

Ольга Валеріївна ЛЕБЕГА

аспірантка,
кафедра економіки підприємства,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
E-mail: o.lebega@ecointel.com.ua

ФАКТОРИ ТА ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ, ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬ ЦІННІСТЬ ГАЗОСЛАНЦЕВИХ РОДОВИЩ

Лебега, О. В. Фактори та геолого-економічні показники, які визначають цінність газосланцевих родовищ / Ольга Валеріївна Лебега // Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол.: О. В. Ярошук (голов. ред.) та ін. – Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2017. – Том 27. – № 2. – С. 162-171. – ISSN 1993-0259.

Анотація

Вступ. Стаття присвячена дослідженню природно-геологічних, техніко-технологічних, економічних та екологічних умов господарської діяльності у сфері, яка стосується розвідки і розробки родовищ природного газу із сланцевих формацій.

Мета. Метою статті є ідентифікація, характеристика та класифікація факторів, які визначають цінність родовищ природного газу, пов'язаних із сланцевими породами. Особливу увагу надано характеристиці показників, які дають змогу здійснити кількісну оцінку впливу цих факторів на формування витрат та ефективність процесів видобування сланцевого газу.

Метод (методологія). Методологічною основою дослідження є сукупність загальнонаукових методів, таких, як теоретичне узагальнення, деталізація, групування, порівняння, графічний, системний та факторний методи.

Результати. Розроблено класифікацію факторів та показників, які визначають цінність та ефективність розвідки і розробки родовищ природного газу, пов'язаних із сланцевими формаціями. Запропоновано ідентифіковані фактори та показники для їх кількісного виміру поділити на чотири групи: природно-геологічні, фізико-хімічні, техніко-технологічні, економічні і екологічні. У кожній групі ідентифіковано і охарактеризовано окремі фактори, показники та методичні підходи для їх кількісної характеристики і оцінювання.

Ключові слова: природний газ із сланцевих формацій; фактори; класифікація; природно-геологічні, фізико-хімічні, техніко-технологічні, економічні, екологічні показники.

Olga Valeriivna LEBEGA

PhD Student,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
E-mail: o.lebega@ecointel.com.ua

FACTORS AND GEOLOGICAL AND ECONOMIC INDICATORS THAT MEASURE GAS AND SHALE DEPOSITS VALUE

Abstract

Introduction. The article investigates the natural geological, technical, technological, economic and environmental conditions of the economic activity concerning the exploration and mining of natural gas from shale formations.

Purpose. The article aims to identify, characterize and classify the factors that determine the value of natural gas fields which are connected with the shale rocks. Particular attention is given to the characterization of parameters that allow to carry out a quantitative assessment of the impact of these factors on the formation of spendings and the efficiency of shale gas extraction processes.

The method (methodology). The methodological basis of the study is a set of scientific methods. Among them we can single out method of theoretical generalization, method of details, method of grouping, method of comparison, method of graphics, systems and factor methods.

Results. It has been worked out the classification of the factors and parameters that determine the value and effectiveness of the exploration and development of deposits of natural gas which are connected with shale formations. The identified factors and indicators for determination their quantitative measurement are divided into

four groups: natural and geological group, physical and chemical group, technical and technological group, economic and environmental group. In each group some specific factors and indicators and methodological approaches for their quantitative characterization and evaluation are identified and described.

Keywords: *natural gas from shale formations; factors, classification; natural and geological indicators; physical and chemical indicators; technical and technological indicators; economic and environmental indicators.*

JEL classification: Q4

Вступ

Останнім часом все більшу частку у світовому енергобалансі займає сланцевий газ. У середньостроковій перспективі розробка покладів сланцевого газу в Україні є також одним із важливих напрямів збільшення власного видобутку обсягів природного газу [1]. Сланцеві формації, з якими пов'язані родовища природного газу, є складними природними утвореннями, і їх цінність визначається численними геолого-економічними факторами. Кількісна оцінка впливу цих факторів на цінність сланцевих родовищ є складною проблемою, оскільки існує низка факторів, які характеризуються значною мінливістю і невизначеністю. Виявити основні з них, класифікувати та визначитись з кількісними показниками їх виміру – важливе методологічне завдання.

Проблема оцінювання перспектив видобування сланцевого газу останнім часом знаходиться у центрі уваги багатьох зарубіжних та вітчизняних аналітиків, вчених, фахівців у сфері геології, геофізики, енергетики, економіки і екології [2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14]. Незважаючи на це, у зазначених роботах не було здійснено спроб систематизації основних факторів, які визначають цінність родовищ природного газу, пов'язаних із сланцевими формаціями.

Мета статті

Метою статті є аналіз та класифікація основних факторів, які впливають на процеси видобування природного газу із газосланцевих родовищ, на яких сьогодні здійснюється промисловий видобуток сланцевого газу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Якщо звернутись до понятійно-категоріального апарату, то під дефініцією фактор розуміють «причину, рушійну силу якого-небудь процесу, що визначає його характер або окремі риси» [15]. Якщо мова йде про економічну сферу загалом, то під факторами слід розуміти геолого-фізичні, природно-кліматичні та соціально-економічні умови, а також рівень техніки, технології, організації виробництва, що визначають динаміку його ефективності у цій сфері.

Аналіз умов, у яких здійснюється розробка родовищ природного газу, пов'язаних із сланцевими формаціями, дозволив зробити висновок, що фактори, які впливають на економічну ефективність газовидобування, доцільно поділити на такі основні чотири групи: природно-геологічні, фізико-хімічні, техніко-технологічні, економіко-екологічні (рисунок 1).

Насамперед цінність родовищ сланцевого газу визначають природні – геолого-фізичні – фактори. Якщо мова йде про геолого-фізичні параметри сланцевих родовищ, то необхідно дати характеристику літологічного складу та стратиграфічної приуроченості сланцевих порід.

Сланцеві породи в геології переважно відносять до аргілітів. Аргіліти домінують серед осадових порід Землі і складають серед них від 60 до 70 %. Аргіліти є дрібнозернистими осадовими породами, які містять глинисті і алевритисті фракції, із дуже малим розміром зерен – від 0,5 до 0,005 мм. Це складна суміш органічної речовини і глинистих мінералів – ілліту, смектиту, каолініту і хлориту – поряд із кварцем, кальцитом, доломітом, польовим шпатом, апатитом і піритом. Дуже часто аргілітам притаманна сланцюватість, що характеризується паралельно орієнтованим розміщенням породоутворюючих мінералів і здатністю розколюватись на тонкі пластини. Тому аргіліти, як правило, досить неоднорідні, і ця неоднорідність характеризується мінливістю як по горизонталі, так і по вертикалі внаслідок зміни умов осадонакопичення і тектонічних рухів, що відбувалися у процесі формування сланцевих порід протягом тривалого геологічного часу [5].

Загалом газонасні сланці належать до бітумінозних осадових товщ, які характеризуються широким розповсюдженням у складчастих і платформових областях нашої планети і широким часовим діапазоном утворення – від кембрійського до третинного періоду. Бітумінозні породи здебільшого теригенні: глини, аргіліти, сланцюваті аргіліти, алевроліти, пісковики тощо, у яких зосереджена дисперсно розсіяна органічна речовина або продукти її перетворення у бітум, який називають керогеном. Розрізи із чорними сланцями зустрічаються у відкладах кембрію, середнього ордовіку, силуру, девону, крейди, пермі і еоцену. Ці періоди відомі, як час максимального затоплення континентів, високого рівня морів і, як наслідок, нестачі кисню, тобто це анаеробні умови, що сприяли збереженню органічної речовини [5, с. 5-28; 16, с. 22-33].

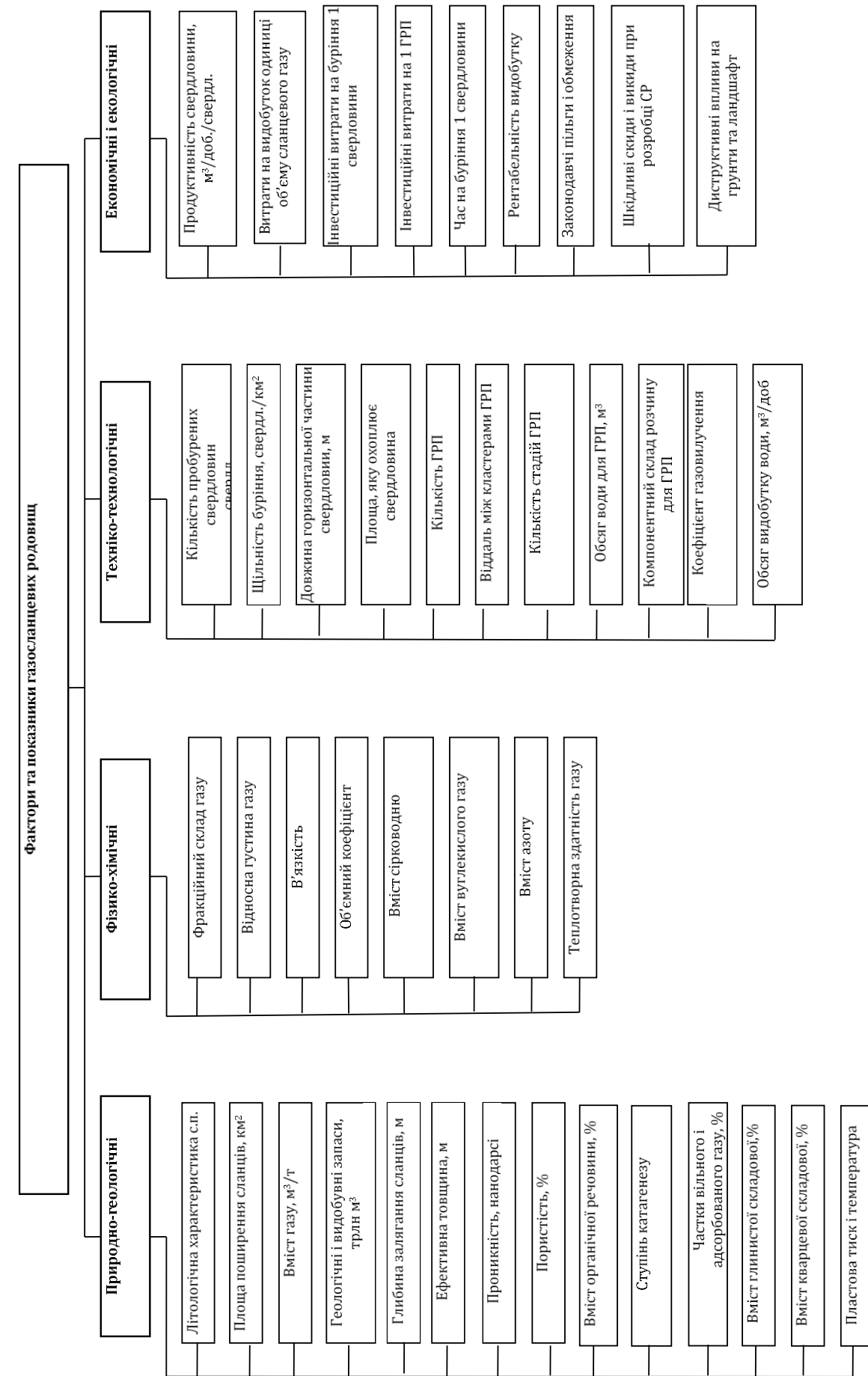


Рис. 1. Класифікація факторів та показників газосланцевих родовищ

Важливою особливістю і характеристикою покладів сланцевих формацій є значна площа їх поширення, яка обчислюється у км² і становить десятки та навіть сотні км² (наприклад, сланці Барнет займають площу понад 20 000 км², Марселус – 246 000 км²) [4]. Тобто, на відміну від родовищ конвекційного газу, поклади газу сланцевих товщ не є прив'язаними до обмежених ділянок земних надр у вигляді пасток. Зазвичай сланці виступають і материнською породою, і покришкою, і колектором. Однак, незважаючи на розповсюдження газонасичених сланців на значних територіях, лише окремі їх частини є придатними до економічно рентабельного видобування газу.

Промисловий видобуток газу є доцільним у зонах підвищеної газогенераційної здатності сланцевих товщ, які визначаються:

- вмістом газу (B_g) у сланцевій породі, що вимірюється у м³/т;
- щільністю ресурсів газу ($Щ_p$), що вимірюється у млн м³/км².

Проведений аналіз показав, що вміст газу у сланцевих товщах світу змінюється у межах від 0,44 до 9,9 м³/т, середнє значення становить – 4,58 м³/т. Що стосується щільності ресурсів газу ($Щ_p$), то цей параметр є похідним від B_g і ефективної товщини сланцевої товщі h_{ef} , про яку йтиметься далі.

Слід зазначити, що параметри B_g і $Щ_p$ є найважливішими показниками для підрахунку запасів сланцевого газу, а це визначальна геолого-економічна характеристика будь-яких родовищ вуглеводнів, тому що від запасів родовища залежать обсяги видобутку газу, можливості застосування певних видів техніки і технології, рівень експлуатаційних та інвестиційних витрат.

У міжнародній і вітчизняній практиці при підрахунку запасів визначають геологічні запаси і видобувні запаси.

Геологічні запаси або загальні запаси сланцевого газу визначають здебільшого об'ємним методом. При цьому, згідно з «Методичними вказівками з оцінки ресурсів газу сланцевих товщ» [17], окремо визначаються загальні ресурси вільного газу, окремо сорбованого та закритого в порах сланцевого газу.

Загальні ресурси газу сланцевих товщ визначаються за формулою:

$$Q_{ГСТ} = S \times h \times m \times k_r \times f (P_n \alpha - P_k \alpha_k), \quad (1)$$

де: $Q_{ГСТ}$ – загальні ресурси газу сланцевих товщ, млн м³; S – площа покладу газу в найбільш продуктивних межах сланцевої товщі, м²; h – товщина пористої (продуктивної) частини сланцевої товщі, м; m – коефіцієнт відкритої пористості, частка одиниці; k_r – коефіцієнт газонасиченості за даними геофізичних досліджень, частка одиниці; f – поправка на температуру; P_n – середнє значення початкового пластового тиску у покладі газу сланцевих товщ, МПа; P_k – кінцевий пластовий тиск, приймається на рівні 0,1 МПа; α , α_k – стандартні поправки на відхилення вуглеводневих газів від закону Бойля-Маріотта.

Оцінка сорбованого та закритого в порах сланцевого газу здійснюється за формулою:

$$Q = F \times h \times \rho_n \times X_n, \quad (2)$$

де: Q – початкові геологічні запаси газу, млн м³; F – площа газонасиченості, м²; h – товщина перспективної товщі, м; ρ_n – щільність порід, кг/м³; X_n – газонасиченість порід, м³/кг.

Видобувні запаси – це частина геологічних запасів, видобуток і використання яких є економічно доцільним за умови застосування сучасних технічних засобів і технологій та дотримання вимог щодо охорони надр і природи. Видобувні запаси визначаються множенням геологічних запасів на коефіцієнт газовіддачі. Відповідно до «Методичних вказівок з оцінки ресурсів газу сланцевих товщ» коефіцієнт газовіддачі умовно приймається в межах 0,2-0,3 [17, с. 20]. Величини геологічних і видобувних запасів газу у міжнародній практиці визначається у стандартних кубічних футах – cf (1cf = 0,028 м³), найчастіше – трильйонах кубічних футів (Tcf).

Наступним важливим параметром сланцевих родовищ є глибина залягання сланцевої товщі, що як геологічний фактор суттєво впливає на вибір технічних, технологічних і організаційних рішень при бурінні свердловин, розробці родовищ, а також є важливим фактором формування величини інвестиційних витрат і собівартості видобутку газу. З іншого боку, із зростанням глибини залягання сланцевих товщ, зростають пластові тиски і температури, що сприяє поглибленню ступеня катагенезу органічної речовини. Глибина залягання покрівлі сланцевих товщ змінюється у межах від 122 до 4378 м, середнє значення становить – 2088 м.

Не менш важливими характеристиками сланцевих родовищ є колекторські властивості сланцевих порід, до яких належать ефективна товщина, проникливість і пористість.

Товщина сланців, разом із великою площею їх розповсюдження і наявністю органічної речовини для адсорбції газу, визначають запаси сланцевого газу, а також створюють більш сприятливі умови для буріння горизонтальної частини свердловин. Необхідно зазначити, що не вся товща сланців викликає

комерційний інтерес. Тому існує поняття ефективної товщини, яка визначається за результатами геофізичних досліджень свердловин, з урахуванням кількісних і якісних критеріїв її визначення на конкретній площі. Більш потужні сланцеві товщі є інвестиційно привабливішими об'єктами. Проведений нами аналіз показав, що ефективна товщина сланцевих формацій змінюється у межах від 6 м до 350 м, середнє значення становить 85,8 м. Є зрозумілим, що з розвитком техніки і технологій буріння, проведення ГРП необхідна для рентабельної розробки ефективна товщина сланцевих пластів буде зменшуватись.

Проникність є характеристикою, що визначає фільтраційні властивості сланцевих порід. Хоча треба зазначити, що сланцеві породи характеризуються аномально низькою матричною проникністю. Однак важливе значення має обумовлена сланцюватістю наявність системи природних тріщин, що підвищують ефективність проведення ГРП, оскільки існування природних тріщин сприяє розповсюдженню і розвитку систем штучних тріщин [6; 7]. Проникливість сланцевих порід змінюється у широких межах від 5 до 5000 нанодарсі, середнє значення становить 679 нанодарсі.

Наступною важливою характеристикою, що характеризує колекторські властивості сланцевих порід, є пористість. Локальні високопродуктивні зони сланцевих товщ характеризуються високою матричною пористістю. Пори у сланцевих породах містять значну кількість вільного сланцевого газу, який у початкові періоди видобування можна вилучати з високими дебітами, що сприяє покращенню економічних показників розробки. Пористість сланцевих товщ змінюється у межах від 0,5 до 14 %, середнє значення становить – 6,39 %. Величина пористості сланцевих порід має бути не менша 3 % [4; 7; 17].

Окрім колекторських властивостей, не менш важливими характеристиками сланцевих порід є вміст органічної речовини у сланцевих породах *Sopz* та ступінь її катагенетичних перетворень (еволюції). Головним критерієм відмінності газоносних сланців від звичайних осадових пелітоморфних порід є вміст органічної речовини (керогену) [18, с. 22]. Вміст органічної речовини у сланцевих товщах змінюється у межах від 0,46 % до 20 %, середнє значення становить 4,88 %. Як показують численні дослідження, вміст органічної речовини у перспективних зонах має перевищувати 1-3 %. Підвищений вміст органічної речовини також сприяє поновленню запасів газу.

Ступінь катагенетичних перетворень і зрілість органічної речовини визначається різними методами. Один із них – за відбивною здатністю вітриніту (R_o), що виражається у відсотках. Загалом із підвищенням рівня катагенетичних перетворень, тобто рівня термічної зрілості органічної речовини, зростає вміст вуглецю у керогені, відповідно зростає значення R_o . Ця величина змінюється у межах від 0,4 % до 5 %, середнє значення становить 1,88 %. Тобто сланцеві породи родовищ, з яких нині здійснюється комерційний видобуток сланцевого газу, мають переважно достатню високу ступінь катагенезу. Загалом необхідно зазначити, що високотріщинуваті сланці, які містять значну кількість термогенно зрілої органічної речовини, відповідно мають підвищений вміст вільного газу. При значних глибинах залягання і в умовах високого тиску це забезпечує значні початкові дебіти пластових флюїдів.

У зонах з підвищеним вмістом органічної речовини містяться і великі об'єми адсорбованого газу, молекули якого здебільшого знаходяться на поверхні керогену. Необхідно зазначити, що газ може бути сорбований і глинистими мінералами сланців. Зрозуміло, що вміст вільного і сорбованого газу знаходяться в оберненій пропорції. Кількість адсорбованого газу у сланцях коливається в межах від 10 % до 85 %, середнє значення складає близько 50 %. Адсорбований газ сприяє стабільності дебітів газу при падінні тисків унаслідок виснаження пластової енергії [19].

Якщо мова йде про сланцеві породи як колектори, то їх якість визначається вмістом глинистих, кварцевих і карбонатних мінералів. Найбільш бажані для нафтових компаній продуктивні аргіліти, як правило, характеризуються високим вмістом неглинистих мінералів, переважно силікатних і карбонатних [19, с. 69]. Вміст глинистих мінералів має не перевищувати 50 %, інакше сланець підлягає пластичним деформаціям і може не утворювати тріщин при гідророзривах, які необхідні для міграції газу.

Окрім глинистості, не менш важливою характеристикою якості сланцевих порід як резервуарів природного газу є вміст кремнистих мінералів, що визначають такий їх параметр, як крихкість. За наявними даними, вміст кременистих мінералів коливається в межах 15-45 %, середнє значення складає близько 33 %. Ця характеристика сланцевих резервуарів має особливе значення з точки зору успішності проведення гідророзривів, тобто якості закінчування свердловин. Адже, що більший вміст кременистих мінералів (більше 40 %), то сприятливішими є умови для створення зон штучної тріщинуватості і більші дебіти свердловин [19].

Карбонатність (вміст карбонатних мінералів) також є сприятливою характеристикою сланцевих порід при оцінці їх якості. Вона змінюється у межах 10-60 %, середнє значення складає близько 23 %. Аргіліти, що мають високий вміст карбонатів (більше 60 %), також знаходяться в зонах, які характеризуються високою якістю колектора і якістю закінчування свердловин [19, с. 70].

Наступною групою факторів, що мають важливе значення при оцінюванні родовищ природного газу у сланцевих породах, є фізико-хімічні характеристики газу.

Загалом основними показниками властивостей природного газу є молекулярна маса, густина відносно повітря, коефіцієнт стисливості, об'ємний коефіцієнт, теплота згорання.

Молекулярна маса природного газу залежить від його хімічного складу, а це суміш різних вуглеводневих газів земної кори: метану – CH_4 , етану – C_2H_6 , пропану – C_3H_8 , ізобутану – C_4H_{10} , ізопентану – C_5H_{12} , гексану – C_6H_{14} , гептану – C_7H_{16} , азоту, вуглекислого газу [20, с. 315].

Сланцевий газ є тим самим природним газом і підтвердженням цього є те, що він складається переважно (близько 97 %) з метану. Однак до його складу можуть входити інші гази із різним відсотковим вмістом: водень 25-40 %, метан 14-17 %, чадний газ 10-20 %, вуглекислий газ 10-20 %, етан, інші вуглеводні 4-5 %, азот 22-25 %, кисень не більше 1 % [21, с. 160].

Цінність сланцевого газу зростає із збільшенням вмісту вуглеводнів вищої групи – етану, пропану та інших. Це пояснює підвищений інтерес до таких плеїв як Ютіка та Ігл Форд, які містять «масний газ», багатий вуглеводнями вищої групи. Рідкі фракції на цих плеях складають тільки 17 % від загального видобутку, проте забезпечують 40 % виручки [22, с. 162].

Зрозуміло, що якість сланцевого газу знижують такі його компоненти, як вуглекислий газ, азот, сірководень, чадний газ та ін. Так на родовищі Барнет із чотирьох тестових свердловин одна показала високий вміст азоту – 7-8 %. Такий газ потребує додаткової підготовки перед його споживанням. Газ на плеї Марселлус містить менше метану на користь більш цінних вищих компонентів, має невисокий вміст оксиду вуглецю та азоту, і тому підготовка газу тут практично не потрібна. Газ плею Фаєтвіл має дуже високий вміст метану – 97 %, і при його підготовці до транспортування використовується тільки сепарація. Гази плеїв Нью Олбані, Хейнсвіл мають високий вміст CO_2 (8-10 %), і його необхідно видаляти. Склад газу плею Антрім унікальний, це переважно біогенний метан, що є побічним продуктом споживання бактеріями органічних речовин у сланцях [23].

Важливою характеристикою сланцевого газу є густина, яка визначається відносно повітря і коливається у межах від 0,7 до 0,9 $\text{кг}/\text{м}^3$.

В'язкість – це властивість рідин та газів чинити опір взаємному переміщенню сусідніх шарів при русі (внутрішнє тертя). На відміну від нафт, для газів цей параметр є менш важливим, складає соті частки $\text{мПа}\cdot\text{с}$ і змінюється для газів різних родовищ у незначних межах.

Сланцевий газ, як і інші вуглеводневі гази, тією чи іншою мірою за своїми властивостями не відповідає законам для ідеального газу. Тому для його характеристики використовують показник – коефіцієнт стисливості газу, що є відношенням об'ємів реального і ідеального газу.

Ще один показник – об'ємний коефіцієнт пластового газу, що характеризує зміну об'єму 1 м^3 газу, відібраного за стандартних умов, при перенесенні його у пластові умови [21].

Основною характеристикою, яка визначає якість природного газу, є його теплотворна здатність. Саме тому, на світових газових ринках ціна газу визначається його теплотворною здатністю у британських теплових одиницях (БТЕ). Загалом теплотворна здатність природних газів залежить від компонентного складу і коливається в межах 33000-44000 кДж . Температура газокисневого полум'я при згоранні сланцевого газу у кисні складає 2000 $^{\circ}\text{C}$. Найнижча теплота згорання газу із сланцевих порід складає 12,6-14,3 $\text{МДж}/\text{м}^3$ [21, с. 160].

Наступною групою факторів є технологічні. Сланцева революція у США і Канаді була б не можлива без прогресу в розвитку технологій видобування. Найважливішим технологічним проривом стало суміщення технологій горизонтального буріння і гідророзривів.

Однак саме горизонтальне буріння стало тією технологією, що дозволила різко збільшити видобування сланцевого газу. До основних технологічних параметрів, які стосуються буріння, належать: загальна кількість пробурених свердловин; щільність буріння; довжина горизонтальної частини свердловини; площа сланцевого пласта, яку охоплює одна свердловина.

Загальна кількість горизонтальних свердловин залежить від площі сланцевого родовища або його ділянок з підвищеною продуктивністю – «sweet spots», які планується охопити розробкою. Останнім часом число пробурених свердловин на сланцевих плеях зменшується, а видобуток газу зростає. Це пояснюється застосуванням передових технологій у бурінні, а саме: самохідних роботизованих бурових станків і куцшового буріння.

Технологія куцшового буріння полягає у тому, що спочатку буриться сітка вертикальних свердловин, а потім – горизонтальні стовбури. У результаті значно скорочується час буріння і на 15-30 % вартість свердловин [22].

Щільність буріння – це кількість пробурених свердловин на 1км^2 площі сланцевого плею. Цей параметр є похідним від попереднього і характеризує площу сланцевого родовища, яку планується охопити розробкою однією свердловиною.

Довжина горизонтальної частини свердловини є параметром, який характеризує довжину ділянки свердловини в середині продуктивного сланцевого пласта, при цьому горизонтальна частина свердловин може відходити від вертикальної частини на 1,5-2 км [22, с. 141].

Площа сланцевого пласта, яку охоплює одна свердловина, залежить від довжини горизонтальної частини і кількості горизонтальних стовбурів, які буряться з одного куща. Цей параметр є визначальним для продуктивності свердловин, що пробурені на сланцевий газ.

Гідророзрив пластів – це технологія, яка широко використовується для інтенсифікації процесів видобування нафти і газу. Як вже зазначалось вище, без суміщення горизонтального буріння і гідророзривів були б неможливі досягнуті на сьогодні успіхи у видобуванні сланцевого газу. Основними технологічними параметрами, що стосуються гідророзривів, є: кількість ГРП у свердловині; віддалі між кластерами ГРП; кількість стадій ГРП; об'єм води, необхідний для здійснення гідророзриву; склад і кількість компонентів для гідророзриву.

Загальна кількість ГРП у свердловині залежить від довжини горизонтальної ділянки свердловини, віддалі між кластерами ГРП та кількості стадій проведення ГРП, кількості повторних гідророзривів.

Віддалі між кластерами ГРП залежить від геолого-фізичних характеристик сланцевих порід, таких, як: щільність ресурсів, наявність зон, природної тріщинуватості, проникність.

Також при розробці сланцевих родовищ все ширше застосовуються багатостадійні гідророзриви. Це дозволяє збільшити початкові дебіти свердловин до 50 % [22].

Для здійснення гідророзривів необхідні значні обсяги води, які досягають 10-20 тис. л на одну свердловину. Нові технології дозволяють очищувати і повторно використовувати практично всю воду, що використовується при проведенні ГРП, що значно зменшує екологічні загрози [22, с. 155].

Окрім води, при проведенні ГРП використовують досить широкий список інших речовин, серед яких основними є пісок (пропант), кислоти, стабілізатори, інгібітори та ін. Рідини, що використовуються для проведення сучасної операції ГРП, як правило, на 95-98 % складаються із води і пропантів, і тільки незначну кількість становлять різні хімічні реагенти [24].

Останнім часом для розуцільнення сланцевих порід все ширше застосовується безводна технологія пропанового (газового) фрекінгу. Технологія містить зрідження пропану, перемішування утвореної рідини з піском і запомповування утвореного гелю в пласт. Перевагою такої технології є її вища ефективність за рахунок того, що залучається більша частина пласта в роботу, оскільки при гідророзриві значні об'єми пор заняті закачаною водою, що перешкоджає виходу газу. Ще одною перевагою цієї технології є те, що при її застосуванні відсутні етапи, пов'язані із відкачуванням і очищенням води, що сприяє здешевленню всього процесу [18, с. 159].

До технологічних параметрів слід також зарахувати коефіцієнт газовилучення, який для сланцевих родовищ коливається у межах від 20 % до 50-60 % [6, с. 37], а також обсяги попутного видобутку води, який коливається на різних родовищах в межах 0,8-80 м³/добу [24].

Завершає класифікацію факторів, які визначають цінність сланцевих родовищ, група еколого-економічних факторів. Основними економічними показниками розробки сланцевого родовища є продуктивність свердловин, витрати на видобування одиниці об'єму сланцевого газу, інвестиційні витрати на буріння 1 свердловини, час буріння 1 свердловини, витрати на проведення гідророзривів та інших методів розуцільнення сланцевих порід, рентабельність видобутку.

Серед економічних параметрів першочергове значення має продуктивність свердловин. Аналіз показав, що продуктивність свердловин із видобутку сланцевого газу змінюється у межах від 1,09 до 87 м³/доб/свердловину, середнє значення становить – 20,33 м³/доб/свердловину.

Витрати на видобуток одиниці сланцевого газу залежать від продуктивності свердловин, фізико-хімічних властивостей газу, цін на матеріальні ресурси, що використовуються у процесі видобування, технологічних параметрів розробки. У процесі розробки сланцевих родовищ вони можуть змінюватись у широких межах.

Інвестиційні витрати у розробку родовища насамперед залежать від витрат на буріння свердловин, які визначаються природними особливостями покладів сланцевого газу (глибина залягання сланцевих порід, склад і параметри буримості вищезалігаючих і сланцевих порід, довжина горизонтальної частини стовбура свердловини), технологічними параметрами системи розробки, загальноекономічними умовами освоєння родовищ.

Загальноекономічні умови освоєння родовища визначаються наявністю інфраструктури (доріг, ліній електропередач, газопроводів), забезпеченістю кваліфікованою робочою силою, можливістю залучення до процесу розробки геофізичних, будівельних, транспортних та інших сервісних організацій.

Важливою інвестиційною складовою при видобуванні сланцевого газу є витрати на здійснення розуцільнення і стимулювання сланцевих порід. Їх величина залежить від технологій ГРП, які застосовуються, кількості гідророзривів чи інших методів стимулювання сланцевих порід у свердловині.

Рентабельність видобування сланцевого газу насамперед залежить від якості ресурсу, величини витрат на його видобуток, цін на газових ринках, а також виду показника рентабельності і методів його визначення. Загалом газодобувна галузь є рентабельною, а отже, інвестиційно привабливою. Щодо конкретних сланцевих родовищ, то рентабельність видобування газу для них може суттєво відрізнятись.

Крім вищенаведених, значний вплив мають інші фактори, які визначають цінність родовищ, а саме: соціально-економічні та екологічні.

До соціально-економічних належать: забезпеченість країни природним газом; кон'юнктура світового ринку природного газу; існуюча інфраструктура в регіоні; рівень та структура споживання енергії.

Розглядаючи екологічні фактори при розробці сланцевих родовищ, необхідно охарактеризувати: можливі обсяги шкідливих викидів в атмосферу; скиди у водне середовище; можливе забруднення водоносних горизонтів; деструктивні впливи на ґрунти і ландшафт тощо.

Також, характеризуючи фактори, що впливають на цінність сланцевих родовищ, необхідно не забувати і про правові норми: статус і можливості передачі земельних ділянок у користування; врахування сервітутів у землекористуванні; наявну інфраструктуру; умови оподаткування; законодавчі пільги та обмеження.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Кожне родовище природного газу із сланцевих формацій є неповторним витвором природи, характеризується низкою геологічних, економічних, екологічних показників та факторів, що визначають його цінність та відображають їх основні природно-геологічні характеристики і ефективність розробки. Подальші дослідження необхідно спрямувати на вдосконалення методичних підходів із визначення складових, що формують систему розглянутих факторів та показників.

Список літератури

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.
2. Бойер, Ч. Сланцевый газ – глобальный ресурс / Ч. Бойер, Б. Кларк, Р. Льюис, К. К. Миллер // Нефтегазовое обозрение. – 2011, том 23, №3 – С. 36-51.
3. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: China 2015 [Электронный ресурс] / ЕІА. – Режим доступу: http://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/China/china.pdf.
4. Дмитриевский, А. Н. Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья / А. Н. Дмитриевский, В. И. Высоцкий // Газовая промышленность. – 2010. – №8. – С. 44-47.
5. Иванов, Н. А. Сланцевая Америка: энергетическая политика США и освоение нетрадиционных нефтегазовых ресурсов / Н. А. Иванов. – М.: Магистр, 2014. – 304 с.
6. Цветков, Л. Д. Сланцевые углеводороды (библиографический обзор) [Электронный ресурс] / Л. Д. Цветков, Н. Л. Цветкова. – Режим доступу: <http://ftp.nedra.ru/rus/activity/archive/publications/hydrocarbons.pdf>.
7. Лукин, А. Е. Черносланцевые формации эвскинского типа – мегаловушки природного газа / А. Е. Лукин // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2013. – № 4. – С. 5-28.
8. Кондрат, О. Р. Сланцевый газ: проблемы і перспективи / О. Р. Кондрат, Н. М. Гедзик // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2013. – №2 (47). – С. 33-39.
9. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України: монографія у 8 кн. Кн. 1. Нетрадиційні джерела вуглеводнів: огляд проблеми / І. М. Куровець та ін.; Нац. акціонерна компанія «Нафтогаз України» та ін. – К.: Ніка-Центр, 2014. – 208 с.
10. Козловський, С. В. Стан та тенденції видобутку сланцевого газу у світі. Перспективи для України: економічний та екологічний аспекти / С. В. Козловський // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – Серія «Економічні науки». – 2014. – № 2. – С. 49-60.
11. Дейнеко, В. В. Сланцевый газ: екологічні аспекти видобутку (світовий досвід для України, аналітичні оцінки) / В. В. Дейнеко // Регіональна економіка. – 2012. – № 4. – С. 98-108.
12. Марковська, В. С. Перспективи видобутку і споживання сланцевого газу в країнах Європейського Союзу / В. С. Марковська // Економічний часопис – XXI. – 2013. – № 3-4 (2). – С. 17-20.
13. Циган, Р. М. Перспективи видобутку сланцевого газу в Україні: за і проти / Р. М. Циган, А. О. Синятко [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [// www.economy.nauka.com.ua/pdf/12_2015/51.pdf](http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/12_2015/51.pdf).
14. Кришталь, А. М. Світовий досвід вивчення та використання нетрадиційних вуглеводневих ресурсів / А. М. Кришталь // Мінеральні ресурси України. – 2015. – №1. – С. 27-37.
15. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.

16. Конюхов, А. И. Черные глины и другие отложения, обогащенные органическим веществом, на окраинах материков в раннем и позднем палеозое / А. И. Конюхов // Вестник Московского университета. – Сер. 4 «Геология», 2015. – № 4. – С. 22-33.
17. Методичні вказівки з оцінки ресурсів газу сланцевих товщ (2012). Наказ Державної комісії по запасах корисних копалин. – № 625 від 29.12.2012 р. – К.: ДКЗ, 2012. – С. 22.
18. Лукин, А. Е. Сланцевый газ и перспективы его добычи в Украине. Статья 1. Современное состояние проблемы сланцевого газа (в свете опыта освоения его ресурсов в США) / А. Е. Лукин // Геологический журнал. – 2010. – № 3. – С. 17-33.
19. Поиск высокопродуктивных зон: качество коллектора и качество заканчивания скважин // Нефтегазовое обозрение. – 2013-2014. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/russia13/win13/article5.pdf.
20. Підрахунок запасів нафти і газу: підручник / Г. І. Рудько, М. В. Ляху, В. І. Ловинюков, М. М. Багнюк, В. Г. Григіль. – За заг. ред. д. г.-м.н., д. г. н., д. т. н., проф. Г. І. Рудька. – Київ-Чернівці: Букрек, 2016. – 562 с.
21. Даутова, Э. М. Возможности и перспективы добычи сланцевого газ в России [Электронный ресурс] / Э. М. Даутова, О. Е. Кочнева. – Режим доступа: <http://pstu.ru/vestnik/5115/?special=1>.
22. Иванова, Н. А. Сланцевая Америка: энергетическая политика США и освоение нетрадиционных нефтегазовых ресурсов / Н. А. Иванов. – М.: Магистр, 2014. – 304 с.
23. Сланцевый газ. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://newsruss.ru/doc/index.php/%D0%A1%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7.
24. Сорокин, С. Н. Основные проблемы и перспективы добычи сланцевого газа [Электронный ресурс] / С. Н. Сорокин, А. А. Горячев – М.: 2012. – Режим доступа: https://www.eriras.ru/files/Sorokin_Goryachev_OEPEE_slanec.pdf.

References

1. *Energy Strategy of Ukraine till 2030*. Retrieved from: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.
2. Boyer, Ch., Clark, B., Lys, R., Miller, K. (2011). Shale Gas – global resource. *Neftegazovoe obozreniye*, 23(3), 36-51.
3. *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: China 2015*. (n.d.). Retrieved from: http://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/China/china.pdf.
4. Dmytryevskyy, A. N., Vysotskii, V. I. (2010). Slantsevyy gas – vector. New market development Peace hydrocarbon raw materials. *Gas industry*, 8, 44-47.
5. Ivanov, N. A. (2014). *Slancevaja Amerika: jenergeticheskaja politika SShA i osvoenie netradicionnyh neftegazovyh resursov*. Moscow.: Magistr.
6. Cvetkov, L. D. & Cvetkova, N. L. (n.d.). *Slancevye uglevodorody (bibliograficheskij obzor)*. Retrieved from: <http://ftp.nedra.ru/rus/activity/archive/publications/hydrocarbons.pdf>.
7. Lukin, A. E. (2013). Chernoslancevye formacii jevskinskogo tipa – megalovushki prirodnogo gaza. *Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*, 4, 5-28.
8. Kondrat, O. R. & Gedzik, N. M. (2013). Slancevij gaz: problemi i perspektivi. *Rozvidka ta rozrobka naftovih i gazovih rodovishh*, 2 (47), 33-39.
9. Kurovec, I. M. (2014). *Netradicijni dzherela vuglevodniv v Ukraini*. Kyiv: Nika-Centr.
10. Kozlovs'kij, S. V. (2014). Stan ta tendencii vidobutku slancevogo gazu u sviti. Perspektivi dlja Ukraini: ekonomichnij ta ekologichnij aspekti. *Zbirnik naukovih prac' Vinnic'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu*, 2, 49-60.
11. Dejneko, V. V. (2012). Slancevij gaz: ekologichni aspekti vidobutku (svitovij dosvid dlja Ukraini, analitichni ocinki). *Regional'na ekonomika*, 4, 98-108.
12. Markovs'ka, V. S. (2013). Perspektivi vidobutku i spozhivannja slancevogo gazu v kraïnah Evropejs'kogo Sojuzu. *Ekonomichnij chasopis – XXI*, 3-4 (2), 17-20.
13. Cigan, R. M. & Sinjatko, A. O. (2015). *Perspektyvy vydobutku slancevogo gazu v Ukraini*. Retrieved from: www.economy.nayka.com.ua/pdf/12_2015/51.pdf.
14. Krishtal, A. M. (2015). Svitovij dosvid vivchennja ta vikoristannja netradicijnih vuglevodnevih resursiv. *Mineral'ni resursy Ukrainy*, 1, 27-37.
15. *Vikipedija*. (2016). Retrieved from: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
16. Konjuhov, A. I. (2015). Chernye gliny i drugie otlozhenija, obogashennye organicheskim veshhestvom, na okrainah materikov v rannem i pozdnem paleozoe. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 4, 22-33.
17. *Metodichni vказivki z ocinki resursiv gazu slancevih tovshh*. (2012). Nakaz Derzhavnoyi komisiyi po zapasah korysnyh kopalyn № 625 vid 29.12.2012 r. Kyiv: DKZ.
18. Lukin, A. E. (2010). Slancevij gaz i perspektivy ego dobychi v Ukraine. Stat'ja 1. Sovremennoe sostojanie problemy slancevogo gaza (v svete opyta osvoenija ego resursov v SShA). *Geologicheskij zhurnal*, 3, 17-33.

-
19. Poisk vysokoproduktivnyh zon: kachestvo kollektora i kachestvo zakanchivaniya skvazhin. (2014). *Neftegazovoe obozrenie*. Retrieved from: www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/russia13/win13/article5.pdf.
 20. Rud'ko, G. I., Ljahu, M. V., Lovinjukov, V. I., Bagnjuk, M. M., Grigil, V. G. (2016). *Pidrahunok zapasiv nafty i gazu*. Kyiv-Chernivci: Bukrek.
 21. Dautova, Je. M. & Kochneva, O. E. (n.d.). *Vozmozhnosti i perspektivy dobychi slancevogo gaz v Rossii*. Retrieved from: <http://pstu.ru/vestnik/5115/?special=1>.
 22. Ivanov, N. A. (2014). *Slancevaja Amerika: jenergeticheskaja politika SShA i osvoenie netradicionnyh neftegazovyh resursov*. Moscow: Magistr.
 23. *Slancevyj gaz*. (n.d.). Retrieved from: http://newsruss.ru/doc/index.php/%D0%A1%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B3%D0%B0%D0%B7.
 24. Sorokin, S. N. & Gorjachev, A. A. (2012). *Osnovnye problemy i perspektivy dobychi slancevogo gaza*. Moscow. Retrieved from: https://www.eriras.ru/files/Sorokin_Goryachev_OEPEE_slanec.pdf.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2017 р.