

# ЕКОНОМІКА НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 338.001.36

## СВІТОВИЙ ДОСВІД ВИДОБУВАННЯ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ

*Витвицький Я. С., Лебега О. В.*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,  
м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, e-mail: 59471@tvnet.if.ua*

**Анотація.** У статті проведено аналіз ресурсів сланцевого газу в окремих країнах, де на даний час здійснена оцінка цього енергетичного ресурсу. Встановлено, що за різними оцінками ресурси сланцевого газу перевищують ресурси традиційного газу. Описані основні ознаки родовищ сланцевого газу. Проаналізовано досвід видобування сланцевого газу країн, із основних плев яких на сьогодні здійснюється промисловий видобуток сланцевого газу: у США це – Marcellus, Haynesville, Barnett, Fayetteville, Woodford, Antrim, New Albany; в Канаді – Montenev, Horn River; в Китаї – Fuling; в Аргентині – Vaca Muerta. Наведено характеристики цих основних сланцевих формацій: площа поширення сланців, геологічні запаси, видобувні запаси, вміст газу, частка вільного газу, частка адсорбованого газу, інтервали глибин залягання сланцевих формацій, середня глибина залягання сланців, загальна товщина сланцевого горизонту, ефективна товщина сланців, пористість, проникливість, вміст органічної речовини, вміст глинистої складової, вміст кременевої складової, ступінь катагенезу, водневий індекс, кількість пробурених свердловин, щільність буріння, продуктивність свердловин. На основі проведеного аналізу встановлено критерії для виділення найбільш перспективних зон щодо можливості і перспектив комерційного видобутку газу із сланцевих формацій в інших нафтогазових басейнах світу, в тому числі і в Україні.

**Ключові слова:** сланцевий газ, ресурси, характеристики сланцевих формацій, критерії, перспективні зони.

**Abstract.** The article covers the analysis of resources of shale gas select countries, in which the full estimation of this energy resource has been made. It has been established that, according to various evaluations, theof shale gas resource exceeds that of traditional gas. Main characteristics of shale gas fields have been described in the article. The practices of production of shale gas in the following countries have been analysed: USA - Marcellus, Haynesville, Bamett, Fayetteville, Woodford, Antrim, New Albany; Canada – Montenev, Horn River; China – Fuling; Argentina – Vaca Muerta. The following properties of these main shale formations have been demonstrated: area of distribution of slates, geological reserves, recoverable reserves, gas content, the fraction of free gas, fraction of adsorbed gas, intervals of depth of the shale formations, the average depth of a shale formation, the total thickness of the shale horizon, the effective thickness of the shale, porosity, penetration, organic matter content, clay component content, flint component content, the degree katagenesis, hydrogen index, the number of drilled wells, the drilling density, productivity of wells. On the basis of the analysis the criteria for determining the most promising zones for possible commercial shale gas production from shale formations of other oil and gas production regions have been determined.

**Key words:** Shale gas, resources, shale formation properties, criteria, perspective zones.

**Аннотация.** В статье осуществлен анализ ресурсов сланцевого газа в отдельных странах, где севодня проведена оценка этого энергетического ресурса. Установлено, что за разными оценками ресурсы сланцевого газа превышают ресурсы традиционного газа. Описаны основные признаки месторождений сланцевого газа. Проанализирован опыт добычи сланцевого газа стран, из плеев которых осуществляется промышленная добыча сланцевого газа: у США – Marcellus, Haynesville, Barnett, Fayetteville, Woodford, Antrim, New Albany; в Канаде – Montenev, Horn River; в Китае – Fuling; в Аргентине – Vaca Muerta. Даны характеристики этих основных сланцевых формацій, а именно: площадь распространения сланцев, геологические запасы, извлекаемые запасы, содержание газа, доля свободного газа, доля адсорбированного газа, интервалы глубин залегания сланцевых формацій, средняя глубина залегания сланцев, эффективная мощность сланцев, пористость, проницаемость, содержание органического вещества, содержание глинистой составляющей, содержание кремнезема, степень катагенеза, водородный индекс, количество пробуренных скважин, плотность бурения, производительность скважин. На основании проведенного анализа определены критерии выделения наиболее перспективных зон для комерческой добычи газа из сланцевых формацій в других нефтегазоносных бассейнах мира, в том числе и в Украине.

**Ключевые слова:** сланцевый газ, ресурсы, характеристики сланцевых формацій, критерии, перспективные зоны.

**Постановка проблеми.** Необхідність дослідження світового досвіду пошуків, розвідки та видобутку сланцевого газу зумовлена насамперед нагальною потребою забезпечити Україну власними енергоресурсами. Тим більше, що одним із важливих напрямів збільшення власного видобутку обсягів природного газу в Україні, передбачених у Енергетичній стратегії України на період до 2030 року є розробка покладів сланцевого газу [1].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Останнім часом проблемам видобування сланцевого газу надається особлива на всіх рівнях – від політики до екології і ця тема є предметом жвавих дискусій у численних публікаціях як на світовому рівні так і в Україні [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Не зважаючи на це до тепер існує висока невизначеність щодо перспектив видобування сланцевого газу, що і визначає актуальність даного дослідження.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз ресурсів, геолого-технічних характеристик і економічних результатів розробки основних сланцевих формацій світу, на яких у даний час здійснюється промисловий видобуток сланцевого газу та визначення перспектив освоєння цих ресурсів в Україні.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сланцевий газ – це газ, який міститься в дрібнозернистих осадових сланцевих породах, які одночасно є і колекторами, і материнськими породами, що характеризуються сланцюватістю (здатністю розколюватись на тонкі пластинки), високим вмістом органічної речовини, мають низьку пористість і дуже низьку проникність [7, с. 10].

Важливе значення тут має чітке уявлення про природу самого газоносного субстрату – сланцю. Сланцем називається водоосадова, тонкошарувата порода з паралельною орієнтацією мінеральних частинок, що обумовлено, в основному, літогенетичними факторами. Сланці є найбільш розповсюдженою осадовою породою на Землі. Збагачені у тій чи іншій степені органічною речовиною, вони називаються бітумінозними глинами, аргілітами або чорними сланцями [5, с. 19-22].

Газ сланцевих товщ є нетрадиційним промисловим типом горючого природного газу, який відрізняється тим, що є практично нерухомим, залягаючи в замкненому поровому просторі або в сорбованому стані у непроникних сланцевих уміщуючих породах, і видобувається внаслідок притоку вуглеводневого флюїду до видобувних свердловин через тріщинно-поровий простір штучного резервуара, що утворюється шляхом застосування технології гідророзриву або інших технологій розуцільнення продуктивних пластів. Родовища сланцевого газу мають дуже великі геологічні запаси і одночасно низький коефіцієнт вилучення. Газ може бути термогенічного походження, він знаходиться у вільному (в порах) або сорбованому (на внутрішніх поверхнях керогену) вигляді [7, с. 18; 16, с. 6;].

За твердженням науковців НАН України основну роль у накопиченні сланцевого газу відіграє неперервно діюче наповнювання природного газу у гідрофобні капілярні і субкапілярно-пористі середовища із різних джерел (катагенетична генерація керогеном, водорозчинний метан підземних вод, струминна міграція метану розломами з великих глибин). Тільки неперервним поповненням газу внаслідок такого механізму можна пояснити невідповідність масштабів видобування сланцевого газу і характеристик колекторських властивостей сланцевих порід. Мало того, у світлі концепції природного капілярного насоса з наповнюванням газу у гідрофобні нано і мікропроникні пластів середовища є вагомим підстави розглядати ці джерела природного газу, як відновлювані ресурси [6, 17, 18].

Родовища сланцевого газу мають такі основні ознаки:

- поклади знаходяться в дуже дрібнозернистих осадових породах морського походження;
- характеризуються відносно високим вмістом органічної речовини;
- породи, які містять сланцевий газ, є одночасно материнськими і колекторськими, мають низьку пористість і дуже низьку проникність;
- родовища мають значні геологічні запаси і одночасно низький коефіцієнт газовилучення;
- газ може бути біогенного, термогенічного і абіогенного походження;
- він знаходиться у вільному (в порах) або сорбованому (на внутрішніх поверхнях керогену) вигляді;
- притік газу із покладу відбувається в процесі дифузії в тріщини (переважно з органічної речовини);
- видобуток газу вимагає існування природної сітки тріщин та, найчастіше, заходів гідравлічної стимуляції шляхом гідророзривів [7, с. 18].

Перевагами цього енергетичного ресурсу також є його висока екологічна безпека використання і наявність у більшості розвинених країн відповідної інфраструктури та технологій доставки до кінцевого споживача.

Ресурси сланцевого газу за різними оцінками значно перевищують ресурси традиційного газу. Загалом, ресурси сланцевого газу в світі оцінюються в 214,57 трлн м<sup>3</sup>. Розподіл світових ресурсів сланцевого газу по окремих країнах подано у табл. 1.

Таблиця 1 – Технічно видобувні запаси із сланців за даними EIA, ARI на січень 2014 р. і на вересень 2015 р. [EIA, 2014, 2015]

| 2013 р. ранг           | Країни          | Газ трлн. м <sup>3</sup> | 2015 р. ранг           | Країни          | Газ трлн. м <sup>3</sup> |
|------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------|
| 1                      | Китай           | 31,58                    | 1                      | Китай           | 31,58                    |
| 2                      | Аргентина       | 22,71                    | 2                      | Аргентина       | 22,70                    |
| 3                      | Алжир           | 20,21                    | 3                      | Алжир           | 20,02                    |
| 4                      | США             | 18,83                    | 4                      | США             | 17,63                    |
| 5                      | Канада          | 16,23                    | 5                      | Канада          | 16,22                    |
| 6                      | Мексика         | 15,43                    | 6                      | Мексика         | 15,44                    |
| 7                      | Австралія       | 12,38                    | 7                      | Австралія       | 12,16                    |
| 8                      | Південна Африка | 11,04                    | 8                      | Південна Африка | 11,04                    |
| 9                      | Росія           | 8,07                     | 9                      | Росія           | 8,06                     |
| 10                     | Бразилія        | 6,94                     | 10                     | Бразилія        | 6,94                     |
| <b>Загальносвітові</b> |                 | <b>206,71</b>            | <b>Загальносвітові</b> |                 | <b>214,57</b>            |

Джерело; [39].

На даний час найбільш інтенсивно сланцевий газ видобувається у США, тут оконтурено 37 газосланцевих плів, загальною площею більше 1 млн. км<sup>2</sup> [15], рис. 1.



Рис. 1 – Сланцеві пліви Північної Америки. Джерело [10, <http://www.vzg.ru/slanplei.pdf>]

Промисловий видобуток сланцевого газу у США на даний час здійснюється на таких основних родовищах (пліях):

- Barnett (Барнет), Техас;
- Marcellus (Марселлус), Аппалаччі;
- Haynesville (Хейнесвілл), Луїзіана, Арканзас;
- Fayetteville (Фаетвілл), Арканзас;
- Woodford (Вудфорд), Оклахома;
- Antrim (Антрім), Мичиган;
- New Albany (Нью-Олбані), Іллінойс.

Їх найважливіші характеристики подані у табл. 2.

Першим і найбільш крупним об'єктом видобування сланцевого газу у Північній Америці стали чорносланцеві породи формації Барнет, де промислові притоки газу були отримані ще у 1981 році. Формація Барнет представляє собою сіро-коричневі, у різній степені карбонатноглинисті породи, що утворились в морському басейні у середньо- і пізньомісісіпський (візейсько-серпухівський) час (323-354 млн років назад) [8, с. 157]. Сланці Барнет розповсюджені на площі 20 тис. км<sup>2</sup> у 17 округах штату Техас. Вони являють собою єдине гігантське родовище (мегарезервуар сланцевого газу, початкові ресурси 1649 млрд. м<sup>3</sup>), у межах якого виділяють: центральну «ядерну» частину Core Area – площею 5000 тис. км<sup>2</sup>, початкові ресурси 756 млрд. м<sup>3</sup>; I Extension – площею 10000 тис. км<sup>2</sup>, 608 млрд. м<sup>3</sup>; II Extension – площею 5500 тис. км<sup>2</sup>, 285 млрд. м<sup>3</sup> [5, с.27; 15]. Сланці Барнет мають чорний колір, підвищену радіоактивність, вміст глинистих речовин 20-30%, вміст органічної речовини 1-4,5%, степінь катагенезу – R<sup>0</sup> від 0,8 до 1,2% (мезокатагенез), пористість 1-6%, глибина залягання – 750-2500 м ( в середньому 1700 м), видобувні запаси оцінюються у 1,25 трлн. м<sup>3</sup> [5, с. 27; 8, с. 157]. Щільність буріння – 3 сверд./км<sup>2</sup>, середня продуктивність однієї свердловини 9,1-9,4 тыс. м<sup>3</sup>/доб./сверд. [8, с. 157;9].

**Таблиця 2 – Характеристики основних формацій сланцевого газу США**

| Формація   | Marcellus                                       | Haynesville   | Barnett    | Fayetteville | Woodford       | Antrim   | New Albany |
|--|---|---------------|------------|--------------|----------------|----------|------------|
| Басейн/область                                   | Пенсільванія, Огайо, Нью-Йорк, Західна Віргінія | Східний Техас | Техас      | Аркома       | Аркома         | Мічиган  | Ілінойс    |
| Площа поширення сланців, км <sup>2</sup>         | 246000  | 23300         | 20000      | 23400        | 37730          | 31000    | 112600     |
| Геологічні запаси, трлн. м <sup>3</sup>          | 42  | 20            | 9,15       | 1,5          | 1,45           | 2,1      | 4,5        |
| Видобувні запаси, трлн. м <sup>3</sup>           | 10,1  | 7,17-8,5      | 1,25       | 1,2          | 0,3            | 0,56     | 0,53       |
| Вміст газу (м <sup>3</sup> /т)                   | 1.70-4.25                                       | 2.82-9.344    | 8.49-9.90  | 1.70-6.23    | 5.65-8.49      | 1,1-2,8  | 1,1-2,2    |
| Адсорбований газ (%)                             | 45  | 25            | 55         | 50-70        | 60             | 70       |            |
| Вільний газ (%)                                  | 55  | 75            | 45         | 30-50        | 40             |          |            |
| Глибина залягання сланців (м)                    | 1219.2-   | 3200.4-       | 1981- 2591 | 300-2135     | 1828.8- 3962.4 | 122-914  | 150-600    |
| Середня глибина (м)                              | 2590.8  | 4114.8        | (1700)     | (1737.36)    |                |          |            |
| Загальна товщина горизонту (м)                   | (58)  | 69            | 61-305     | 15-99        | 30-274         |          |            |
| Ефективна товщина сланців (м)                    | 15-107  | 46-122        | 30-213     | 6-61         | 30-67          | 20-35    | 15-610     |
| Середнє значення (м)                             | (46)  | (79)          | (91)       | (41)         |                |          | (45,7)     |
| Пористість (%)                                   | 4.0-12.0  | 4.0-14.0      | 4.0-6.0    | 2-8          | 5.0 (3-9)      | 2-10     | 10--14     |
| Середнє значення (%)                             | (6.2)   | (8.3)         | (5)        | (6)          |                |          |            |
| Проникливість, нанодарсі                         | 0-70  | 0-5000        | 0-100      | 0-100        | 0-700          |          |            |
| Середнє значення, нанодарсі                      | (20)  | (350)         | (50)       | (50)         | (25)           |          |            |
| Ступінь катагенезу R <sub>o</sub> (%)            | 0.9- 5.0  | 1.20-2.40     | 0.85- 2.1  | 2.0- 4.5     | 0.7- 4.0       | 0,4-0,6  | 0,6        |
| Середнє значення (%)                             | (1.5)   | (1.5)         | (1.6)      | (2.5)        | (1.5)          |          |            |
| Водневий індекс початковий                       | 507   | 722           | 434        | 404          | 503            |          |            |
| Вміст органічної речовини, %                     | 2.0-13.0  | 0.7-6.2       | 3.0-12.0   | 2.0-10.0     | 3.0-12.0       | 0,5-24   | 6-10       |
| Середнє значення (%)                             | (4.01)  | (2,8)         | (3,74)     | (3.77)       | (5,34)         |          |            |
| Вміст глинистої складової, %                     | 35  | 30            | 20-30 (25) | 38           |                |          |            |
| Вміст кварцової складової, %                     | 37  | 30            | 29-38      | 35           |                |          |            |
| Кількість пробурених свердл, од.                 | 500   | 1798          | 11800      | 2915         | більше 140     | 9600     |            |
| Щільність буріння, свердл./км <sup>2</sup>       | 0,16-0,6  | 0,16-2,2      | 0,2-0,6    | 0,3-0,6      | 2,6            | 0,16-0,6 | 0,3        |
| Видобуток газу, тис.м <sup>3</sup> /доб./ сверд. | 87  | 17,5-50       | 9,4        | 14,8         | 11,6           | 3,5-5,6  | 1,09-12,9  |

Сформовано на основі джерел інформації [4, 5, 7, 8, 9, 10, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24]

Чорні і сірі сланці Marcellus (Марселлус) охоплюють значну частину території штатів Пенсильванія, Західна Віргінія та частину штатів Огайо і Нью-Йорк. Вони займають гігантську площу понад 246000 тис. км<sup>2</sup>, залягають на глибинах від 1200 до 3000 м і являють собою на даний час найбільше родовище сланцевого газу. Геологічні запаси сланцевого газу тут оцінюються у 42 трлн. м<sup>3</sup> (наводяться оцінки у 489 трлн. м<sup>3</sup> [7, с. 59]), видобувні у 10,1 трлн. м<sup>3</sup>. Вміст органічної речовини у породах цієї формації коливається від 2 до 13% (середнє значення 4,01%), степінь катагенезу ПК<sub>3</sub>-МК<sub>2</sub> (прото-мезокатагенез – R<sup>o</sup> від 0,9 до 5% (середнє значення 1,5%)), пористість коливається в межах 4-12% (середнє значення 6,2%). Сланці Марселлус мають сприятливий мінеральний склад, порівняно низьку щільність, більш пористі, що приводить до накопичення більшої кількості вільного газу. Деякі характеристики сланців змінюються із сходу на захід і з півночі на південь. Так, в західній частині басейну встановлені більш високі вмісти органічного вуглецю, але тут формація є малопотужною і формувалась в мілководних умовах. У східній частині вміст органіки знижується одночасно зі зростанням глибини формування, товщиною відкладів, вмістом кварцу [7, с. 62]. Ефективна потужність продуктивної товщі сланців міняється від 15 до 107 м (середнє значення 46 м). Щільність буріння – 0,16-0,6 свердл./км<sup>2</sup>, середня продуктивність однієї свердловини 87 тис. м<sup>3</sup>/доб./сверд. [8, с. 162; 9]. Оскільки це найвища середня продуктивність серед сланцевих порід США, видобування сланцевого газу на пліє Марселлус стрімко розвивається, і саме тут, у 2016 році видобувались його найбільші обсяги, 515 млн. м<sup>3</sup> на добу, 188 млрд. м<sup>3</sup> у рік [23].

Сланці Haynesville (Хейнесвілл) розповсюджені на території північно-східної частини Луїзіани, східної частини Техасу і південної частини Арканзасу. Вони мають вернеюрський вік і розповсюджені на площі 23,3 тис. км<sup>2</sup>. Глибина залягання порід цієї формації 3200-4115 м, ефективна потужність газонесних сланцевих пластів 42-122 м. Вони містять 0,7-6,2% органічної речовини з достатньо високим рівнем катагенезу (R<sup>o</sup> від 1,2 до 2,4%), мають досить високу пористість 4- 14% та вміст газу 2,8- 9,4 м<sup>3</sup>/т [8; 9]. За існуючими оцінками видобувні запаси сланців Хейнесвілл складають 7,17- 8,5 трлн. м<sup>3</sup>, що робить їх одними із найкрупніших газових ресурсів США і четвертими по величині у світі. Сланці Хейнесвілл знаходяться на великій



глибині, що зумовлює більш високі пластові тиски. Тому свердловини у сланцях Хейнесвілл характеризуються високими початковими дебітами.

Чорносланцева формація Fayetteville (Фаєтвілл), розміщена у Північному Арканзасі і Східній Оклахомі. Сланці Фаєтвілл приурочені до відкладів нижнього карбону, що залягають в інтервалі глибин 300-2135 м. Це темно-сірі, ущільнені глини, вміст органічної речовини в яких коливається від 2 до 10% (середнє значення 3,77%), степінь катагенезу ПК<sub>3</sub>-МК<sub>1</sub> (прото-мезокатагенез – R<sup>o</sup> від 2,0 до 4,5% середнє значення 2,5%), пористість 2-8%, глибина залягання 300-2135 м, видобувні запаси оцінюються у 1,2 трлн. м<sup>3</sup>, щільність буріння – 0,3-0,6сврд./км<sup>2</sup> [8, с. 162; 9].

Майже у 2 рази нижчий вміст газу та величини ефективної потужності, зумовлює значно нижчі геологічні запаси газу сланців Фаєтвілл у порівнянні зі сланцями Барнет – 1,5 та 9,15 трлн. м<sup>3</sup> відповідно. Розробка сланців Фаєтвілл розпочалася у 2000 році, після того як газові компанії вже мали успішний досвід горизонтального буріння та застосування гідророзривів при розробці сланців Барнет. Тому такий технологічний показник, як видобуток газу 14,8 тис. м<sup>3</sup>/доб./сврд. є кращим ніж на плеї Барнет.

Сланці Woodford (Вудфорд) розміщені на півдні центральної частини штату Оклахома. Це формація девонських сланців площею 37730 км<sup>2</sup>, які залягають на глибині 1829-3962 м і мають ефективну потужність, яка міняється у межах 30-67 м. Вони містять 3,0%-12% органічної речовини з достатньо високим рівнем катагенезу (R<sup>o</sup> від 0,7% до 4%), мають пористість 3%- 9% (середнє значення 5%) та високий вміст газу 5,65-8,49 м<sup>3</sup>/т. За існуючими оцінками геологічні запаси сланців Вудфорд складають 1,45 трлн. м<sup>3</sup>, видобувні запаси 0,32 трлн. м<sup>3</sup>. Щільність буріння становить 2,6 сврд./км<sup>2</sup>, середня продуктивність однієї свердловини 11,6 тис. м<sup>3</sup>/доб./сврд. [4, 8, 9, 20].

Сланці Antrim (Антрім) пізньодевонського віку розміщені в північній частині півострова Мічіган на площі 31000 м<sup>2</sup>, глибина залягання 122-914 м. Формація Антрім містить алевритисті (алевропелітові) чорні сланці зі вмістом органічної речовини, що міняється у широких межах від 0,5 до 24%, хоча ці сланці є відносно не зрілими за ступенем катагенезу (R<sup>o</sup> від 0,4% до 0,6% [21]). Поряд із цим, вони є досить тріщинуватими внаслідок регіональних або локальних тектонічних подій [8, с. 173]. Сланці Антрім мають ефективну товщину 20-35 м, їх пористість міняється від 2 до 10%, вміст газу становить 1,1-2,8 м<sup>3</sup>/т, при цьому адсорбований газ складає 70%. Геологічні запаси сланців Антрім складають 2,1 трлн. м<sup>3</sup>, видобувні запаси 0,56 трлн. м<sup>3</sup>. На даний час тут пробурено більше 9600 свердловин, щільність буріння становить 0,16-0,6 сврд./км<sup>2</sup>, продуктивність свердловин коливається у межах 3,5-5,6 тис. м<sup>3</sup>/доб./сврд. [4, 8, 9, 20]. Негативним при розробці сланців Антрім є те, що у газі, поряд із метаном, міститься 10-20% вуглекислого газу [8, с. 173].

Формація сланців New Albany (Нью-Олбані) верхнедевонського віку розповсюджена у південно-східній частині штату Іллінойс, південно-західній Індіані і північно-західній частині штату Кентуккі на площі 112 600 км<sup>2</sup>, глибина залягання 150-600 м. Ефективна потужність цих сланців міняється у межах 30-122 м, вони містять 6%-10% органічної речовини з низьким рівнем катагенезу (R<sup>o</sup> – 0,6%), мають пористість, що міняється у межах 10%-14% та відносно не високий вміст газу 1,1-2,2 м<sup>3</sup>/т. За існуючими оцінками геологічні запаси сланців Нью-Олбані складають 4,5 трлн. м<sup>3</sup>, видобувні запаси 0,53 трлн. м<sup>3</sup>. Щільність буріння становить 0,3 сврд./км<sup>2</sup>, середня продуктивність однієї свердловини міняється у межах 1,09-12,9 тис. м<sup>3</sup>/доб./сврд. [4, 8, 9, 20, 21, 22].

Окрім цих основних сланцевих формацій, у США на даний час розвідані і вже експлуатуються свердловини на таких сланцевих плеях як: Lewis (Льюїс) у штатах Нью-Мексіко і Колорадо, Eagle Ford (Ігл Форд), Utica (Ютіка) у Мічігані, Bossier (Босьєр) у східному Техасі [25]. Динаміка видобування сланцевого газу на різних плеях США зображена на рис. 2.

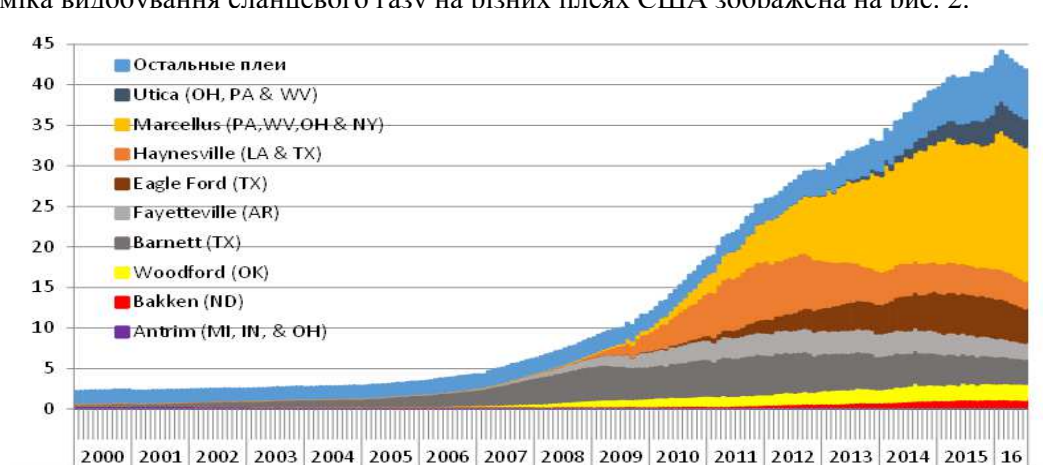


Рис. 2 – Видобуток сланцевого газу на різних плеях США, млрд куб. футів на добу. Джерело: EIA Monthly Energy Review, August 2016.

Необхідно зазначити, що за останні роки видобуток сланцевого газу практично перевищив 50% від загального обсягу видобування природного газу в США (рис. 3).



**Рис. 3 – Загальний видобуток газу і видобуток сланцевого газу на різних плеях США, млрд куб. футов на добу. Джерело: EIA Monthly Energy Review, August 2016 [25].**

Після США найбільш розвинутою країною щодо рівня розвідки і видобування сланцевого газу у Північній Америці є Канада. Геологічні ресурси сланцевого газу Канади у її сланцевих басейнах подані у табл. 3.

**Таблиця 3 – Геологічні ресурси сланцевого газу Канади**

| Напрями геологорозвідувальних робіт на сланцевий газ | Геологічні ресурси, трлн. м <sup>3</sup> |
|--|--|
| Horn River (Хорн Рівер)                              | Більше 14,3                              |
| Cordova Embayment (Кордова Ембеймент)                | Більше 5,7                               |
| Montney (Deep Basin)                                 | До 11,4                                  |
| Colorado Group (Група Колорадо)                      | Більше 8,6                               |
| Мічіганский басейн                                   | Більше 6,4                               |
| Utica (Ютика) і Lorraine (Лорейн)                    | Більше 1,1                               |
| Windsor (Віндзор), Нова Шотландія                    | 2,5-3,1 на розріз                        |
| Frederick Brook (Фредерік Брук)                      | До 17,1 млрд. м <sup>3</sup> /кв. милю   |

Джерело [21, с. 188].

Однак, основні види геологорозвідувальних робіт та обсяги видобування сланцевого газу у Канаді зосереджені на плеях Montney (Монтеней) і Horn River (Хорн Рівер). Характеристики цих основних формацій сланцевого газу Канади подані у табл. 4.

Формація Montney (Монтеней) знаходиться на південному заході країни, на границі провінції Британська Колумбія і Альберта. Це формація тріасових сланців представлених алевритистими тонкозернистими піщаниками з глибиною залягання 1097-2743 м, їх ефективна потужність коливається від 107 м до 300 і більше метрів, але в середньому становить біля 125 м [4, с. 4; 8, с. 191]. Вони містять 0,2 до 11% органічної речовини, з ступенем катагенезу R<sup>0</sup> – 0,9-2,5% (середнє значення 1,6%), мають пористість 1-6% та досить високий вміст газу 8,49 м<sup>3</sup>/т. За існуючими оцінками, геологічні запаси сланців Монтеней складають 11,4 трлн. м<sup>3</sup>, видобувні 1,97 трлн. м<sup>3</sup>, середня продуктивність однієї свердловини становить 45 тис. м<sup>3</sup>/добу [20].

Багаті кремнеземом і збагачені органікою сланці Horn River (Хорн Рівер) знаходяться на північному сході Британської Колумбії і залягають в основі девонської карбонатної формації Слейв Пойнт (Slave Point). Сланці цієї формації залягають на глибині 2500-3000 м, мають ефективну потужність 100-150 м. Вміст органічної речовини 0,5-6%, ступінь катагенезу R<sup>0</sup> – 2,2-2,8%, пористість коливається у межах 3,2- 6,2%, містять газу 5,2 м<sup>3</sup>/т. Геологічні запаси сланців Хорн Рівер складають 14,3 трлн. м<sup>3</sup>, видобувні 3,77 трлн. м<sup>3</sup>. Видобуток газу з однієї свердловини коливається в межах 2,8-51,4 тис. м<sup>3</sup>/доб./ свердл., середня продуктивність складає близько 23 тис. м<sup>3</sup>/доб./ свердл.

Однак, частка сланцевого газу у загальному обсязі видобування природного газу Канади, яка у 2015 році видобула 161,274 млрд м<sup>3</sup> (5 місце у світі [26]) є поки, що не значною. Видобуток сланцевого газу із плеїв Монтеней та Хорн Рівер у 2014 році становив 30 млрд. м<sup>3</sup> у рік [27], що має просте пояснення – на даний час на газовому ринку Північної Америки є надлишкова пропозиція природного газу, а середня собівартість видобування конвекційного газу є значно

нижчою і, найімовірніше, Канада розглядає сланцевий газ як стратегічний резерв підтримки обсягів видобування природного газу в майбутньому.

Таблиця 4 – Характеристики основних формацій сланцевого газу Канади

| Формація   | Monteney  | Horn River |
|--|-----------|------------|
| Геологічні запаси, трлн. м <sup>3</sup>                        | 11, 4     | 14,3       |
| Видобувні запаси, трлн. м <sup>3</sup>                         | 1,97      | 3,77       |
| Щільність ресурсів газу, млн. м <sup>3</sup> / км <sup>2</sup> | 78-1700   | 664-3500   |
| Глибина залягання сланців (м)                                  | 1097-2743 | 2500-3000  |
| Загальна товщина горизонту (м)                                 | 274-457   | 500        |
| Ефективна товщина сланців (м)                                  | 107-300   | 100-150    |
| Вміст газу (м <sup>3</sup> /т)                                 | 8,49      | 5,2        |
| Адсорбований газ (%)   | 10        |            |
| Вільний газ (%)  | 90        |            |
| Пористість (%)   | 1-6       | 3,2-6,2    |
| Проникливість, нанодарсі                                       | 5-75      |            |
| Середнє значення, нанодарсі                                    | (30)      |            |
| Ступінь катагенезу Ro (%)                                      | 0,9-2,5   | 2,2-2,8    |
| Середнє значення (%)   | (1,6)     |            |
| Водневий індекс початковий                                     | 354       |            |
| Вміст органічної речовини, %                                   | 0,2-11    | 0,5-6      |
| Середнє значення (%)   | (1,95)    |            |
| Вміст глинистої складової, %                                   | <30       | 20-40      |
| Кількість пробурених свердл, од.                               | 234       | 20         |
| Видобуток газу, тис.м <sup>3</sup> /доб./ сверд.               | 45        | 2,8-51,4   |

Джерела інформації [4, 5, 7, 8, 9, 17, 19, 20].

Якщо мова йде про сучасні тенденції у розвитку індустрії видобування сланцевого газу у світі, то на сьогодні першою країною поза Північною Америкою, яка видобуває сланцевий у промислових масштабах, став Китай. За результатами аналізу серед 41 країни Китай займає перше у світі місце за ресурсами сланцевого газу, геологічні запаси яких складають 120,2 трлн. м<sup>3</sup>, а видобувні 28,1 трлн. м<sup>3</sup> [3].

Найбільші ресурси сланцевого газу пов'язані із Китайською платформою, яка в докембрії розділилась на Корейсько-Китайську, Таримську і Янцзинську платформи [28, с. 29]. Загалом, за даними EIA/ARI ресурси сланцевого газу Китаю зосереджені у семи основних басейнах, табл. 5.

Таблиця 5 – Ресурси газу у сланцевих басейнах Китаю

| № п/п         | Басейн   | Ресурси газу, трлн. м <sup>3</sup> |           | Коефіцієнт вилучення, % |
|---------------|----------|------------------------------------|-----------|-------------------------|
|               |          | Геологічні                         | Видобувні |                         |
| 1             | Sichuan  | 52,7                               | 14,2      | 26,9                    |
| 2             | Yangtze  | 16,9                               | 4,2       | 24,9                    |
| 3             | Jiangnan | 3,2                                | 0,8       | 24,9                    |
| 4             | Subei    | 5,1                                | 1,3       | 25                      |
| 5             | Tarim    | 27,7                               | 6,1       | 25,5                    |
| 6             | Junggar  | 10,2                               | 1,0       | 9,8                     |
| 7             | Songliao | 4,4                                | 0,5       | 11,4                    |
| <b>Всього</b> |          | 120,2                              | 28,1      | 23,4                    |

Джерела [29, 30]

Особливий інтерес тут представляють два крупних осадових басейни – Сичуанський на півдні і Таримський на заході Китаю.

Платформа Янцзи (Yangtze), за даними ARI, є регіональним нафтогазоносним мегабасейном площею біля 1,6 млн км<sup>2</sup>. Вона включає басейни: Сичуань (Sichuan), Янцзи (Yangtze), Цзянхань (Jiangnan).

1. Басейн Сичуань (Sichuan), в якому на даний час видобувається біля 15 млрд м<sup>3</sup> газу в рік (42 млн м<sup>3</sup>/добу). Ресурси сланцевого газу тут зосереджені, в основному, в триасових, структурно-стратиграфічних пастках, що зустрічаються по всьому басейні. Тут також виявлені багаті органічною речовиною палеозойські сланці морської генези, що залягають глибше і є основним об'єктом розробки. Також, найбільш багаті органічною речовиною сланці представлені силурійськими, кембрійськими і пермськими формаціями, серед яких основною є чорна, кремениста, насичена граптолітами силурійська товща, середньою потужністю більше 300 м і вмістом ОР до 4%.

Другим, за важливістю об'єктом для розробки в Сичуанському басейні є сухий сланцевий газ кембрійської формації, що залягає на глибині до 5 км і яка має потужність 250 – 300м. Чорні сланці цієї формації містять значну кількість органіки ( $C_{org} = 0.73-10.4\%$  [31]), є дуже крихкими, оскільки в них є значна кількість кварцу та інших крихких мінералів (65%) і мало глини (до 30%), що є сприятливим для проведення ГРП. Сланці кембрію і силурву подібні до північноамериканських аналогів. Необхідно зазначити, що в північно-західній частині басейну в газі виявлені дуже високі концентрації сірководню (до 50%) і вуглекислого газу (до 18%), що знижує інвестиційну привабливість цих об'єктів.

На даний час в східній частині депресії Сичуань розпочата промислова експлуатація родовища сланцевого газу Фулін. Основні геолого-технічні характеристики цієї формації подані у табл. 6.

**Таблиця 6 – Характеристики формації сланцевого газу Фулін**

| <b>Формація</b>                                  | <b>Fuling</b>                               |
|--|---|
| Басейн/область                                   | Сичуань                                     |
| Площа поширення сланців, км <sup>2</sup>         | 280   |
| Геологічні запаси, трлн. м <sup>3</sup>          |   |
| Видобувні запаси, трлн. м <sup>3</sup>           | 2,1   |
| Щільність ресурсів газу, середня                 | $65 \times 10^8 \text{ м}^3 / \text{км}^2$  |
| Щільність ресурсів газу, максимальна             | $275 \times 10^8 \text{ м}^3 / \text{км}^2$ |
| Глибина залягання сланців (м)                    | 2200-3500                                   |
| Загальна товщина горизонту (м)                   | 300-600                                     |
| Ефективна товщина сланців (м)                    | 70,1-80,6                                   |
| Вміст газу (м <sup>3</sup> /т)                   | 0,63-9,63                                   |
| Адсорбований газ (%)                             | 10  |
| Вільний газ (%)                                  | 90  |
| Пористість (%)                                   | 1,17-8,61                                   |
| Карбонатність, %                                 | 9,77  |
| Ступінь катагенезу Ro (%)                        | 2,42-2,8                                    |
| Середнє значення (%)                             | (2,59)                                      |
| Вміст органічної речовини, %                     | 0,46-7,13                                   |
| Середнє значення (%)                             | (2,66)                                      |
| Вміст глинистої складової, %                     | 40,9  |
| Вміст кварцевої складової, %                     | 37,3  |
| Кількість пробурених сверд, од.                  | 164   |
| Видобуток газу, тис.м <sup>3</sup> /доб/ сверд.  | 11,55-54,73                                 |
| Середнє значення, тис.м <sup>3</sup> /доб/ сверд | (15,11)                                     |

Джерела інформації [28, 29, 30]

Після введення в експлуатацію плею Фулін Китай зайняв друге місце в світі за обсягами видобування сланцевого газу. В кінці 2016 року китайська компанія Sinopec об'явила, що їх проект з видобування сланцевого газу на Фулін у провінції Чунцин досяг річних обсягів видобутку 5 млрд куб. м [32].

2. Басейн Янцзи (Yangtze) розміщений на півдні Китаю і представлений двома потужними (від 150 до 300м) товщами газонесних сланців морського походження нижнього кембрію і силурву, що залягають на глибинах 3–5 км. Сланці містять 3–3,2%  $C_{org}$  і, переважно, сухий газ при умовах, близьких до гідростатичних.

3. Басейн Цзянхань (Jianghan) розміщений на південному сході Китаю в сланцевому поясі платформи Янцзи. Це район традиційного видобування нафти, вигідно розташований відносно великих міст. Цзянхань – рифтовий басейн, його формування відноситься до крейдового і третинного періоду і це пов'язано із трансгресією в результаті зіткнення з Індійським субконтинентом. Тому ті ж породи сланцевої товщі, що і в Сичуані є дуже тектонічно порушеними, залягають значно глибше (4 – 5км) і є складними для розробки.

4. Басейн Субей (Subei) розміщений на побережжі Жовтого моря, поблизу Шанхаю. Кембрійські сланці морського походження тут містять біля 2.1% ОР, мають середню потужність 120м і залягають на глибині 4 – 5км [29]. Ці поклади дещо нагадують Марселлус в США, але в Субею вони структурно значно складніші. Ордовікські і силурійські формації мають середній вміст органічної речовини 1.1%, потужність 250м і залягають на глибині біля 3.5км. Кремністі сланці пермського походження залягають на глибині 1 – 2,5км. Вміст  $C_{org}$  у них поки що не встановлений, імовірно до 2% [30].

5. Басейн Тарим (Tarim) на Таримській платформі має великий потенціал для видобування сланцевого газу. Починаючи з другої половини рифея, Таримська платформа інтенсивно прогиналась і перетворилась в крупний осадовий басейн, з потужністю осадових порід 12-15 км. Сланцеві формації тут відносяться до кембрію і ордовіку, вони представляють собою багаті карбонатами і граптолітами чорні сланці морського походження.



В котловинах Маньзяер і Аваті потужність сланців кембрійського віку становить більше 1000 м. Ці сланці мають високий вміст органічної речовини (0.1 до 5.5%, в середньому 1.2%) [31], низьку глинистість, високу пористість, містять сухий газ. Ресурсний потенціал сланців ордовікського віку в котловині Маньзяер навіть вищий від кембрійських, ефективна потужність 1600 м і більш високий вміст органічної речовини. Ордовікські сланці в котловині Аваті мають ефективну потужність біля 400 м.

Однак велика глибина залягання (4000-6000 м), віддаленість району, нестача води для ГРП (басейн Тарім знаходиться в пустелі Такла-Макан), поки що обмежують тут обсяги геологорозвідувальних і бурових робіт [2].

6. Басейн Джунгар (Junggar) містить потужні (в середньому – 300м) товщі пермського віку, багаті ОР (до 20%, в середньому 4%), які характеризуються підвищеним пластовим тиском. Термічна зрілість сланців коливається від нафти до важкого газу в межах всієї площі [29]. Тріасові пласти менш потужні, але також є перспективними для розробки. Структурна геологія басейну досить нескладна, проте при розробці покладів Джунгар основним ризиком є озерне, а не морське походження сланців, у зв'язку з цим можуть виникати технічні проблеми при ГРП, пов'язані з ступенем придатності до гідророзриву. Окрім цього, сланці басейну Джунгар оцінюються серед всіх басейнів СГ в Китаї найменшою величиною коефіцієнта вилучення СГ (9.8%, табл. 5).

7. Басейн Сонляо (Songliao) на сьогодні є одним із найкрупніших нафтовидобувних районів Китаю. Окрім традиційних нафтових родовищ в ньому виявлені потужні нижньокрейдові пласти сланців озерного походження, багаті глиною, але їх перевага полягає в дуже високому градієнті пластового тиску, що призводить до природної тріщинуватості [29]. Перспективні сланці виявлені в ізольованих напівграбенах, на глибинах від 300 до 2500м.

Деякі інші осадові басейни Китаю можуть виявитись перспективними для видобування сланцевого газу, але вони недостатньо вивчені і це не дає змоги оцінити їх геологічні ресурси.

Наприклад, нафтогазоносний басейн Турпан (Turpan) містить багаті органікою сланці пермського походження. Басейн Цайдам (Qaidam) має в своєму складі аргіліти верхнього тріасу з високим вмістом ОР, але ці породи залягають надто глибоко. Басейн Ордос, розміщений на півночі Китаю (провінція – Внутрішня Монголія), є формацією зі значними обсягами видобування газу із щільних колекторів, має відносно просту геологічну будову, проте верхнетріасові сланці характеризуються високим вмістом глин (40 – 60 %), характеризуються невисоким вмістом органічної речовини і, поки що не ясно, чи недавно пробурені тут тестові свердловини видобувають газ із сланцевих порід чи з суміжних щільних пісковиків.

Досвід і кваліфікація працівників китайських видобувних компаній постійно зростає, собівартість буріння свердловин і здійснення ГРП постійно знижується (9 млн. дол. в 2016 р.). Як вже зазначалось, на даний час в Китаї найбільш активно зростають обсяги видобування сланцевого газу в Сичуанському басейні. Якщо видобування тут зростатиме таким ж темпами, тобто подвоюватиметься протягом року, то за прогнозами аналітиків до 2020 року воно досягне обсягу 60 млрд. м<sup>3</sup> в рік [30].

Після Китаю і США, третє місце у світі за обсягами запасів сланцевого газу (геологічні запаси 77 трлн. м<sup>3</sup>, видобувні 21.9 трлн. м<sup>3</sup>), займає Аргентина [2, с. 43]. Найбільший потенціал для видобування сланцевого газу має басейн Невкен (Nevquen), розміщений заході центральної частини Аргентини, де середньоюрська світа Лос-Моллес і ранньокрейдова світа Вака-Муерта мають відклади, багаті органічною речовиною. У табл. 7 подані характеристики одного із плів світи Вака-Муерта.

Таблиця 7 – Характеристики світи Вака-Муерта

| Формація  | Vaca Muerta |
|---|-------------|
| Басейн/область                                  | Невкен      |
| Площа поширення сланців, км <sup>2</sup>        | 30000       |
| Видобувні запаси, трлн. м <sup>3</sup>          | 8,7         |
| Глибина залягання сланців (м)                   | 2200-3000   |
| Середня глибина залягання                       | 2440        |
| Загальна товщина горизонту (м)                  | 150-600     |
| Ефективна товщина сланців (м)                   | 30-450      |
| Середня ефективна товщина сланців (м)           | 258         |
| Пористість (%)                                  | >5          |
| Ступінь катагенезу Ro (%)                       | 0,6-1,35    |
| Середнє значення (%)                            | (0,9)       |
| Вміст органічної речовини, %                    | 3-10        |
| Середнє значення (%)                            | (4)         |
| Кількість пробурених свердл, од.                | 650         |
| Видобуток газу, тис.м <sup>3</sup> /доб/ сверд. | 43          |

Джерела інформації [2, 33, 34, 35, 36, 37].

Ця світа характеризується високим вмістом органічної речовини 3-10% (середнє значення 4%), помірно середньою глибиною залягання сланцевих порід – 2440 м і аномально високим

пластовим тиском. Перші результати засвідчили високу продуктивність цього плею. Свердловина La Ribera x-1 показала початкову продуктивність 43 тис. м<sup>3</sup> газу за добу, при потужності продуктивної товщі сланцевих порід 258 метрів [33].

Світа Лос-Моллес залягає на більшій глибині (в середньому 3810 м), має більшу площу, але разом з цим нижчий вміст органічної речовини (в середньому 1,5%, хоча зустрічаються місця з підвищеним вмістом ОР – від 2 до 3%). Найбільш ймовірно, це є причиною більш низьких геологічних запасів світи Лос-Моллес, ніж світи Вака-Мверта [2].

Ще один басейн, для видобування сланцевого газу в Аргентині – Сан-Хорхе, який знаходиться в центральній Патагонії. Тут найбільш перспективними є відклади сланців Агуадо-Бандера пізньоюрського і ранньокрейдового віку, які залягають на глибинах від 3487 до 3706 м і, характеризуються високою термічною зрілістю, хоча ці сланці озерного походження, а вони вважаються менш перспективними об'єктами щодо видобування сланцевого газу ніж сланці морського походження. В басейні Сан-Хорхе також є інші відклади озерних сланців, зокрема, пласт Посо D-129, який характеризується хорошою термічною зрілістю, помірним вмістом органічної речовини та досить значною потужністю – 915 м. Найбільш перспективні ділянки для видобування СГ знаходяться в центральній і північній частині цього басейну.

Басейн Аустраль-Магальянес в центральній Патагонії знаходиться по обидві сторони границі між Аргентиною і Чілі. Основним об'єктом щодо видобування сланцевого газу тут є нижньокрейдовий пласт Нижній Іноцерамус, який представлений сланцями багатими органічною речовиною. Потужність цього пласта близь 200 м, він залягає на глибинах 2000-3000 м.

Нарешті, басейн Чако-Парана, що має величезні розміри, більше 1 294 994 км<sup>2</sup> і займає більшу частину Парагваю, частину Бразилії, Уругваю, Аргентини і Болівії. Тут, найбільш перспективним щодо сланцевого газу є пласт Сан-Альфредо, що являє собою потужний однорідний шар чорних сланців. Базуючись на скупих даних про потужність пласта, вміст органіки, був здійснений консервативний підрахунок геологічних запасів СГ цієї формації, які оцінені в 59 трлн. м<sup>3</sup>, із яких 14,8 трлн. м<sup>3</sup> вважаються видобувними [2].

Необхідно зазначити, що Аргентина є одним із найбільших ринків природного газу в Південній Америці. Річне споживання газу тут складає 53,5 млрд. м<sup>3</sup>, власний видобуток – 42,33 млрд. м<sup>3</sup>. Зважаючи на такі значні запаси сланцевого газу уряд Аргентини поставив ціль довести до 2040 року до 40% частку сланцевого газу на внутрішньому ринку [34].

Серед інших країн, які розпочали розвідку родовищ сланцевого газу на американському континенті є Мексика. Потенційні запаси газу в сланцях тут є в 5 басейнах – Бургос, Сабінас, Тампико, Туспан, Веракрус. За даними ЕІА США їх геологічні запаси складають 67 трлн. м<sup>3</sup>, із яких 19,3 трлн. м<sup>3</sup> вважаються технічно видобувними [2, с. 43]. У 2015 році національна компанія Ретех опублікувала результати випробовувань в 13 розвідувальних свердловинах, розмішених на мексиканській частині Eagle Ford Chale формації La Castia в басейні Бургос на північному сході Мексики. Десять із них дали комерційні притоки газу – від 2 до 11 млн ф<sup>3</sup>/доб. [35].

У Європі, першою із країн, що активно розпочала геологорозвідувальні роботи і видобування сланцевого газу, є Польща. Тут зосереджений, ймовірно, найбільший потенціал щодо СГ серед країн Європи. Балтійський і Люблінський басейни силурійського віку, що приурочені до Трансевропейської прирозломної зони, простягаються через всю країну з півночі її центральної частини до південного сходу.

На схід від цих двох басейнів знаходиться Підляшський басейн, геологічна будова якого ускладнена тектонічними розломами. Геологічні запаси сланцевого газу в цих трьох басейнах оцінюються у 22,4 трлн. м<sup>3</sup>, із яких 5,3 трлн. м<sup>3</sup>, вважаються технічно видобувними [2, с. 45].

Глибина залягання продуктивних сланців верхнього ордовіку і нижнього силуру в Балтійському басейні змінюється: від 1000 м на сході до 4500 м на заході; в Підляшському – від 500 м на сході до 4000 м в районі Варшави; в Люблінському – від 1000 м на сході до 3000–3500 м на заході (до 4330 м в свердловині Lopiennik IG-1), однак, далі на захід в районі Білгород-Нароль глибина залягання нижньопалеозойських комплексів зменшується до 500–1000 м. Ступінь катагенезу сланцевих формацій Польщі, збільшується в західному напрямку, але одночасно збільшується і глибина залягання, що ускладнює їх економічно рентабельну розробку.

Інші геолого-технічні характеристики основних сланцевих басейнів Польщі такі: в Балтійському басейні  $C_{орг} < 10\%$  (середнє значення 4%),  $R_o$  змінюється від 0,5–0,6 % у східній частині до 3,0–4,0% у західній, ефективна потужність становить 96 м, видобувні запаси оцінені у 3,65 трлн. м<sup>3</sup>; в Підляшському басейні  $C_{орг} < 20\%$  (6%),  $R_o$  – змінюється від 0,9–1,1 % в центральній частині до 1,3 % в західній, ефективна потужність становить 90,5 м, видобувні запаси – 0,40 трлн. м<sup>3</sup>; в Люблінському басейні  $C_{орг}$  змінюється від 1 до 2,5% (1,35%),  $R_o$  від 0,6–0,7 % на сході до 1,5–3,4 % на заході, ефективна потужність становить 69,5 м, видобувні запаси оцінені у 1,25 трлн. м<sup>3</sup> [7, с.71; 10; 22, с. 40].

Таким чином, перспективною для пошуків сланцевого газу у Польщі є смуга північно-західного простягання де одночасно спостерігається і досить значний вміст органічної речовини (1–6%), відносно висока стадія катагенетичних перетворень (0,8–2,5%  $R_o$ ) і порівняно невелика глибина залягання потенційно продуктивних товщ (в середньому 1000–2000 м). Вона продовжується на північний захід до Швеції, де вже почалися розвідувальні роботи на сланцевий газ, а на південний схід – до України, де у Львівсько-Волинському басейні (природному продовженні Люблінського басейну) також є поклади сланцевого газу [7, с.71].

За наявними джерелами інформації на даний час у Польщі пробурено більше 50 свердловин, на яких отримано такі результати: свердловина Lewino-1G2, розташована на півночі Польщі, біля міста Гданська – 5.663-11.327 тис. м<sup>3</sup>/доб. [38]; свердловина Lebien LE-2H, розташована у Поморському воєводстві, біля міста Лемборк, показала, поки що, найкращий результат – 15,4 тис. м<sup>3</sup>/доб. [27].

Окрім розглянутих країн, у яких на даний час вже здійснюється видобування сланцевого газу значні перспективи мають Росія, Австралія, Мексика, Бразилія, Алжир, Лівія, Південна Африка і, звичайно, Україна. Однак комерційний видобуток сланцевого газу потребує, в першу чергу, якісної геологічної інформації, яка дасть змогу виділити найбільш перспективні зони (Sweet spots) на сланцевих плеях, наявності сучасних технічних засобів і технологій для проведення бурових робіт, гідророзривів, а також відповідної інфраструктури у місцях видобування сланцевого газу для його збору і транспортування до споживачів.

Аналіз досвіду зарубіжних країн щодо розвідки і видобування сланцевого газу та подана вище характеристика сланцевих формацій, дала змогу встановити критерії найбільш перспективних зон, на яких сьогодні можливий комерційний видобуток сланцевого газу. Основні із них такі:

- наявність бітумогазоносних літолого-стратиграфічних комплексів осадових порід, представлених чорними сланцями та аргілітами з умістом сапропелевої або гумусової органічної речовини;

- глибина залягання 1200-3500 м;

- підвищений вміст органічної речовини, понад 3%;

- достатня для генерації вуглеводнів термальна зрілість порід (ступінь катагенезу від МК1 до МК3), яка визначається за показниками відбиття вітриніту – R<sup>o</sup> більше 0,5%;

- пористість більше 4%;

- проникливість більше 100 нанодарсі;

- ефективна потужність продуктивного горизонту більше 20 м;

- у складі породи вміст глинистих матеріалів не має перевищувати 35%;

- достатній вміст кварцової складової (сприятливі умови для штучного розушільнення, крихкість порід);

- наявність аномально високих пластових тисків;

- - приуроченість до прирозломних зон, де спостерігається підвищена вертикальна міграція флюїдів;

- підвищені значення теплового потоку із надр.

Виявлення таких зон є на даний час першочерговим завданням геологорозвідувальних робіт, які здійснюються з метою пошуків, розвідки та видобутку сланцевого газу.

**Висновки.** На сьогоднішній день чотири країни – США, Канада, Китай і Аргентина активно займаються комерційним видобутком сланцевого газу. Проведений збір і узагальнення доступної інформації, аналіз геолого-технічних і економічних характеристик основних сланцевих плеїв, на яких вже здійснюється видобування сланцевого газу, дав змогу встановити критерії для виділення найбільш перспективних зон сланцевих формацій. Подальші дослідження мають бути спрямовані на встановлення економіко-математичних залежностей, що дозволять здійснювати кількісну геолого-економічну оцінку найбільш перспективних зон для розробки сланцевих об'єктів.

### Література

1. Энергетична 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. – © Copyright 2012 Schlumberger.

3. World Shale Resource Assessments / EIA, 2015. [Електронний ресурс]. // Режим доступу: URL:<https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>.

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. Лукин А.Е. Сланцевый газ и перспективы его добычи в Украине / А. Е. Лукин // Геологический журнал. – 2010. – №3. – С. 17-33.

6. Лукин А. Е. О природе и перспективах газоносности низкопроницаемых пород осадочной оболочки Земли / А. Е. Лукин // Доповіді НАН України – 2011. - № 3. – С. 114–123.

7. Нетрадиційні джерела вуглеводнів України. Книга 1. Нетрадиційні джерела вуглеводнів: огляд проблеми. / [Куровець І. М., Михайлов В. А., Зейкан О. Ю. та ін.] – К.: Ніка-центр, 2014. – 208 с.

8. Цветков Л. Д. Сланцевые углеводороды (библиографический обзор) / Л. Д. Цветков, Н. Л. Цветкова [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://ftp.nedra.ru/rus/activity/archive/publications/hydrocarbons.pdf>.

9. Сорокин С. Н. Основные проблемы и перспективы добычи сланцевого газа / С. Н. Сорокин, А. А. Горячев – М.: 2012 [Електронний ресурс] // Режим доступу: [https://www.eriras.ru/files/Sorokin\\_Goryachev\\_OEPEE\\_slanec.pdf](https://www.eriras.ru/files/Sorokin_Goryachev_OEPEE_slanec.pdf).

10. Высоцкий В. И. Сланцевые плеи мира и их нефтегазоносный потенциал [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.vzg.ru/slanplei.pdf>.
11. Иванов Н. А. Американская сланцевая революция и ее влияние на мировые энергетические рынки / Н. А. Иванов [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.fief.ru/img/files/2016.10.06\\_IvanovNA\\_Slanceva\\_revol\\_ci\\_v\\_SSA.pdf](http://www.fief.ru/img/files/2016.10.06_IvanovNA_Slanceva_revol_ci_v_SSA.pdf).
12. 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.
13. 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.
14. Кришталь А. М. Світовий досвід вивчення та використання нетрадиційних вуглеводневих ресурсів / А. М. Кришталь // Мінеральні ресурси України. – К.: УкрДГРІ, 2015. – №1. – С. 27-37.
15. Циватый В. Г. Энергетическая дипломатия и безопасность: роль сланцевого газа в экономической политике Украины (институциональный аспект) / В. Г. Циватый [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [file:///D:/Downloads/Nvdau\\_2016\\_23\(3\)\\_17%20\(3\).pdf](file:///D:/Downloads/Nvdau_2016_23(3)_17%20(3).pdf).
16. 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.
17. Лукин А. Е. Черносланцевые формации эвскинского типа – мегаловушки природного газа / А. Е. Лукин // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2013. - № 4. – С. 5-28.
18. Лукин А. Е. Углеводородный потенциал больших глубин и перспективы его освоения в Украине / А. Е. Лукин // Геофизический журнал. – 2014. - №4. Т. 36. – С. 3-23.
19. Сланцевый газ [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://forexaw.com/TERMs/Raw\\_materials/Energy/11271](http://forexaw.com/TERMs/Raw_materials/Energy/11271).
20. Прищепа О. М. Понятійна база нетрадиційних видів і джерел вуглеводородного сиров'язь / О. М. Прищепа, О. Ю. Аверьянова, Э. М. Халимов // Недрa 2014. Изучение, разведка, добыча. Круглый стол «Изучение и освоение нетрадиционных видов УВ сырья» [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.ngtr.ru/present/Nedra2014.pdf>.
21. Ступакова А. Мифы о сланцевом газе / А. Ступакова, Д. Митронов. [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://ogjruussia.com/uploads/images/Articles/Oct2014\\_article1/28-37.pdf](http://ogjruussia.com/uploads/images/Articles/Oct2014_article1/28-37.pdf).
22. Касянчук С. В. Особливості розробки покладів нетрадиційного газу / С. В. Касянчук, Л. П. Мельник, О. Р. Кондрат // Нафтогазова галузь України. – 2013, №2. – С. 38-43.
23. Богоявленский В. И. Месторождение Марселлус – лидер сланцевой революции в США / В. Богоявленский, П. Баринов, И. Богоявленский, К. Якубсон // [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://burneft.ru/archive/issues/2016-12/16>.
24. Юрова М. П. Особенности разработки сланцевых углеводородов США (на примере формаций Бакен, Игл Форд, Барнетт, Хайнесвилл, Файетвилл, Марцеллус) / М. П. Юрова // [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://geors.ru/media/pdf/07\\_Yurova.pdf](https://geors.ru/media/pdf/07_Yurova.pdf).
25. Иванов Н. А. Американская сланцевая революция и ее влияние на мировые энергетические рынки / Н. А. Иванов [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.fief.ru/img/files/2016.10.06\\_IvanovNA\\_Slanceva\\_revol\\_ci\\_v\\_SSA.pdf](http://www.fief.ru/img/files/2016.10.06_IvanovNA_Slanceva_revol_ci_v_SSA.pdf).
26. 10 мировых лидеров по добыче газа в 2015 году [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://promtu.ru/dobyicha-resurov/lidery-po-dobyichi-gaza>.
27. Собко А. Сланцевая революция в мире: как не запутаться в цифрах / А. Собко [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.odnako.org/blogs/slancevaya-revoluciya-v-mire-kak-ne-zaputatsya-v-cifrah/>.
28. Лян С. Сравнительный анализ условий формирования и нефтегазоносности доманиковых отложений юго-востока Русской платформы и сланцевых пород нижнего палеозоя Сычуаньской депрессии платформы Янцзы Китая: дис. канд. геол.-мин. наук : 25.00.12 / С. Лян. – Москва, 2016. – 154 с. – [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.gubkin.ru/diss2/files/Dissertation\\_LIANG\\_X.pdf](http://www.gubkin.ru/diss2/files/Dissertation_LIANG_X.pdf).
29. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: China 2015 / EIA. [Электронный ресурс] // Режим доступа: URL: [http://www.eia.gov/beta/international/analysis\\_includes/countries\\_long/China/china.pdf](http://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/China/china.pdf).
30. Богоявленский В. И. Газовая революция в Китае / В. Богоявленский, П. Баринов, И. Богоявленский, К. Якубсон / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://burneft.ru/archive/issues/2016-11/3>.
31. Конохов А. И. Черные глины и другие отложения, обогащенные органическим веществом, на окраинах материков в раннем и позднем палеозое / А. И. Конохов // Вест. Моск. ун-та, сер. 4 «Геология». – 2015, № 4. – [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://istina.msu.ru/media/publications/article/e27/0aa/12204759/Konyuhov\\_Vestnik\\_4\\_2015.pdf](https://istina.msu.ru/media/publications/article/e27/0aa/12204759/Konyuhov_Vestnik_4_2015.pdf).
32. Сланцевый газ заменит уголь в Китае / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://regnum.ru/news/economy/2047628.html>.

33. YPF открыла новое месторождение сланцевого газа в Аргентине / [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://elektrovesti.net/39740\\_ypf-otkryla-novoe-mestorozhdenie-slantsevogo-gaza-v-argentine](http://elektrovesti.net/39740_ypf-otkryla-novoe-mestorozhdenie-slantsevogo-gaza-v-argentine).
34. Сланцевый газ: коротко о глобальных перспективах / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://geostrategy.ua/node/1342>.
35. Аргентина и Китай – лидеры по разработке сланцевых месторождений за пределами США [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.ngv.ru/analytics/>.
36. Иностранцы вложатся в аргентинское сланцевое Vaca Muerta: / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://regnum.ru/news/economy/2225654.html>.
37. Wintershall в Аргентине: информационный бюллетень компании Wintershall / [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://www.wintershall.ru/fileadmin/06\\_Reference\\_Data/01\\_Factsheets/02\\_Russian/Factsheet\\_Argentinien\\_ru.pdf](https://www.wintershall.ru/fileadmin/06_Reference_Data/01_Factsheets/02_Russian/Factsheet_Argentinien_ru.pdf).
38. San Leon Energy задоволена результатом гідророзриву в Польщі / [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://shalegas.in.ua/san-leon-energy-zadovolena-rezultatom/>.
39. Аверьянова О. Ю. Вариативность оценок углеводородного потенциала нефтегазоносных систем / Ю. А. Аверьянова, Д. Морариу // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.ngtp.ru/rub/6/32\\_2016.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/6/32_2016.pdf).

Стаття надійшла до редакції 05.11.2016 р.  
Рекомендовано до друку д.е.н., проф. **Полянською А. С.**

УДК 658:330.341.1

## ПРИРОДНІ МОНОПОЛІЇ: ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА РЕОРГАНІЗАЦІЇ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Гречаник Б.В.*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,  
м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, e-mail: econpid@nung.edu.ua*

**Анотація.** Проведено дослідження функціонування природних монополій (паливно-енергетичного комплексу) та особливості перебігу процесу їх “демонополізації” в умовах утвердження ринкової (лібералізованої) економіки. Ідентифіковано основні проблеми, які стримують процес “демонополізації” вітчизняних природних монополій. Проведені дослідження здійснювались на основі сукупності загальнонаукових методів, а саме: методів аналізу і синтезу, індукції та дедукції, системного підходу — для дослідження концептуальних основ функціонування і реорганізації природних монополій; для аналізу нормативно-правового забезпечення “демонополізації” вітчизняних природних монополій; для обґрунтування рекомендацій та пропозицій щодо активізації процесів лібералізації електроенергетичного та газового ринків в Україні; методу порівнянь — для виявлення особливостей забезпечення процесу “демонополізації” в країнах ЄС та Україні; статистичного аналізу — для оцінки економічного потенціалу вітчизняних підприємств нафтогазової промисловості. Запропоновано ряд рекомендацій щодо активізації процесів лібералізації електроенергетичного та газового ринків в Україні, пов’язаних, у першу чергу з імплементацією нашої країною Третього енергопакету ЄС. Отримано ряд висновків щодо необхідності доопрацювання та “розширення” програмних документів з реформування вітчизняної галузі енергетики з врахуванням регіональних особливостей для розвитку альтернативної енергетики та “стійких” енергетичних систем. Встановлено, що однією з системних проблем вітчизняної енергетики техніко-економічного характеру залишається проблема “критичного рівня” фізичного зносу основних засобів та недооцінка їх вартості.

**Ключові слова:** демонаполізація, лібералізації газового ринку, інновації, альтернативна енергетика.

The summary. The investigation of the functioning of the natural monopolies (fuel and energy complex) and especially as the course of the process of "deregulation" in terms of the establishment of the market (liberalized). You have identified the major problems that hinder the process of "deregulation" of domestic natural monopolies. Studies were carried out on the basis of the totality of the general scientific methods, namely: methods of analysis and synthesis, induction and deduction, a systemic approach is for the study of the conceptual bases of functioning and reorganization of natural monopolies; for the analysis of the regulatory-legal support "deregulation" of domestic natural monopolies; to study the recommendations and proposals for activating processes of the liberalisation of the gas and power markets in Ukraine; method comparisons is to identify the features of the software process "deregulation" in the EU and Ukraine; statistical analysis is to evaluate the economic potential of domestic enterprises in the oil and gas industry. Offered a series of recommendations for revitalizing the