirməyə imkan verir və kern silindrinin eni və uzunluğunu boyunca məsaməliyin hesablanmış orta

qiymətləri kollektordakı kernin daxilində eninə və uzununa flüid keçirici məsamələrin mövcudluğunu göstərir (kollektorun əsas həcmi daxilində). Bizim rənglənmiş modelimizdə 916 m dərinlikdə (orta məsaməlik 17.1 %) bir eninə flüid keçirici interval (“dəhliz”) və kəsilmə bucaqları 40°, 50° və 90° olan üç uzununa flüid keçirici interval müşahidə olunur (orta açıq məsaməlik müvafiq olaraq 19.1 %, 15.9 % və 14.2 % təşkil edir) (şəkil 5).



Şəkil 5. Yan səth (a) və en kəsiyi (b) boyunca açıq məsaməlik qiymətlərində dəyişikliklər

Eynilə, kern nümunəsi daxilində məsamə flüidlərini zəif keçirən sahələrin mövcudluğu barədə fikir söyləmək olar (bax: şəkil 5). Rənglənmiş təsvirimizdə 918 m-də bir eninə nisbətən az keçirici hissə (orta açıq məsaməlik 4.3 %) və en kəsiyi bucaqları 10°, 20°, 30° və 80° (müvafiq olaraq orta açıq məsaməlik) olan dörd uzununa sahə var (4.7 %, 3.2 %, 4.7 % və 6.5 %).



Şəkil 6. Səthdə və quyu divarının kəsiklərində açıq məsaməliyin qiymətlərinin dəyişməsi

Quyudan kern seçilmə intervalının araşdırması zamanı nəzərə alsaq ki, kernin yan səthi quyu divarına uyğundur, nəticədə quyu divarı boyunca açıq məsaməliyin qiymətlərinin dəyişməsi modelinin təsvirini əldə etmiş oluruq (şəkil 6). Yəni tərtib edilmiş üçölçülü model neftli kollektorun məsamə boşluğunun laydaxili strukturu haqqında ayıni təsviri yaradır.

Bu modelin köməyiylə quyuyaətrafı ərazidə məhsuldar kollektorlardakı məkanda təbii və süni flüidlərin hidrodinamik hərəkətlərini təyin edən

laydaxili istiqamətlərdə flüid keçirici "dəhlizlər" təyin edilə bilər. Model həm tükənmiş neft yataqlarının əlavə işlənməsində su vurulma xəminin təşkili kimi, həm də hidravlik qırılmalar zamanı görülməli işlərdə istifadə edilə bilər.

Nəticə

Neft mədənlərində hidravlik qırılmaların təbii üzrə tədqiqat metodologiyasının genişləndirilməsi siyahısına quyuların məhsuldar intervalının məsəmə strukturunun rəngli vizuallaşdırılması vasitəsilə üçölçülü (3D) modelləşdirmə imkanları da daxil edilən variant təklif olunmuşdur. Sınaq ərazisi (poliqon) kimi mikrokompyuter tomoqrafiyasının nəticələrinin kompleks şərhinə dair zəruri tədqiqatlar aparılmışdır. Məhsuldar neft yataqlarının quyularından birinin B3B4 məhsuldar horizontunun geoloji-geofiziki kəşilişi seçilmiş və QGT nəticələrinin kompleks interpretasiyası üzrə məlumatlar araşdırılmışdır. QGT məlumatlarına görə, kəşilişin interpretasiya olunan hissəsindəki məhsuldar kollektor yüksək dərəcədə qeyri-bircinsliyi ilə xarakterizə olunur. Tam ölçülü kern

nümunəsinin tomoqrafik tədqiqatları isə burada məsəmə strukturunun xüsusiyyətləri ilə fərqlənən dörd litotipi ayırmağa imkan verdi. Kollektorun müəyyən edilmiş qeyri-bircinsliyinin, eləcə də kəşilişi təşkil edən ayrı-ayrı litotiplərin qalınlığı və digər xüsusiyyətləri haqqında məlumatların qeydə alınması yekun geoloji modelin detallığını əhəmiyyətli dərəcədə artırmağa imkan verdi. Bu modelin fərqli xüsusiyyəti MS Excel proqramı vasitəsilə nəzəri olaraq hesablanmış aralıq kəmiyyətləri əlavə etməklə faktiki massivin böyüdülməsi metodundan istifadə edilməsidir. Nəticədə modelin genişləndirilmiş massivin hesablanmış kəmiyyətlərinin üçölçülü rəngli (3D) təsviri təmin olundu və kollektor nümunəsinin (kernin) daxilində və quyuyu divarının yarı səthindəki yaxşı və zəif flüid keçiricilikli sahələrin olması haqqında fikir söyləməyə imkan yarandı. Bu modelə əsasən quyuyu divarındakı zonada məhsuldar kollektor məkanında təbii və süni flüidlərin hidrodinamik hərəkətinin təmin edən laydaxili istiqamətlərdə flüid keçirici "dəhlizlərin" müəyyən edilməsi mümkündür.

Ədəbiyyat siyahısı

- Kocharli Sh.S. Problemye voprosy neftegazovoy geologii Azerbaydzhana. – Baku, 2015, 278 s.
- Guliyev I.S., Shikhaliev O.A., Feyzullayev A.A., Kocharli Sh.S. K kontseptsii geologo-razvedochnykh rabot po podgotovke resursov uglodородov v Azerbaydzhane // Azerbaydzhanskoe nefteyanoe khozaystvo, 2014, № 9, s. 8-15.
- Yusifov X.M., Aslanov B.S. Neftegazonosnyye basseiny v Azerbaydzhane, – Baku: "Mars-Print" NPF, 2018, 324 s.
- Gasanov A.B., Mamedova D.N., Abbasov E.Yu. Geologo-geofizicheskaya izuchennost' razreza PT Yuzhno-Kaspiyskoy vladiny (nekotorye voprosy prognoznnoy otsenki osadochnogo kompleksa) // Lambert Academic Publishing. – M.: 2017, 109 s.
- Aliyarov, R.Y., Hasanov, A.B., Ibrahimli, M.S., Ismayilova, Z.E., and Jabiyeva, A.J. Forecasting Oil and Gas Reservoirs Properties Using of Fuzzy-Logic Based Methods. In: 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS-2018, pp. 769-773 (2019).
- Aliyarov, R.Y., Ramazanov, R.A. Prediction of multivariable properties of reservoir rocks by using fuzzy clustering. In: Proceedings of 12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2016, 29–30 August 2016, Vienna, Austria, pp. 424-431, 28–30 August 2016.
- Buryakovskiy L.A., Chilingar G.V., Aminzadeh F. Petroleum Geology of the South Caspian Basin. Gulf Professional Publishing, 2001, 341 p.
- Anifowose F., Abdurraheem A. Prediction of porosity and permeability of oil and gas reservoirs using hybrid computational intelligence models. In Proc. North Africa Technical Conference and Exhibition, 14-17 February, Cairo, Egypt, 2010; SPE 126649.
- Cuddy S. The Application of the mathematics of fuzzy logic to petrophysics. 38th Annual Logging Symposium SPWLA 1997.
- Aliyarov, R.Y., Hasanov, A.B., et al. Forecasting of qualitative characteristics of oil reservoirs. In: Materials of the Republican Scientific-Practical Conference devoted to the 95th Anniversary of H. Aliyev: Unity of science, education and production at the present stage of development, 7–8 May, pp. 22/31.
- Votinov A.S., Drozdov S.A., Malysheva V.L., Mordvinov V.A. Recovery and increase of the productivity of wells of Kashirskiy and Podolskiy reservoirs of the certain Perm region oil field, Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering, 2018, v. 18, no. 1, pp. 140-148, <https://doi.org/10.15593/2224-9923/2018.4.4>
- Kochnev A.A., Zotikov B.N., Galkin S.V. Analiz vliyaniya geologo-tekhnologicheskikh pokazateley na effektivnost' tekhnologii radial'nogo buvaniya na primere eksploatatsionnykh ob'ektov Permskogo kraya // Izvestiya TPU. Inzhiniring georesursov, 2018, 329(12), 20-29.
- Penny G.S., Canway M.L., Wellington L. Control and modeling of fluid leakoff during hydraulic fracturing. Journal of Petroleum Technology, vol. 37, No. 6, 1985, pp. 1071-1081.
- Kanevskaya R.D. Zarubezhnyy i otechestvennyy opyt primeneniya gidrorazryva plasta. – M.: OAO "VNIOENG", 1998, 37 s.
- Zdol'nik S.E., Nekipelov Yu.V., Gaponov M.A. Vnedrenie novykh tekhnologiy gidrorazryva plasta na karbonatnykh ob'ektakh mestorozhdeniy PAO ANK "Bashneft" // Nefteyanoe khozaystvo, 2016, № 7, s. 92-95.
- Topal A.Yu., Usmanov T.S., Zorin A.M., Khaydar A.M., Gorin A.N. Primenenie kislotno-propanatnogo gidrorazryva plasta na mestorozhdeniyakh OAO "Udmurtneft" // Nefteyanoe khozaystvo, 2018, № 3, s. 34-37.
- Aliyeva E., Mustafayev K. Petrographic and filtration-volume features of Miocene deposits of the western flank of the South Caspian basin. ANAS Transactions, Earth Sciences, 2021, No 1, pp. 3-15.
- Gurbanov V.Sh., Hasanov A.B., Abbasova G.G. Depth distribution of petrophysical properties of Mesozoic sediments of Khizi tectonic zone. Geomodel 2021 – Proceedings of the 23th Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, v. 2021, pp. 1-6, 2021a, DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202157038>.

- Gurbanov V.Sh., Narimanov N.R., Nasibova G.J., Mukhtarova Kh.Z., Narimanov R.N., Huseynova Sh.M. Qualitative assessment of compressional stresses within the South Caspian Megadepression and their impact upon structure formation and hydrocarbon generation // ANAS Transactions, Earth Sciences, 2021, No 2, pp. 39-49.
- Kochanskiy D.A., Bakirov N.P., Dem'yanovskiy V.B. Issledovaniya prochnostnykh kharakteristik kerna, kak pokazatelya raspredeleniya polimerno-gelovoy sistemy "Temposkrin-plus" po ob'yemu // SOCAR Proceedings Special Issue No. 2 (2021) pp. 012-016.
- Laubach S.E., Reed R.M., Olson J.E., Lander R.H., Bonnel L.M. Coevolution of crack-seal texture and fracture porosity in sedimentary rocks: cathodoluminescence observations of regional fractures // Journal of Structural Geology, v. 26, No. 5, 2004, pp. 967-982.
- Fjær E., Holt R., Horsrud P., Raean A. Petroleum related rock mechanics. 2nd ed. Amsterdam, 2008, 491 p.
- Ibatullin R.R., Salimov V.G., Nasybullin S.V., Salimov O.V. Experimental study of rock crackness // Nefteyanoe khozaystvo, 2009, No. 6, pp. 54-57 (in Russian).
- Galkin S.V., Savitskiy Ya.V., Kolychev I.Yu., Votinov A.S. Perspektivy primeneniya propantnogo gidrorazryva plasta na Kashiro-Vereyskiykh eksploatatsionnykh ob'ektakh Volgo-Uralskoy neftegazonosnoy provintsiy // SOCAR Proceedings, 2021, Special issue No. 2, pp. 257-265.
- Galkin S.V. et al. Detailed study of hydraulic fracturing of Kashiro-Verey rocks by electron microscopy. ANAS Transactions, Earth Sciences: 1/2022, 17-27; DOI: 10.33677/ggias20220100069

References

- Kocharli Sh.S. Problemye voprosy neftegazovoy otrasli geologii Azerbaydzhana. – Baku, 2015, 278 s.
- Guliyev I.S., Shikhaliev O.A., Feyzullayev A.A., Kocharli Sh.S. K kontseptsii geologo-razvedochnykh rabot po podgotovke resursov uglodородov v Azerbaydzhane // Azerbaydzhanskoe nefteyanoe khozaystvo, 2014, No 9, s. 8-15.
- Yusifov Kh.M., Aslanov B.S. Neftegazonosnyye basseiny v Azerbaydzhane, – Baku: "Mars Print" NPF, 2018, 324 s.
- Gasanov A.B., Mamedova D.N., Abbasov E.Yu. Geologo-geofizicheskaya izuchennost' razreza PT Yuzhno-Kaspiyskoy vpadiny (nekotorye voprosy prognoznnoy otsenki osadochnogo kompleksa) // Lambert Academic Publishing. – M.: 2017, 109 s.
- Aliyarov, R.Y., Hasanov, A.B., Ibrahimli, M.S., Ismayilova, Z.E., and Jabiyeva, A.J. Forecasting Oil and Gas Reservoirs Properties Using of Fuzzy-Logic Based Methods. In: 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS-2018, pp. 769-773 (2019).
- Aliyarov, R.Y., Ramazanov, R.A. Prediction of multivariable properties of reservoir rocks by using fuzzy clustering. In: Proceedings of 12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2016, 29–30 August 2016, Vienna, Austria, pp. 424-431, 28–30 August 2016.
- Buryakovskiy L.A., Chilingar G.V., Aminzadeh F. Petroleum Geology of the South Caspian Basin. Gulf Professional Publishing, 2001, 341 p.
- Anifowose F., Abdurraheem A. Prediction of porosity and permeability of oil and gas reservoirs using hybrid computational intelligence models. In Proc. North Africa Technical Conference and Exhibition, 14-17 February, Cairo, Egypt, 2010, SPE 126649.
- Cuddy S. The Application of the mathematics of fuzzy logic to petrophysics. 38th Annual Logging Symposium SPWLA 1997.
- Aliyarov, R.Y., Hasanov, A.B., et al. Forecasting of qualitative characteristics of oil reservoirs. In: Materials of the Republican Scientific-Practical Conference devoted to the 95th Anniversary of H. Aliyev: Unity of science, education and production at the present stage of development, 7–8 May, pp. 22/31.
- Votinov A.S., Drozdov S.A., Malysheva V.L., Mordvinov V.A. Recovery and increase of the productivity of wells of Kashirskiy and Podolskiy reservoirs of the certain Perm region oil field, Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 140-148, <https://doi.org/10.15593/2224-9923/2018.4.4>
- Kochnev A.A., Zotikov V.I., Galkin S.V. Analiz vliyaniya geologo-tekhnologicheskikh pokazateley na effektivnost' tekhnologii radial'nogo buvaniya na primere eksploatatsionnykh ob'ektov Permskogo kraya // Izvestiya TPU. Inzhiniring georesursov, 2018, (12), s. 20-29.
- Penny G.S., Canway M.L., Wellington L. Control and modeling of fluid leakoff during hydraulic fracturing. Journal of Petroleum Technology, vol. 37, No. 6, 1985, pp. 1071-1081.
- Kanevskaya R.D. Zarubezhnyy i otechestvennyy opyt primeneniya gidrorazryva plasta. – M.: OAO "VNIOENG", 1998, 37 s.
- Zdol'nik S.E., Nekipelov Yu.V., Gaponov M.A. Vnedrenie novykh tekhnologiy gidrorazryva plasta na karbonatnykh ob'ektakh mestorozhdeniy PAO ANK "Bashneft" // Nefteyanoe khozaystvo, 2016, No 7, s. 92-95.
- Topal A.Yu., Usmanov T.S., Zorin A.M., Khaydar A.M., Gorin A.N. Primenenie kislotno-propanatnogo gidrorazryva plasta na mestorozhdeniyakh OAO "Udmurtneft" // Nefteyanoe khozaystvo, 2018, No 3, s. 34-37.
- Aliyeva E., Mustafayev K. Petrographic and filtration-volume features of Miocene deposits of the western flank of the South Caspian basin. ANAS Transactions, Earth Sciences, 2021, No 1, pp. 3-15.
- Gurbanov V.Sh., Hasanov A.B., Abbasova G.G. Depth distribution of petrophysical properties of Mesozoic sediments of Khizi tectonic zone. Geomodel 2021 – Proceedings of the 23th Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, vol. 2021, pp. 1-6, 2021a, DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202157038>.
- Gurbanov V.Sh., Narimanov N.R., Nasibova G.J., Mukhtarova Kh.Z., Narimanov R.N., Huseynova Sh.M. Qualitative assessment of compressional stresses within the South Caspian Megadepression and their impact upon structure formation and hydrocarbon generation // ANAS Transactions, Earth Sciences, 2021, No 2, pp. 39-49.
- Kaushanskii D.A., Bakirov N.P., Dem'yanovskiy V.B. Issledovanie prochnostnykh kharakteristik kerna, kak pokazatelya raspredeleniya polimerno-gelovoy sistemy "Temposkrin-plus" po ob'yemu. SOCAR Proceedings Special Issue No. 2 (2021) pp. 012-016.
- Laubach S.E., Reed R.M., Olson J.E., Lander R.H., Bonnel L.M. Coevolution of crack-seal texture and fracture porosity in sedimentary rocks: cathodoluminescence observations of regional fractures // Journal of Structural Geology, v. 26, No. 5, 2004, pp. 967-982.
- Fjær E., Holt R., Horsrud P., Raean A. Petroleum related rock mechanics. 2nd ed. Amsterdam, 2008, 491 p.
- Ibatullin R.R., Salimov V.G., Nasybullin S.V., Salimov O.V. Experimental study of rock crackness // Nefteyanoe khozaystvo, 2009, No. 6, pp. 54-57 (in Russian).
- Galkin S.V., Savitskiy Ya.V., Kolychev I.Yu., Votinov A.S. Perspektivy primeneniya propantnogo gidrorazryva plasta na Kashiro-Vereyskiykh eksploatatsionnykh ob'ektakh Volgo-Uralskoy neftegazonosnoy provintsiy. SOCAR Proceedings Special issue No. 2 (2021) s. 257-265.
- Galkin S.V. et al. Detailed study of hydraulic fracturing of Kashiro-Verey rocks by electron microscopy. ANAS Transactions, Earth Sciences: 1/2022, s. 17-27; DOI: 10.33677/ggias20220100069

Məqalə "Energies" jurnalının 16-ci cildinin 1-ci nömrəsində (2023-ci il 1 yanvar) ingilis dilində dərc olunmuşdur.