

## ПРИРОДЕН ГАЗ В СЛАБОПРОНИЦАЕМИ ТЕРИГЕННИ ФОРМАЦИИ (TIGHT GAS)

**Ефросима Занева-Добранова**

*Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, geoenergy@mgu.bg*

**РЕЗЮМЕ.** Изучаването на скалите като колектори за природен газ, от гледна точка на техните специфични петрофизични особености, е от съществено значение за прогнозирането на зони с различни от общоприетите схващания за акумулативните им характеристики. В световната практика все по-голяма популярност придобиват зоните на разпространение на природен газ, характеризиращи се с относително ниски колекторски свойства. В англоезичната литература е прието наименованието Tight Gas. Под него се разбира природен газ съдържащ се в теригенни скали, които са ненапукани, с високо съдържание на циментиращо вещество, с размери на порните канали непревишаващи 0,1  $\mu\text{m}$ , с проникваемост на матрицата по-ниска от 0,1 md, високо съдържание на остатъчна водонаситеност и с определена механична устойчивост. Общите ресурси от Tight Gas, в световен мащаб се оценяват на над 45 000 млрд.  $\text{m}^3$ , което показва тяхната значимост, като перспективни източници за добив на природен газ. Прегледът на специализираната литература, позволява да бъдат отделени някои общи закономерности по отношение позицията, разпространението, свойствата на слабопроницаемите теригенни наслаги и други характерни признаци, които позволяват насочване на проучвателните и добивните дейности. От значение е прогнозирането на подобни зони на разпространение на Tight Gas и в рамките на България, с цел осъвременяване на съществуващите познания и проучването на подходящи за осъществяването на добив обекти.

### NATURAL GAS FROM LOW PERMEABLE TERRIGENOUS FORMATIONS (TIGHT GAS)

**Efrosima Zaneva-Dobranova**

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, geoenergy@mgu.bg*

**ABSTRACT.** The study of rocks as collectors for natural gas in terms of their specific petrophysical characteristics is essential for predicting the areas other than the conventional notions of their accumulative characteristics. In the world practice the zones of distribution of natural gas are increasingly gaining popularity, characterized by relatively low collectors properties. The name Tight Gas was adopted in the English literature. This specific term holds the meaning of a natural gas contained in terrigenous rocks that are uncracked, high in a pack, the size of a pore channel not exceeding 0,1  $\mu\text{m}$ , with the matrix permeability of less than 0,1 md, high residual water saturation and certain mechanical resistance. The total supply of Tight Gas, globally estimated at over 45 000 billion  $\text{m}^3$ , shows their importance and quality of a promising sources of natural. A review of the specialized literature allows to separate some general laws regarding the position, distribution, properties of poorly permeable terrigenous sediments and other traits that allow targeting of exploration and mining activities. The prediction of such zones of distribution of Tight Gas and within the territory of Bulgaria is important due to the modernization of the existing knowledge and research of appropriate for carrying out the extraction sites.

### Въведение

Изучаването на скалите като колектори за природен газ, от гледна точка на техните специфични особености (резервоарни свойства), е от съществено значение за прогнозирането на зони с различни от общоприетите схващания за акумулативните им характеристики. Част от теригенните разновидности при определени условия, се отнасят към категорията на слабопроницаемите, а съдържащите се въглеродороди са с газов фазов състав - Tight gas.

В световната специализираната литература за този тип газ се споменава от втората половина на миналия век, след откриването на обширни пространства на наситени с природен газ слабопроницаеми теригенни скали.

По мнение на редица изследователи (Naik, 2010; Abdelaziz et al., 2011), добив на природен газ от неконвенционални източници, в това число и от слабопроницаеми наслаги, в близко бъдеще ще има изключително важно значение. То се определя от

тенденцията за намаляващите добиви на газ от конвенционални находища и повишаване на цените; все още високата зависимост от въглеродородни енергийни суровини; бурното развитие на техниката и технологиите, които стават в по-голяма степен екологосадищи и започват да придобиват първостепенно значение; отсъствието на значителни по мащаб и много по-скъпи възобновляеми енергийни източници и др.

Целта на настоящето изследване е извеждането на геоложките и резервоарните закономерности, които характеризират слабопроницаемите теригенни тела и отделяне на онези територии от Северна България, в които са възможни перспективни за Tight Gas скали с ниски колекторски свойства.

### Състояние и актуалност на проблема

**Формации с газонасищане в слабо проницаеми теригенни скали.** Природен газ (Tight Gas) се добива от райони, на територията на САЩ, Канада, Австралия,

Мексико, Венецуела, Аржентина, Индонезия, Китай, Русия, Египет, Саудитска Арабия и др.

Пионер в проучването и добива на Tight Gas са САЩ, където през 1960 г. в басейна San Juan са започнали първите изследователски работи. Басейнът е разположен на север от Ню Мексико и южно от Колорадо и съдържа огромни запаси от газ, вместен в разновъзрастни плътни теригенни пластове. Газонаситени зони са установени в района на Калгари в басейна Piceance. Те са с дебелина над 76 m. От тях се добиват по 14 000 m<sup>3</sup>/d газ.

Сериозен потенциал на Tight Gas има в района на Скалистите планини, където доказаните запаси през 2000 г. са от порядъка на 0,7 трл. m<sup>3</sup> газ, през 2004 г. са нараснали на 1,2 трл. m<sup>3</sup> (по оценки на Геоложката служба на САЩ), а потенциалните ресурси от природен газ от района на Северните велики равнини могат да надминат 2,8 трл. m<sup>3</sup>.

В басейна Uinta, разположен североизточно от щата Юта, са добити над 0,03 трл. m<sup>3</sup> газ, а остатъчният потенциал се оценява на 0,9 трл. m<sup>3</sup>. По оценки на Геоложката служба на САЩ, непроучените ресурси от газ в района на Енглфуд в щата Колорадо съставляват 0,2 трл. m<sup>3</sup>.

Недалече от Мексико, в Южен Тексас, Tight Gas се съдържа в плътни пясъчници, с проникваемост от 0,1 до 1,5 md, изолирани от глинести скали с ранноеоценска възраст, попаднали в усложнена поднавлачна тектонска структура с дебелина на наслагите от 150 до 360 m, разположени на дълбочина от 1500 до 3600 m.

В теригенната зона Lobo запасите от Tight Gas се оценяват на над 0,1 трл m<sup>3</sup>.

По данни на Working Document of the NPC Global Oil and Gas Study (July 18, 2007), ресурсите от Tight Gas обезпечават почти 20% от добиваните количества от газ в САЩ и представляват важна част от извлекемите запаси на природен газ. Сумарно в САЩ се предполагат ресурси от порядъка на 400 трл. m<sup>3</sup> газ от плътни теригенни скали.

Уникалната газова зона на Tight Gas е установена в района на Sulige, разположен на север от централната част на басейна Ордоса (Китай). Зоната на газонасичане е с предполагаема площ от 40000 km<sup>2</sup> и съдържа ресурси на природен газ от порядъка на 1,68 трл. m<sup>3</sup>. Тя е изключително сложно построена и представлява съвкупност от пясъчни лещи, барове по долина на палеорека, акумулативни тела и пластове, с широк стратиграфски и дълбочинен диапазон.

В нефтогазоносните басейни, разположени на територията на Русия, 50% от прогнозните ресурси принадлежат към участъци с развитие на слабопроницаеми скали (Аполонов и Лебедев, 2000).

Общите ресурси от Tight Gas, в световен мащаб се оценяват на 45,6 трл. m<sup>3</sup>. С най-високо процентно участие на настоящия етап са САЩ и Канада, следва

Тихоокеанският регион (Китай и Австралия) (Haines, 2006; Victor Hein, 2009).

**Терминологични особености.** В английската специализирана литература, като терминологичен аналог на природния газ, който се съдържа в слабопроницаеми скали, е прието наименованието „Tight Gas“ (Law and Curtis, 2002). В рускоезичната литература (Филиппов, 1967) се употребява словосъчетанието „плотные коллектора газа“. В българската специализирана литература отсъства общоприето наименование на типа природен газ, който се съдържа в теригенни резервоарни скали с ниски вместимостни и филтрационни качества. Най-често употребяваните термини за литоложките разновидности, които съдържат природен газ от подобен тип, са „слабопроницаеми литолого-физични тела“ (Балинов и др., 1977), „скали с междинни свойства“ (Монов, 1973), „коллектори с подкондиционни параметри“ (Занева-Добранова, 2002). В основата на формулировките са поставени петрофизичните свойства на скалите. Като гранични, кондиционни стойности, в зависимост от специфичната геоложка обстановка и конкретния изследователски мироглед, са заложени различни количествени показатели. По-голяма част от изследователите приемат стойности на проникваемостта равна и по-ниска от 0,1 md (Haines, 2006, Perry and Lee, 2007), но има и други, които приемат стойност на проникваемост около и по-ниска от 0,6 – 0,4 md (China National Petroleum Corporation, 2006; German Society for Petroleum and Coal Science and Technology, 2010).

Според общоприетата у нас класификация на колекторите на Ханин (1969) и др., теригенни скали с проникваемост между 0,1 и 1 md се отнасят към групата на нископроницаемите (клас V), а с проникваемост по-ниска от 0,1 md – твърде нископроницаеми (клас VI). Прието е, че колекторите от V клас могат да представляват промишлен интерес само за газови залежи, а тези, които са причислени към VI клас нямат промишлено значение. В подобна логическа последователност е и групирането на скалите по отношение тяхната екранираща способност. Група E и F отговарят съответно на газопроницаемост по-ниска и равна на 0,1 md., с размер на порните канали в интервала 0,1 – 1 мμ. Екраниращата им способност е ниска и твърде ниска.

Независимо от смисъла, който се залага в наименованието, това е природен газ, със значителен потенциал в световен мащаб, който се разполага в различни по литоложки състав наслаги. Засилен интерес на настоящия етап предизвикват тези, които са изградени от теригенни по състав скали - пясъчници и алевролити. Такива, които са: с най-високо съдържание на циментиращо вещество; с размери на порните канали непревишаващи 0,1 мμ; високо съдържание на остатъчна водонаситеност и с определена механична устойчивост. Към тази група някои изследователи (Naik, 2010 и др.) причисляват и карбонатните скали (варовици, доломити, възможно халит или анхидрит), но поради техните специфични свойства (първичен състав, склонност към напукване, окаряване и др.), които се проявяват в различни етапи от литогенезата, по-голяма част от тях по-скоро представляват интерес като характерен тип колектор за конвенционални въглеводородни акумулации.

Таблица 1.

Общи закономерности, характеризиращи зоните със слабопроницаеми тела, наситени с газови въглеводороди (Naik, 2010, с допълнения).

Закономерности	Кратко описание
Географска позиция	Практически на всички географски ширини
Площ	От няколко десетки до няколко стотици квадратни километра, в площи, значително по-големи от тези на конвенционалните нефтени и газови находища
Привързаност	Регионална нефтогазоносност с широк стратиграфски диапазон в близост до нефтогазогенериращи скали, до въгленосни образувания, силно уплътнени и незасегнати от вторично тектонско напукване скали в различни участъци на басейна (централни, често привързани към конвенционални находища и периферни), навсякъде, където съществуват благоприятни условия за формиране на природни резервоарни скали
Условия и среда на седиментация	Морски, крайбрежни, лагунни, континентални басейни, субаквална среда, анаеробна геохимична обстановка при относително преобладаващо потъване на седиментния басейн, в континентални условия при натрупване на въгленосни наслаги
Литотипове	Различни по състав скали, но основно теригенни
Морфология	Пластове, прослойки, лещовидни участъци, древни речни корита, барове и др. с разнообразни конфигурации и размери, морфология често контролирана от физическите параметри на скалите (капиларна бариера); съчетание на литоложка с хидродинамична бариера
Тип на капана	Структурни, стратиграфски, литоложки, най-често различни от тези на конвенционалните въглеводородни находища, без строго определена геометрия
Ресурси	Големи ресурси, съпоставими с тези от конвенционалните находища на газ
Пластова система	Многослойна обширна нееднородна система, характеризира се със сложни пространствени взаимоотношения между скалните асоциации; изискваща комплексни изследователски работи, геоложко и хидродинамично моделиране и симулации
Взаимоотношение с водата	Водогазов контакт обикновено отсъства, повсеместно водонаситени скали, многофазно насищане
Налягане	Нормално хидростатично до повишено (анормално)
Проницаемост, порестост	Проницаемост по-ниска от 0,1 md и порестост под 10%
Размер на филтриращите канали	В преобладаващата си част не превишаващи 0,1 $\mu$ m
Механична устойчивост на скалите	Повишена плътност и устойчивост (модул на Юнг)
Коефициент на извличане	Нисък - както за природния газ, така и за водата
Дебити на сондажите	Дебитите са ниски, а запасите се усвояват по специално разработена схема

## Дискусии и резултати

**Закономерности, характеризиращи зони на развитие на слабопроницаеми тела, наситени с газови въглеводороди.** Прегледът на специализираната литература, във връзка с изучаването на широк кръг от въпроси, свързани с присъствието на газ в слабопроницаеми скали (Tight Gas), позволява да бъдат отделени някои общи закономерности по отношение позицията, разпространението, свойствата на вместващите наслаги и други характерни критериялни признаци (табл. 1).

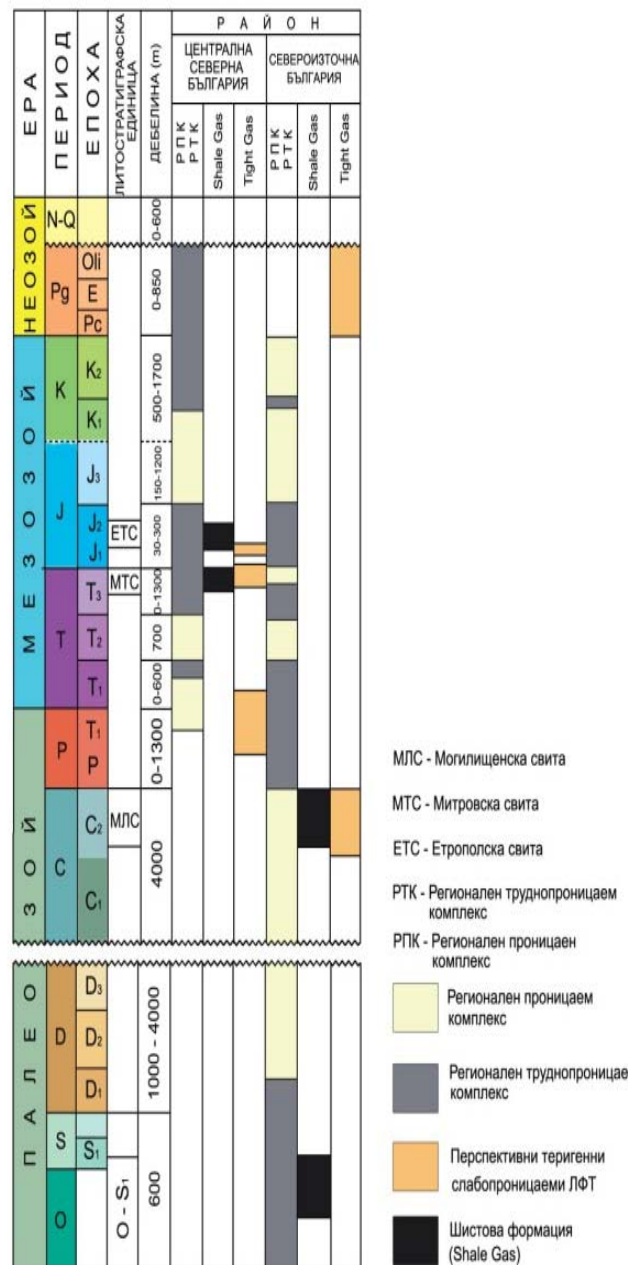
Анализът на геоложките и резервоарните закономерности показва близко родство, между слабопроницаемите скали, съдържащи Tight Gas и теригенните колектори на природен газ. При определени условия слабопроницаемите скали, съдържащи Tight Gas, могат да се разглеждат и като конвенционални източници. Това най-вече се отнася за онези от тях, които са елементи от нееднородността на многослойна пластова система, характеризираща се със сложни пространствени взаимоотношения между скалните асоциации. Едновременно с това, прегледът на установените формации в световен мащаб показва, че индивидуалното им присъствие е

значително, морфологията е разнообразна, а привързаността им е към различни части на басейните с широк стратиграфски диапазон. Следователно, съществената разлика следва да се търси не толкова в геоложките условия на образуване, колкото в спецификата на проучването им и технологиите за стимулиране на добива.

**Слабопроницаеми теригенни тела, перспективни за Tight Gas в Северна България.** Като важни фактори за отделянето на перспективни слабо проницаеми теригенни тела, са използвани литолого-фазиалните, постседиментационните, петрофизичните (вместимост, проницаемост, капиларометрични характеристики) свойства на теригенните скали, сондажно-геофизичните изследвания и данните от изпитанията на сондажите на приток. Като количествен критерий е използвана оценяващата скала за филтрационните свойства на скалите (Балинов и др., 1977; Дешев, 1980), и оценяващата скала за екраниращите свойства на труднопроницаемите скали (Йорданов и др., 1985). Възприетата гранична стойност на абсолютната проницаемост е 0,1 md, която съответства на клас на проницаемост на колектора - IV, V, група на флуидоупорите - E, F. Въз основа на тези показатели в границите на Северна България са отделени възможно перспективни хроностратиграфски и литостратиграфски единици, които съдържат газ в слабопроницаеми теригенни литолого-физични тела (фиг. 1) в: *палеозоя (горнокарбонско, пермо-триаско); мезозоя (горнотриаско-долноюрско, долно-средноюрско); неозоя (долно-средноеоценско, горноеоценско и олигоценско).*

**Горнокарбонско слабопроницаемо теригенно тяло.** Отделено е в границите на Добруджанския въглищен басейн, където разрезът на Палеозоя е относително добре изучен. В него са обединени няколко литостратиграфски единици, залягащи между въглищните пластове. Това са Гурковската, Полянската, част от Крупенската, Македонската, Вранинската, част от Могилищенската и Велковската свита. Те са изградени от относително еднородни литоложки типове – дребно- до грубозърнести масивни пясъчници, преминаващи и редуващи се с прослойки от гравелити, конгломерати, конгломератни късове от вулкански скали. Анализът на съществуващата информация за техните колекторски свойства показва, че скалите са с ниски петрофизични свойства и невысока степен на газонаситеност. На настоящия етап на изученост не е възможна оценка на газовият потенциал.

**Пермо-триаско слабопроницаемо теригенно тяло.** Разкрито е в Северозападната и Централната част на Предбалкана в единични сондажни разрези. Наслагите залягат на дълбочина от 3000 до 5500 m. Те са представени от пясъчници и алевролити, с междузърнеста вместимост средно около 1,5% и проницаемост на матрицата - около 0,1 md. Скалите са обхванати от тектонско напукване, което е предпоставка за подобряване на филтрационните им свойства на места.



Фиг.1. Обобщена схема на литолого-физично разчленение на фанерозойския разрез на Северна България с отделяне на перспективни теригенни слабопроницаеми тела (Занева-Добранова и др., 2012)

**Горнотриаско-долноюрско слабопроницаемо теригенно тяло.** Разкрито е в част от Западния Предбалкан и Ломската депресия. Хроностратиграфски обхваща теригенните наслагии на Карн-Хетанж-Синемюра (Главашка и Бачийщенска свита). Утайките са с плитководен генезис, образувани в динамични условия на седиментация (реки, плитководни морски басейни, в области на действия на теченията), с ниско съдържание на  $S_{org}$ . Основните литотипове са дребно- и среднозърнести пясъчници и алевролити, неравномерно глинести и варовити, с междузърнеста вместимост до 8% и газопроницаемост на матрицата около и по-ниска от 0,1 md, високо съдържание на порни канали с размер под

0,1 т/м и високо съдържание на остатъчна водонаситеност (над 70%). Скалите са силно уплътнени и неравномерно напукани. В платформената част залягат на дълбочина от 2900 до 3900 m.

**Долно-средноюрско слабопроницаемо теригенно тяло.** Обхваща значителна част от Предбалкана, Ломската депресия, Западната и Централна част на Мизийската платформа. В състава му влизат теригенно-карбонатните и теригенните наслаги на Плийнсбаха до Байоса (Долнолуковитски член на Озировската свита, Кичерска свита и Лопянски член на Етрополската свита). Теригенните скали са с ниски петрофизични свойства, класове IV-V по проницаемост. Те са плътни, на места крехки и напукани, с тенденция на увеличаване на степента на напукване в близост до регионалните тектонски разломи. При изпитания от единични сондажи са получени слаби притоци на газ и вода с разтворен газ.

**Долно-средноеоценско слабопроницаемо теригенно тяло.** Установено е в Долнокамчийското понижение. Обхваща различни нива на конгломератната задруга и Долночифлишкия член на Авренската свита. Представено е от плиткоморски пясъчници, алевролити, мергели, а на места и крайбрежни и флувиално-естуарни конгломерати. Локалитетите с ниски вместимостни и филтрационни свойства обхващат централните райони на понижението в неговата сухоземна част (около Шкорпиловци и Старо Оряхово). Те са неиздържани в латерално и вертикално направление. Дебелината на пластове се изменя в границите на 50-100 m.

**Горноеоценско слабо проницаемо теригенно тяло.** Обхваща различни нива на горноеоценския разрез на Долнокамчийското понижение. Има локално развитие. Привързано е към различни нива на Долночифлишкия член на Авренската свита. Изградено е от пясъчници и пясъчливи мергели. Нееднородно е по строеж. Обхваща от две до четири проницаеми литолого-физични тела, в които колекторските свойства на скалите бързо се променят в латерална и вертикална посока. Скалите са IV и V класове по проницаемост. Преимуществено са развити в крайните части на понижението.

**Олигоценско слабопроницаемо теригенно тяло.** Обхваща различни нива в Русларската свита. Установено е в границите на Варненската моноклинала и Долнокамчийското понижение. С изключение на района на Приселци, и на централната и южната част на Долнокамчийското понижение, слабопроницаемостта литолого-физично тяло има широко разпространение. Основните литоложки типове са пясъчници и алевролити с прослойки от глини. Дебелината на теригенните скали се изменя от няколко до над 100 m. Колекторските свойства са слабо изучени, но повишените съдържания на глинеест материал предполага техните невисоки показатели.

## Заклучение

Прегледът на световния опит за присъствие на природен газ в плътни слабопроницаеми теригенни скали показва, че те съдържат значителен газов потенциал, който ги

добривава по значимост до конвенционалните въглеводородни находища. Независимо от факта, че тяхното проучване и добив се нуждаят от прилагането на специфични методи и технологии, те придобиват все по-голяма актуалност, засилен икономически интерес и стимулиране въвеждането на екологосъобразни технологии за извличане.

Целенасочени изследвания, свързани с проучването и извличането на природен газ от плътни, слабопроницаеми теригенни скали в България не са провеждани. До този момент те са разглеждани като „междинен елемент“ на резервоарните системи и несправедливо пренебрегвани. Отделените възможно перспективни, слабопроницаеми теригенни тела във фанерозоя на Северна България, обект на разглеждане в настоящето изследване, се нуждаят от допълнително изучаване, както от гледна точка на тяхната позиция в разреза и геометрия, така и от гледна точка на техните резервоарни свойства и съдържащия се в тях газов потенциал. От значение е детайлизирането на подобни тела, съдържащи Tight Gas, не само в рамките на Северна, но и в останалата част на България, където са налице благоприятни общогеоложки предпоставки за тяхното присъствие. Това ще доведе до осъвременяване на съществуващите познания и насочването на проучвателните дейности към подходящи за осъществяването на добив обекти.

В интерес на българското общество и професионалните среди е познанието върху особеностите за проучване и добив на алтернативни енергийни ресурси, не само от плътни, слабопроницаеми скали, но и от други източници.

## Литература

- Аполонов С. В., Б. А. Лебедев. 2000. Геодинамический анализ и стратегия нефтегазопоисковых работ в осодочных бассейнах России. - *Разведка и охрана недр*, 6, 8-12.
- Балинов, В., Р. Венева, Е. Дешев. 1977. Оценяваща класификационна схема и литолого-физична характеристика на порвите колектори в Северна България. – *Нефтена и въгл. геология*, 6, 41-52
- Дешев, Е. 1980. Модел от петрофизични и геолого-промишлени показатели за класифицирането на междузърнестите колектори (на примера на палеогена на Североизточна България). – *сп. БГД*, 41, 1, 83-96.
- Занева-Добранова, Е., 2002. *Нетрадиционни източници на въглеводородни ресурси*. София. МГУ „Св. Ив. Рилски“, 108
- Занева-Добранова, Е., Щ. Льомов, А. Ангелов, 2012. *Неконвенционални източници на въглеводородни ресурси, технологии и екологични предизвикателства*. С., МГУ „Св. Ив. Рилски“, 211 с.
- Йорданов, Й., В. Балинов, Е. Дешев, И. Сапунджиева. 1985. О методике количественной оценки изолирующих свойств труднопроницаемых пород. - *Нефт. и въгл. геол.*, 21, 34-41.
- Филиппов, Б. В. 1967. Типы природных резервуаров нефти и газа. М., Недра, 285
- Ханин, А. А., 1969. *Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение*. М., Недра. 366 с.

- Abdelaziz, K, H. Qutob, N. Barakat, H. Harhad, E. M. Yettou, A. Mazouzi, 2011. Taking up unconventional challenge is a game changer in Oil and Gas Industry, [www.jeaconf.org/.../e54eeebc-31a2-46b5-b750-c](http://www.jeaconf.org/.../e54eeebc-31a2-46b5-b750-c).
- DGMK German Society for Petroleum and Coal Science and Technology. Website: <http://www.dgmk.de/>, sited: July 25th 2010.
- Perry, K., J. Lee. 2007. *Unconventional Gas Reservoirs-Tight Gas, Coal Seams, and Shales*. Working Document of the NPC Global Oil & Gas Study, Texas A&M University, 54
- Law, B. E., J. B. Curtis, 2002. Introduction to unconventional petroleum systems. - *AAPG Bulletin*, 86, 1851-1852.
- Haines, L. 2006. *Unlocking Tight-Gas Supplies*. Oil and Gas Investor/Hart Energy Publishing LP, Houston, Texas, 24
- Naik, G. C. 2010. *Tight Gas Reservoirs – An Unconventional Natural Energy Source for Future*. [http://www.pinedaleonline.com/socioeconomic/pdfs/tight\\_gas](http://www.pinedaleonline.com/socioeconomic/pdfs/tight_gas).
- Tight Gas Reservoirs. Economical Solutions for Sulige, Gas Field, China National Petroleum Corporation, Magazine. [www.total.com/en/.../oil-gas/...gas/sulige-south](http://www.total.com/en/.../oil-gas/...gas/sulige-south).
- Victor Hein, P.E., 2009. Evaluation of Tight Gas Reservoirs. Ryder Scott Company, Oil & Energy, Houston, Texas, 148.

Статията е рецензирана от проф. д-р Йордан Кортенски и препоръчана за публикуване от кат. „Геология и проучване на полезни изкопаеми“.