

Принципи и критерии за оценка на граничните стойности на физичните параметри на колекторите

Васил Балинов¹, Мариана Дончева², Стоян Мичев²

¹ Минно-геоложки университет, 1156 София

² Научноизследователски институт по полезни изкопаеми, 1505 София

V. Balinov, M. Doncheva, S. Michiev — Principles and criteria for boundary values determination of the reservoirs physical parameters.

Methodological approach, criteria and practical procedures for the differentiation of the reservoirs from the rock formations are suggested. Two principally different approaches are used. One of them is bound to the lithology-physical differentiation of the rock cross-sections when defining the elements of the natural reservoirs. The second approach is suitable for given oil and gas fields conditions. It is bound to the differentiation of the different categories of productive reservoirs in order to evaluate the geological resources and the projection of their exploitation.

The suggested methodological approaches and criteria are illustrated on the example of the Low Jurassic sediments of the Marinov geran structure to which the hydrocarbon accumulation are bound.

Въведение

Проблемът за обосноваването на граничните стойности на основните физични параметри на колекторите във връзка с отделянето им в скални задруги с разнородни литолого-физични особености е бил обект на обсъждане от редица изследователи. Част от основните резултати са обобщени от Деметърев и др. (1980), Тулбювич (1990) и др. Без да анализираме тези изследвания, ще отбележим сложността на проблема, която произтича от редица фактори: характера на поставената задача; многообразието на конкретните условия; обема и достоверността на съществуващата информация и др. Тези фактори в значителна степен определят и принципните подходи и критерии при решаването му в конкретна обстановка.

При трактовката на поставения проблем могат да бъдат формулирани два принципно различни подхода. Първият е свързан с обосноваването на критерия за литолого-физичното разчленяване на скални разрези. Вторият подход е приложим в условията на конкретни нефтени и газови находища и е свързан с обосноваването на критерии за отделянето на различни категории продуктивни колектори.

Настоящото изследване третира някои аспекти, принципно подходи и съображения на поставения проблем. Те са илюстрирани върху конкретен обект — долноюрските пясъчници от Мариновгеранската структура, разположени в североизточната част на Ломската депресия, към която са привързани въглеводородни акумулации.

Подходи, критерии и реализация при литолого-физичното разчленяване на разрезите

Литолого-физичното разчленяване на разрезите се базира на комплексното изучаване на филтрационните и вместимостните свойства на скалите. По избрани количествени и качествени показатели в изследвания разрез се отделят проницаеми (колекторни) и труднопроницаеми (изолиращи) скали и литолого-физични тела, които при определени пространствени взаимоотношения формират различни типове природни резервоари. При такава предпоставка колекторните скали, които са отделени на основата на количествени и качествени критерии, представляват само възможна (потенциална) среда за акумулиране на въглеводородни флуиди. В този смисъл използваните критерии до голяма степен са формализирани и имат условен характер.

Принципният подход за решаване на така формулираната задача се свежда към следното: 1) избор на базов параметър и обосноваване на минималната му гранична стойност; 2) обосноваване на допълнителни количествени петрофизични критерии; 3) оценка на съпоставимостта на лабораторните параметри с определените по данни от количествената интерпретация на сондажно-геофизичните изследвания; 4) обосноваване на допълнителни количествени и качествени критерии, свързани с регистрацията (записа) при сондажно-геофизични изследвания; 5) практическа реализация на възприетия подход.

Предложеният подход, който е илюстриран на примера на конкретен обект, се основава на използването на данни от: визуалните полеви наблюдения на скален материал от 6 сондажа, микроскопските литоложки изследвания на 210 дюншлифа, стандартните лабораторни изследвания на 300 скални проби; количествената интерпретация на стандартни и специални сондажно-геофизични изследвания в 7 сондажа.

Съотношенията между количествените параметри, определени по данните от лабораторните изследвания, както и съпоставимостта им с определените по данните от сондажно-геофизичната интерпретация се базират на регресионния анализ на достатъчно представителни статистически съвкупности от петрофизични показатели.

За базов параметър е избрана абсолютната проницаемост, която определя принадлежност на скалите към групата на колекторните или изолиращите среди. Минималната гранична стойност на проницаемостта на колекторите е приета условно на основата на резултатите от изследванията на мезо- и неозойските наслаги в Северна България (Б а л и о в, 1975) и по литературни данни (Х а н и н, 1969). Тази стойност съставлява $0,1 \text{ fm}^2$. При най-благоприятно съчетание на други важни условия колектори от порен тип с такива стойности на проницаемостта могат да съдържат промишлени газове акумулации.

Данните за абсолютната проницаемост, получени от лабораторните анализи на ядков материал, не могат да бъдат използвани за литолого-физично разчленяване, т. е. за определяне принадлежността на скалите към колекторните или изолиращите среди, тъй като те характеризират сондажния разрез в отделни негови точки, и то само в интервалите на ядково сондиране. Това е валидно и за всеки допълнителен количествен параметър, определен по данни от лабораторните изследвания на ядкови проби. Поради тази причина на практика за литолого-физичното разчленяване на сондажните разрези се използват данни от количествената интерпретация на сондажно-геофизичните изследвания. Тези данни обаче не са достатъчно достоверни по отношение на основния количествен параметър — проницаемостта на разреза. Затова се прибегва към използването на редица количествени показатели (открита порестост, остатъчна водонаситеност, съдържание на глинеста компонента и др.), които се отделят достатъчно коректно както по данни от сондажно-геофизичната интерпретация, така и по лабораторен път.

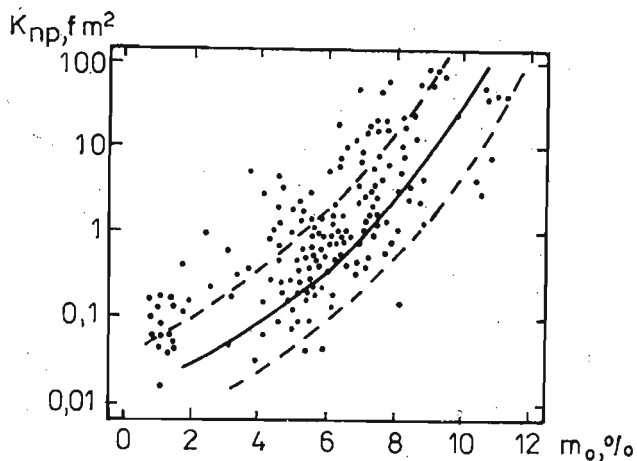
Граничните стойности на посочените допълнителни показатели се оценяват на базата на регресионен анализ чрез използване на данните от лабораторните изслед-

вания. За целта се изследват зависимостите на проницаемостта с всеки един от допълнителните показатели. Теснотата на връзката между посочените параметри е твърде различна, поради което на приетата минимална гранична стойност на проницаемостта съответствуват различни стойности на допълнителните параметри, разположени в съответния доверителен интервал. В този интервал стойностите на параметрите са неоднозначни, т. е. те могат да бъдат характерни както за колекторните, така и за изолиращите скали. Поради това е целесъобразно за всеки параметър да се определят две гранични стойности: а) долна (минимална), под която всички скали се класифицират еднозначно; б) горна (максимална), над която скалите се класифицират също еднозначно. Използването на средните гранични стойности в качеството на критерии, особено ако връзката не е достатъчно тясна, е некоректно.

Поради горните причини посочените гранични стойности на допълнителните параметри са необходими, но който и да е от тях не е достатъчен за еднозначно литолого-физично разчленяване. Това именно налага използването на по-голям набор от допълнителни критерии. Тяхната съпоставка в определена степен улеснява решаването на задачата.

Регресионният анализ, основаващ се на данните от лабораторните изследвания на ядровия материал от долноюрските наслаги в Мариновгеранската структура, позволява да се направят следните изводи:

1. Долната (минималната) гранична стойност на откритата порестост на пясъчниковите колектори съставлява 2% (фиг. 1). Това означава, че скалите, чиято открита порестост е по-ниска от посочената, принадлежат еднозначно към групата на трудно-проницаемите (изолиращите). Горната (максималната) гранична стойност на същия параметър е 6%. Скалите, чиято открита порестост превишава тази стойност, принадлежат еднозначно към групата на колекторите. В доверителния интервал, обхващащ междинните стойности (от 2 до 6%), скалите не могат да бъдат класифицирани еднозначно.

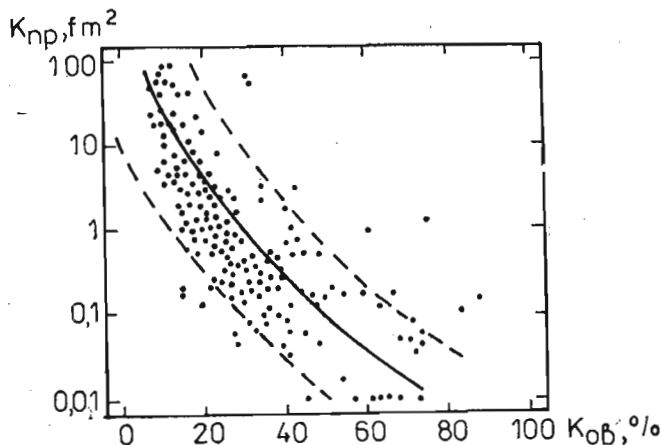


Фиг. 1. Зависимост между порестостта (m_0) и проницаемостта ($K_{пр}$) в долноюрските пясъчници от Мариновгеранската структура
Fig. 1. Relationship between porosity (m_0) and permeability ($K_{пр}$) in the Low Jurassic sandstones from Marinovgeran structure

2. Долната (минималната) гранична стойност на остатъчната водонаситеност съставлява 30% (фиг. 2). Скали, чиято остатъчна водонаситеност е по-малка от посочената стойност, еднозначно могат да бъдат отнесени към групата на колекторите. Горната (максималната) стойност на параметъра е 70%. Скалите, чиято остатъчна во-

донаситеност е по-голяма от тази стойност, еднозначно са отнесени към групата на труднопроницаемите. В доверителния интервал на стойностите на параметъра (от 30 до 70%) скалите не могат да бъдат класифицирани еднозначно.

3. Използването на параметъра относителна глинестост на пясъчниците в набора от допълнителни количествени показатели е невъзможно поради ниското съдържание



Фиг. 2. Зависимост между остатъчната водонаситеност ($K_{ов}$) и проницаемостта ($K_{пр}$) в долноюрските пясъчници от Мариновгеранската структура

Fig. 2. Relationship between water saturation ($K_{ов}$) and permeability ($K_{пр}$) in the Low Jurassic sandstones from Marinovgeran structure

на глинести минерали в спойката ($K_{гл} < 5\%$) и отсъствието на корелационна връзка с други параметри на скалите.

Практическата реализация на предложените подходи по разчленяването на разреза принципно се основава на използването на данните от количествената интерпретация на сондажно-геофизичните изследвания, които характеризират скалите по целия сондажен разрез. За целта посочените по-горе критерии се използват след обосноваване достоверността на съответните параметри, получени по сондажно-геофизичен път. Въпросът за съпоставимостта на основните физични показатели на долноюрските пясъчници, определени по данни от лабораторните и сондажно-геофизичните изследвания, е бил предмет на специални обсъждания (М и ч е в, 1986). Поради това за целите на настоящото изследване са въприети основните изводи, които утвърждават достоверността на разглежданите параметри.

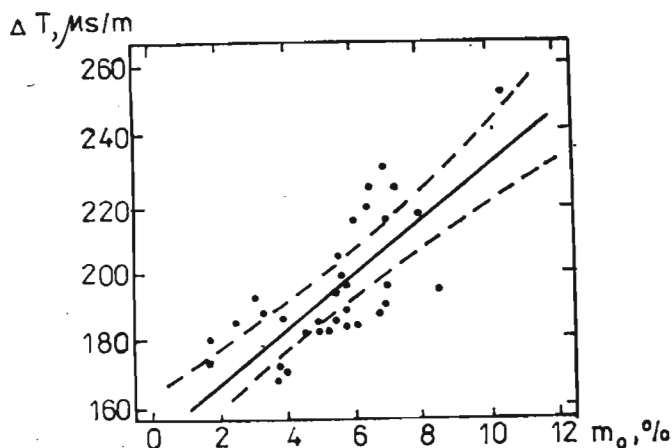
Особен интерес представлява обосноваването на допълнителни критерии, свързани непосредствено с регистрацията (диаграмата) на сондажно-геофизичните изследвания. Намирането на такива критерии предоставя възможности за непосредствено използване на съответните записи за литолого-физично разчленяване на разреза.

За условията на долноюрския разрез от Мариновгеранската структура използването на параметъра $a_{сп}$ (относителна амплитуда) от кривата на собствените потенциали (ПС) е невъзможно поради ниското съдържание на глинестата компонента в спойката на пясъчниците, относително високата карбонатност и нефтонаситеността на скалите.

В конкретния случай се оказва целесъобразно използването на параметъра ΔT (интервалното време) по акустичния каротаж (АК). Той се корелира добре с откритата порестост (фиг. 3), а от друга страна, неговото непосредствено отчитане на диаграмата позволява достатъчно детайлно разчленяване на разреза.

Като се имат предвид посочените анализи и изводи за разчленяване на долноюрския разрез, е приет следният практически подход:

1. Като базова се използва диаграмата на акустичния каротаж (АК). По нея се отчита интервалното време ΔT , което се корелира сравнително добре с откритата порестост на разреза.



Фиг. 3. Зависимост между порестостта (m_0) и интервалното време (ΔT) в долноюрските пясъчници от Мариновгеранската структура

Fig. 3. Relationship between porosity (m_0) and interval time (ΔT) in the Low Jurassic sandstones from Marinov geran structure

2. За минимална гранична стойност на откритата порестост на изучаваните колектори е приета условно средната гранична стойност ($m_0=4\%$), съответстваща на проникваемост $0,1 \text{ fm}^2$ от корелационната зависимост (фиг. 1).

3. Граничните стойности на ΔT (долна и горна), съответстващи на приетата средна гранична стойност на откритата порестост ($m_0=4\%$), съставляват съответно $\Delta T_{\min}=177 \mu\text{s/m}$ и $\Delta T_{\max}=187 \mu\text{s/m}$ (фиг. 3).

4. По диаграмата на АК се извършва литолого-физичното разчленяване на разреза:

а) когато ($\Delta T < \Delta T_{\min}=177 \mu\text{s/m}$), съответната част от разреза е отнесена към изолиращите скали;

б) когато ($\Delta T > \Delta T_{\max}=187 \mu\text{s/m}$), съответната част се отнася към колекторните скали;

в) когато ($\Delta T_{\min} > \Delta T > \Delta T_{\max}$), отнасянето на съответната част от разреза към едната или към другата група скали се предшества от анализ на допълнителните количествени критерии (открита порестост, остатъчна водонаситеност), както и на някои качествени показатели.

Въприетите и коментирани критерии и подходи за литолого-физично разчленяване на разрезите се отнасят за порести среди, каквито представляват ненапуканите пясъчници в долноюрския разрез. Присъствието на напукани интервали, в които са развити хоризонтални пукнатини по наслояването, определя необходимостта от обосноваването на допълнителни критерии за отделянето и на други типове колектори: пукнатинен и смесен. Въпросът за отделянето им в разреза е свързан с установяването на напуканите интервали и с оценката на филтрационните и вместимостните свойства на порното пространство.

За отделяне на напуканите интервали са използвани следните критерии: 1) визуалните поледи наблюдения на ядковия материал от сондажите; 2) данните от лабо-

раторните и микроскопските изследвания на скалния материал; 3) данните от количествената интерпретация на сондажно-геофизичните изследвания. Повишените стойности на интервалното време по АК ($\Delta T_{ck}=164 \div 167 \mu s/m$) в сравнение с характерните за колекторите от порен тип ($\Delta T_{ck}=159 \div 161 \mu s/m$), а също така по-високите стойности на порестостта по АК в сравнение с определената по НГК характеризират съответните интервали като напукани; 4) данните от изследванията на сондажите на приток. Тези данни обаче показват някои специфични особености, които не са характерни за напукани зони (Б а л и н о в, Д о н ч е в а, 1992). Поради техния локален характер по условия на филтрация колекторите с ефективна междузърнова вместимост се доближават до порния тип. Във връзка с това те са категоризирани като пукнатинно-порен тип за разлика от порно-пукнатинните колектори, при които филтрацията се осъществява основно по пукнатинната система. Горният извод се потвърждава и от отсъствието на приток от плътни напукани зони, в които са отделени пукнатинен тип колектори. Такива зони трябва да се изключват от ефективния обем на пласта.

Подходи, критерии и реализация при конкретни находища

При изучаването на конкретни въгледородни промишлени акумулации съществен интерес представлява отделянето на продуктивните колектори. Към тази група се отнася онази част от колекторите в разреза, която при конкретните условия на реалната пластова система може да отдава съдържащите се в нея въгледородни флуиди. Поради това оценката на граничните стойности на параметрите се основава на изследванията на сондажите на приток. В зависимост от целите на конкретното изследване на въгледородните акумулации се прилагат два подхода. Единият е свързан с оценката на балансните геоложки запаси от въгледороди, а вторият — с проектирането на разработката на находищата.

При първия подход при минималните гранични стойности на параметрите на колекторите относителната продуктивност на изследваните интервали клони към нула. При такива условия сумата от дебелината на тези интервали съставлява ефективна нефто-газонаситена дебелина, която се използва при изчисляване на балансните геоложки запаси.

При втория подход минималните гранични стойности на параметрите на колекторите определят такива условия, при които относителната продуктивност на интервалите съответствува на предварително обоснована стойност на минималния рентабилен дебит.

Състоянието на изученост на долноюрските акумулации в Мариновгеранската структура не предоставя благоприятни възможности за реализация както на единия, така и на другия подход. Независимо от това на настоящия етап практически интерес представляват изясняването на промишлената стойност на акумулациите и оценката на геоложките запаси от въгледороди, поради което се прави опит за приложение на първия подход.

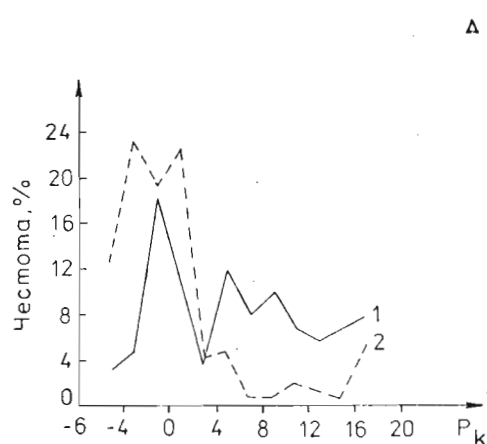
Известни са различни начини за решаване на тази трудна задача (Д е м е н т ъ в и др., 1980; Т у л ь б о в и ч, 1990). Предлаганият в настоящата работа се заключава принципно в следното: 1) избор на базов петрофизичен параметър; 2) изследване зависимостта на относителния коефициент на продуктивност с избрания базов параметър; 3) определяне на граничната стойност на базовия параметър, при която относителната продуктивност клони към нула; 4) изследване зависимостта на базовия параметър с други количествени параметри, които са свързани непосредствено с регистрацията (записа) на сондажно-геофизичните изследвания; 5) определяне на минималната и максималната стойност на избрания геофизичен параметър, съответстващи на граничната стойност на базовия параметър; 6) практическа реализация на възприетия подход.

При избора на базов физичен параметър на скалите се изхожда от следните предпоставки: а) да бъде свързан с продуктивността на пласта; б) да подлежи на масова и достоверна оценка по лабораторен и сондажно-геофизичен път; в) да бъде свързан с количествени параметри, които характеризират диаграмата (записа) на съответните сондажно-геофизични изследвания.

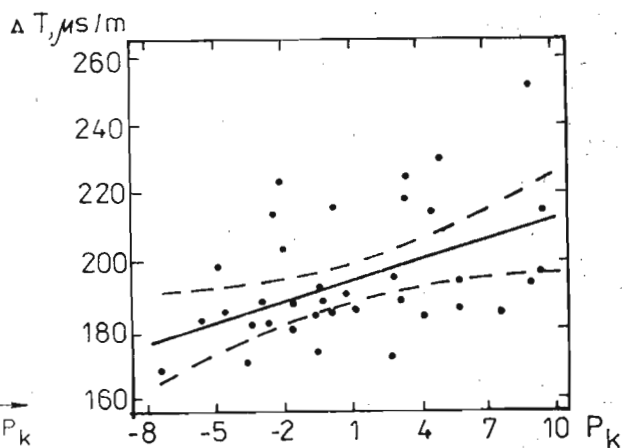
От физичните показатели на скалите, които биха могли да бъдат използвани като базови, интерес представляват двата основни параметъра — абсолютната проницаемост и откритата порестост. Първият от тях най-добре отразява филтрационната характеристика на пласта и обуславя в значителна степен продуктивността на сондажите. Той обаче не отговаря на другите две изисквания, т. е. не подлежи на достоверна оценка по сондажно-геофизичен път и не е свързан с регистрацията (записа) на някои от прилаганите сондажно-геофизични методи. Откритата порестост отговаря на последните две изисквания, но не е свързана непосредствено с продуктивността на пласта.

Следователно използването на всеки един от тези параметри в самостоятелен вид като количествен базов е нецелесъобразно. Поради това се оказва възможно използването на комплексния параметър $P_k = m \cdot \lg K$, предложен от Дементьев и др. (1980).

Въпросът за определянето на минималната гранична стойност на комплексния параметър съгласно с възприетия подход се базира на регресионния анализ и се свежда до намирането на корелационна зависимост между този параметър и относителната продуктивност на съответните интервали от разреза, към който е привързана въглеводородната акумулация. Този подход обаче за конкретния случай не е приложим поради отсъствие на достатъчен брой режимни изследвания. Във връзка с това е приложен друг подход, който се базира на построяването и съпоставянето на кривите на разпределение на този параметър за продуктивните и непродуктивните интервали (фиг. 4). Групирането на интервалите е извършено на базата на резултатите от попъл-



Фиг. 4. Разпределение на комплексния параметър P_k : 1 — за продуктивните интервали; 2 — за непродуктивните интервали
Fig. 4. Distribution of complex parameter P_k : 1 — in productive intervals; 2 — in non productive intervals

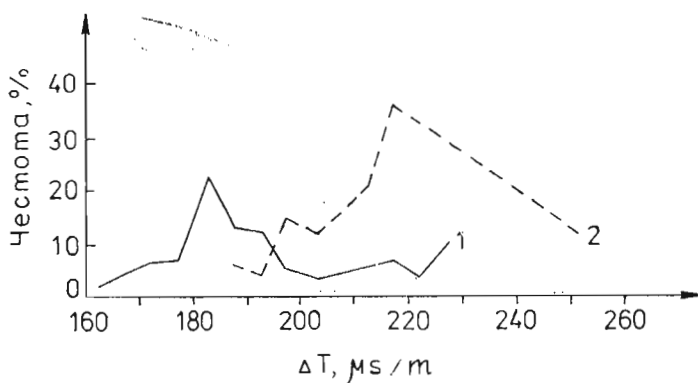


Фиг. 5. Зависимост между комплексния параметър P_k и интервалното време (ΔT)
Fig. 5. Relationship between complex parameter P_k and interval time (ΔT)

ните и режимните изследвания на сондажите. За условията на Мариновгеранските въглеводородни акумулации, привързани към долноюрските пясъчници, определената по този начин стойност съставлява $P_k = 3$. Ориентировъчно такава стойност е оценена и при съпоставката на данните от изпитанията за интервалите в които не е получен

приток, или пък дебитът от флуиди е незначителен, със средните стойности на параметъра P_k за тези интервали.

Съпоставката на данните за параметъра P_k с други количествени параметри, свързани непосредствено с регистрацията (записа) на сондажно-геофизичните изследвания, показва сравнително добра корелационна връзка на P_k с интервалното време ΔT



Фиг. 6. Разпределение на интервалното време (ΔT): 1 — за продуктивните интервали; 2 — за непродуктивните интервали
 Fig. 6. Distribution of interval time (ΔT): 1 — in productive intervals; 2 — in non productive intervals

(фиг. 5). За приетата гранична стойност ($P_k=3$) долната гранична стойност на параметъра ΔT съставлява $185 \mu s/m$, горната гранична стойност е $210 \mu s/m$, а средната — $195 \mu s/m$. Условно може да се смята, че интервалите, за които стойността на параметъра ΔT е по-малка от долната гранична стойност, не принадлежат към продуктивните колектори. При стойности на ΔT , по-големи от горната гранична стойност на този параметър, съответните интервали принадлежат към продуктивните колектори. В доверителния интервал, заключен между долната и горната гранична стойност на ΔT , отнасянето на съответните интервали от разреза към едната или към другата група не е еднозначно. Поради приблизителния и до голяма степен условен характер на получените зависимости за практическото отделяне на продуктивните колектори в разреза е използвана средната гранична стойност на параметъра ($\Delta T=195 \mu s/m$). Аналогична на тази е и граничната стойност, получена чрез съпоставяне на разпределенията на интервалните времена на продуктивните и непродуктивните интервали, отделени по данните от изпитанията на сондажите (фиг. 6).

Изложените подходи и критерии за отделяне на продуктивните колектори, които са приложени на примера на долноюрските акумулации в Мариновгеранската структура, са валидни както за ненапуканите, така и за напуканите интервали на разреза. Това е обусловено от специфичния характер на пукнатинния модел на пласта, при който пукнатинните системи нямат определяща роля във филтрационните процеси. Поради това напуканите интервали в плътните зони, които условно са отнесени към пукнатинния тип колектори, трябва да се изключват от ефективната дебелина на разреза.

Заклучение

Обосновани са два принципно различни подхода за оценка на граничните стойности на физичните параметри на скалите във връзка с отделянето на колекторите в седиментни разрези: а) за целите на литолого-физичното разчленяване на разрезите във връзка с дефинирането на природните резервоари; б) за условията на конкретни промишлени

въгледородни акумулации с цел отделянето на различни категории продуктивни колектори във връзка с изчисляването на геоложките запаси и проектирането на работката.

Обоснован е комплекс от количествени и качествени критерии за отделянето на различни категории колектори в седиментни разрези и конкретни находища, които се основават на анализа на данните от лабораторните изследвания на скални проби, количествената интерпретация на материалите от сондажно-геофизичните изследвания и изследванията на сондажите на приток.

Разработени са практически процедури за реализация на предложените принципни подходи и критерии за отделянето на колекторите за условията на долноюрските наслаги в Мариновгеранската структура, към които са привързани въгледородни акумулации.

Литература

- Балинов, В. 1975. *Филтрационни и вместимостни свойства на естествените проницаеми среди и закономерности в тяхното изменение и разпространение в мезо-кайнозойските отложения от Северна България*. Дисертация. 403 с.
- Балинов, В., М. Дончева. 1992. *Природни резервоари в долноюрския разрез на Мариновгеранската структура*. — Год. МГУ (под печат).
- Дементьев, Л. Ф., Ф. С. Акбашев, В. М. Файнштейн. 1980. *Изучение свойств неоднородных терригенных нефтеносных пластов*. М., Недра. 211 с.
- Мишев, С. А. 1986. *Методика учета глинистости при промышленной оценке терригенных коллекторов методами ГИС (на примере мезозойских отложений НРБ)*. Дисертация. 155 с.
- Тулбович, Б. И. 1990. *Петрофизическое обеспечение эффективного извлечения углеводородов*. М., Недра. 186 с.
- Ханин, А. А. 1969. *Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение*. М., Недра. 366 с.

(Постъпила на 29. IV. 1991 г.)