

ЕКОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ П'ЄЗОМІНІМУМІВ ВОДОНАПІРНИХ СИСТЕМ В ЗЕМНІЙ КОРИ

²О.О.Орлов, ¹Л.А.Абукова, ¹Ю.І.Яковлев, ²В.Г.Омельченко, ³А.Я.Гасев, ⁴Cheng J.M., ⁴Zhao R.R.

¹ Університет нафтогазохімічної промисловості ім. І.М.Губкіна, РФ, 119333, м. Москва, вул. Губкіна, 3, e-mail: abukova@ipng.ru

² ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422), e-mail: ovgeo@iung.edu.ua

³ Уральське відділення РАН; РФ, 620041, м. Єкатеринбург, ГСП-169, вул. Первомайська, 91, e-mail: gaev@uran.ru

⁴ Китайський університет геологічних наук, No. 29 Xueyuan Lu, Haidian District, Beijing, P. R. China, e-mail: Ldb@cugb.edu.cn

Подается теоретичне обґрунтування поховання рідких виробничих відходів у межах депресійних п'єзомінімумів водонапірних систем, головною відмінністю яких є можливість поглинати флюїди, в тому числі і за рахунок низхідної міграції. Реалізація обґрунтованих у статті пропозицій може забезпечити екологічну чистоту не лише нафтогазових промислів, але й інших виробничих об'єктів. Описано існуючий світовий досвід поховання промстоків у зони глибинних п'єзомінімумів. З геоecологічних позицій розглянуті різномасштабні депресійні флюїдоносні системи Росії, України, Китаю, В'єтнаму, Білорусі.

Ключові слова: міграція, депресійна система, п'єзомінімум, тиск, прогин, плита.

Теоретически обосновано захоронение жидких производственных отходов в пределах депрессионных пьезоминимумов водонапорных систем, главной отличительной чертой которых является их возможность поглощать флюиды, в том числе, и за счет нисходящей миграции. Реализация обоснованных в статье предложений может обеспечить экологическую чистоту не только нефтегазовых промыслов, но и других производственных объектов. Описан существующий мировой опыт захоронения промстоков в зоны глубинных пьезоминимумов. С геоecологических позиций рассмотрены разномасштабные депрессионные флюидоносные системы России, Украины, Китая, Вьетнама, Белоруси.

Ключевые слова: миграция, депрессионная система, пьезоминимум, давление, прогиб, плита.

The theoretical grounds of liquid waste products burial in the limits of the depressing pressure water systems have been given. The main distinctive feature of these waste products is their downward migration of the underground waters. The realization of the offers studied in the article can provide the ecological purity of not only oil and gas businesses but also of other industrial objects. In the article the available world experience in field waste-waters burial is described in the zone of subsurface piezo-minimums. From the geo-ecological point of view the depressing fluid systems of Russia, Ukraine, China, Vietnam, Belarus.

Keywords: migration, depressing system, piezo-minimum, pressure, deflection, foundation.

Проблеми екологічної безпеки нашої планети постійно загострюються. Величезної шкоди планеті нанесло великооб'ємне поховання в морях і океанах різних токсичних відходів [8, 14 та ін.]. Людство постійно шукає шляхи подолання протиріч між неминучістю технічного прогресу і пов'язаним із ним погіршенням екологічного стану. Проте для сучасного стану науки і техніки все ще характерне існування численних виробництв з незамкнутими технологічними циклами і, як наслідок, наявність твердих або рідких відходів.

Переваги підземного поховання екологічно шкідливих рідких речовин (ЕШРР) очевидні; проекти неглибокого підземного поховання відходів стикаються з опозицією широкої громадськості. Оптимальним середовищем для розміщення сховищ статифіковані соляні товщі. Ще надійнішим є розміщення рідких токсичних відходів у кристалічних породах фундаментів (граніти та ін.), потужних ефузивних

утвореннях (вулканічні туфи, базальти). Поза сумнівом, стратегія глибинного поховання промислових відходів відповідає вимогам безпеки і, особливо, соціально-психологічним чинникам. Водночас, проблема використання літосфери як середовища для поховання токсичних і енергетично містких відходів значно розширює коло проблем, пов'язаних з геологічним обґрунтуванням цих заходів у кожному конкретному випадку. В даний час уже недостатньо інформації про геологічні і фізико-хімічні процеси, що протікають в незмінених умовах, і очікування інженерно-геологічних змін після введення у експлуатацію підземних сховищ [10].

Сучасне наукове обґрунтування підземних сховищ ЕШРР вимагає аналізу цілого ряду параметрів (енергетичних, геохімічних, геодинамічних, геофізичних та ін.). Особливу роль відіграють гідрогеологічні умови поховання, оскільки, з одного боку, саме з водою як з рух-



Рисунок 1 – Екологічна концепція розробки родовищ нафти і газу в межах депресійної флюїдоносної системи

ливою складовою літосфери пов'язані найбільш реальні небезпеки забруднення геологічного середовища токсичними продуктами техногенезу, але з іншого боку, вода сама є об'єктом охорони від дії техногенних негативних чинників [26 та ін.]. Багаторічні дослідження засвідчили, що найбільш оптимальним варіантом з гідрогеологічних позицій є поховання ЕШРР у глибинні частини осадового чохла в умовах наявності депресійних флюїдоносних горизонтів [2, 8, 10, 25, 27, 28].

Дослідження механізмів низхідної міграції активно ведеться з 70-80-х років минулого століття [6, 15, 22, 23]. На цій фундаментальній основі розроблена теорія депресійних водонапірних систем (ДВС) [20, 21, 22]; до теперішнього часу деталізовані провідні чинники низхідної міграції підземних вод як домінуючого геофлюїдодинамічного режиму в межах ДВС [1, 2].

Різномасштабні депресійні флюїдоносні системи (ДФС) характеризуються високою гідродинамічною ізолюваністю, що зумовлює велими сприятливі умови, по-перше, для збереження покладів нафти і газу, по-друге, для надійного поховання ЕШРР. Тому в межах ДВС можлива спряжена реалізація ресурсно-екологічних функцій літосфери шляхом одночасної розробки родовищ ВВ з похованням промстоків (рис. 1).

У ДФС відсутні або слабо виражені області живлення, тому тут не відбувається відновлення втрат пластової енергії, якщо частина пластових флюїдів видаляється із системи в розломні зони фундаментів під час тектонічних рухів, у тому числі і неотектонічних. Це означає, що закачування води для підтримання пластового тиску (ППТ) в цих умовах стає вирішальним джерелом відновлення втрат пластової енергії. Строго негативний градієнт пластових тисків робить повністю прийнятним використання для ППТ екологічно шкідливих рідких

речовин (ЕШРР) замість екологічно чистих вод, отриманих з поверхневих або підземних джерел [1, 2, 18, 19, 20, 21].

Можливість заміни природних вод на ЕШРР – основа екологічної концепції розробки родовищ у межах ДФС. Важливе і те, що гідрогеологічні умови ДВС дають можливість поховати промислові відходи як безповоротно, так і з подальшим їх видобутком у разі виникнення такої необхідності. Диференціації місць і способів поховання сприяє блокова будова гідродинамічної системи. Заздалегідь вироблені невеликі газові поклади в межах ДФС можуть використовуватися як сховища токсичних рідких речовин. Поховання найбільш небезпечних відходів (відходи атомної і хімічної промисловості) доцільно проводити в породи кристалічного фундаменту на окремих структурах, віддалених від нафтогазопромислів. Відстані між ними можуть бути розраховані на підставі законів масоперенесення з врахуванням реальних ємнісно-фільтраційних властивостей середовища [1].

З екологічного погляду можна виділити декілька негативних чинників, які характерні для родовищ нафти і газу із заниженим пластовим потенціалом. Один з них – розвиток явищ осідання. Осідання відомі і добре спостережувані навіть на тих територіях, де гідродинамічний потенціал пластової енергії був спочатку високим. У системах, де пластовий тиск ще до початку розробки родовища нижчий умовного гідростатичного, розвиток негативних процесів стає стрімкішим. На зниження пластових тисків чутливо реагують розчинені у воді гази. Добре відомо, що на великих глибинах, де підвищується частка вуглекислого газу, падіння пластового тиску викликає зсув карбонатної рівноваги в системі «вода-порода», а випадіння нерозчинних солей супроводжується кольматацією порового простору колекторів і, відповідно, призводить до зниження їх ємнісно-фільтрацій-

них властивостей. У таких умовах розвантаження флюїдів здійснюватиметься при менших дебітах, імпульсно в результаті гідророзривів. Порушення газогідрохімічної природної рівноваги слугуватиме також стимулюючим чинником гідратуутворення, що здатне розвиватися як в пластах, так і у свердловинних умовах.

Мінімізувати ці негативні процеси природним чином «допомагає» основна особливість депресійних водонапірних систем – стабільний у геологічному часі від’ємний градієнт напорів підземних вод.

Для закачування токсичних рідин сприятливими є зони понижених тисків або так звані поглинаючі горизонти, що формуються в районах, де проявляються успадковані неотектонічні підняття. При такому гідродинамічному режимі зростає тріщинна проникність кристалічних порід літосфери. Тиск флюїдів у цих тріщинних зонах падає, викликаючи зниження пластового тиску в суміжних найбільш глибоких горизонтах осадового чохла. У таких районах можуть формуватися пластові тиски, нижчі за гідростатичний. Ця обставина разом з наявністю колектора і надійних екрануючих покришок слугує однією з найважливіших умов успішного використання надр для поховання токсичних рідин, які важко піддаються очищенню [4]. ДФС зустрічаються практично в будь-якому осадовому басейні, але, як правило, вони мають локалізований характер, тому не завжди розпізнаються. Відомі, зокрема, такі зони в межах Ферганської западини, де за низкою ознак, у тому числі і за палинологічними аналізами нафти, доведено мезозойський вік нафти в породах верхнього палеозою на родовищі Ніязбек-Північний-Каракчікум. Тут спостерігається реміграція ВВ із вище залягаючих відкладів у відклади, що залягають нижче. Так, на Південно-Аламишській структурі у св. 256 і 707 відмічені нафтогазопрояви із палеозою, у св. 723, 1-П, 782 отримали нафту, палинологічний аналіз якої (св. 1-П) засвідчив, що виявлені зерна спор і пилку загалом датуються мезозем-кайнозоем. На структурі Майлісу – IV у верхньокрейдяному комплексі, який об’єднує пласти XIII, XIV, XV, відмічена низхідна міграція, підтверджена гідродинамічними і гідрохімічними даними [7].

Японські вчені за допомогою трасувальних досліджень виявили виразні ознаки міграції флюїдів з осадового чохла у фундамент (у тому числі метабазитовий) і формування тут скупчень ВВ за рахунок розміщених вище генераційних джерел (Nakano T., Kajivara Y., Farrell S.W., 1989).

Присутність розсіяних органічних речовин (РОР) осадового генезису встановлена у всьому вулканогенному розрізі Саатлінської надглибокої свердловини, причому вміст РОР зростає з глибиною, що є одним з доказів метаморфогенної інфільтрації вод осадового походження в породи фундаменту [17], у тому числі і на території Татарського склепіння [19]. Різкий підйом території, як правило, супроводжується відставанням підйому рівня підземних вод. Це

часто є причиною виникнення дефіциту пластового тиску. Виникнення такого субгідростатичного тиску на родовищі Амарільо-Техас-Панхендл у північно-західному Техасі є причиною того, що продуктивна світа Граніт-Уош виходить на денну поверхню на сході штату Оклахома на висоті близько 304,8 м над рівнем моря. Виміряні в продуктивній товщі градієнти пластового тиску виявилися тут приблизно рівними половині градієнта гідростатичного тиску [23].

У Східному Передкавказзі ще в 60-х роках минулого століття на цілій низці родовищ було відмічено зниження пластового тиску з глибиною (табл. 1).

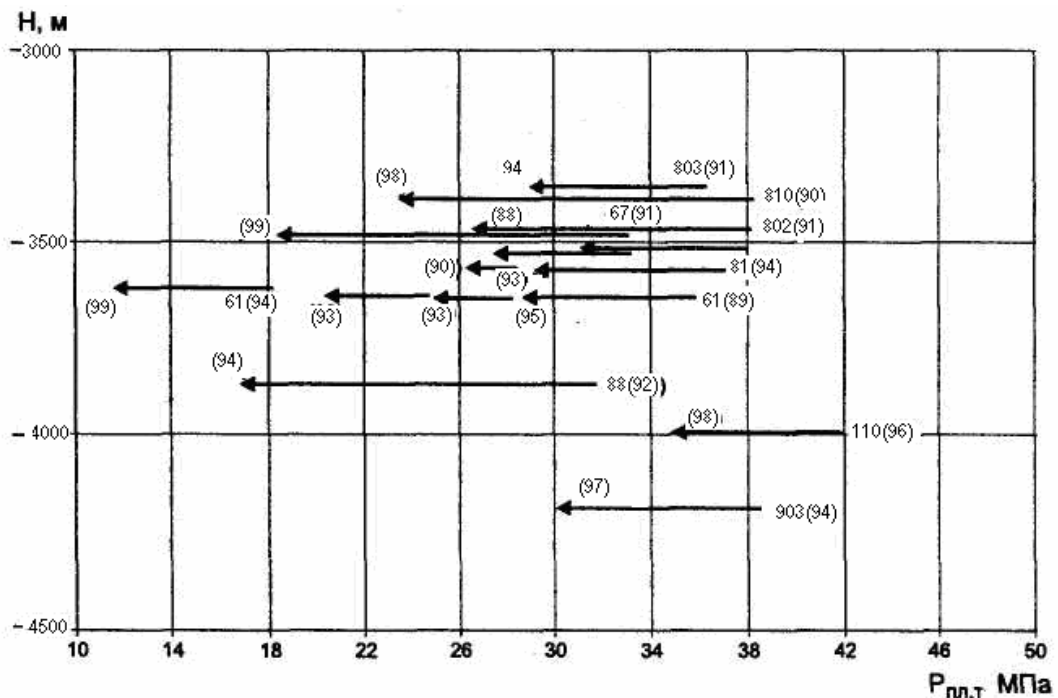
Ці і багато ненаведених в даній статті відомостей про низхідну міграцію ВВ дають підстави стверджувати, що природа баричного режиму глибоких надр складніша, ніж уявлялася раніше: поряд з висхідною міграцією існує низхідна міграція підземних вод і вуглеводнів, що її компенсує; досить часто різні режими співіснують не лише в одному осадовому басейні, але і в межах одного родовища, що є наслідком його блокової будови. Прикладом такої флюїдодинамічної ситуації може бути розподіл пластових тисків на родовищі Білий Тигр [11, 15]. Тут присутні тиски, як вищі, так і нижчі за гідростатичний. Аналізуючи в цілому закономірність розподілу пластових тисків на цьому родовищі В.А.Кошляк прийшов до висновку, що для баричної картини Білого Тигра характерними є: наявність нормального пластового тиску у верхній частині теригенного розрізу і в покладах нижнього міоцену; аномально високий пластовий тиск в глинах і пісковиках верхнього олігоцену; підвищений пластовий тиск у покладах нафти теригенних відкладів нижнього олігоцену; підвищений або близький до нормального пластовий тиск в покривельній частині гранітоїдного масиву на Центральному і Північному склепіннях відповідно; зниження пластових тисків відносно гідростатичного при поглибленні свердловини в надра родовища [11]. У міру дренавання продуктивних горизонтів пластові тиски падають настільки інтенсивно, що стверджувати про які-небудь значні глибинні підтоки вуглеводнів не доводиться (рис. 2).

Виміри, проведені в свердловинах починаючи з 1994 року, свідчать про те, що пластові тиски помітно знизилися (у деяких випадках удвічі, наприклад, по св.88 - за півтора роки з 31,7 до 16,6 МПа). У свердловині 61, пробуреній в 1989 році, початковий пластовий тиск на глибині 3644 м складав 35,9 МПа, а в 1998 році знизився до 20,3 МПа, тобто на 15,6 МПа. У цьому ж інтервалі, розташованому вище на 20 м, вже в 1994 році тиск був 18,4 МПа, а до 1999 року став 11,6 МПа. Аналогічні приклади характерні для більшості інших свердловин [18]. Зниження потенціалу по відношенню до фундаменту відображено на рисунку 3 [25].

Ці дані свідчать про те, що зростання з глибиною гідродинамічного потенціалу не є закономірністю. Отже на великих глибинах

Таблиця 1 – Зміна приведених напорів з глибиною в зонах гідродинамічних аномалій [14]

Площа	Вік водовміщуючих порід	Глибина до середини фільтра, абс. відм., м	Приведений напір, абс. відм., м
Сунженська зона			
Заманкульська	Верхня крейда	- 1450	2035
	Апт	- 2010	1532
	Барем	- 2267	1505
	Валанжин	- 3118	1463
	Юра	- 3343	1404
Карабулак-Ачаулакська (західна частина)	Нижній майкоп	- 931	2156
	Верхня крейда	- 1976	1566
Карабулак-Ачаулакська (східна частина)	Нижній майкоп	- 1350	2285
	Верхня крейда	- 2446	1499
	Юра	- 2779	1433
Кумська зона			
Отказненська	Нижній майкоп	- 2264	1245
	Верхня крейда	- 2924	786
Прасковейська	Верхня крейда	- 2590	519
	Альб	- 2990	213
Журавська ділянка			
Журавська	Нижній майкоп	- 1885	1289
	Апт	- 3119	310

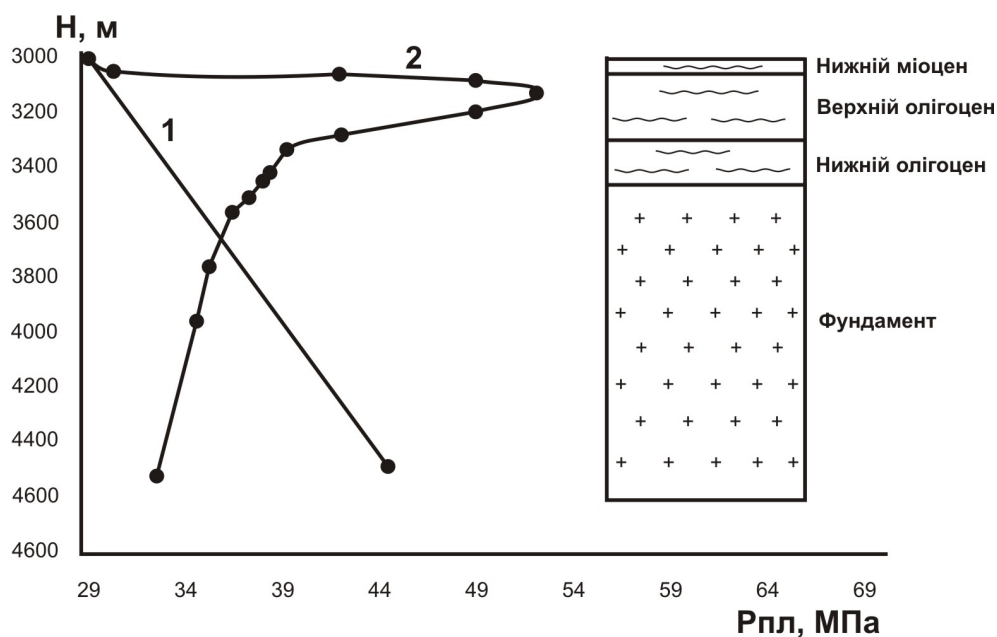


Число - номер свердловини, число в дужках - рік виміру

Рисунок 2 – Характер зміни пластових тисків у процесі розробки покладів нафти в гранітоїдах Північного склепіння родовища Білий Тигр [15] (за В.А.Кошляк, 2002).

зустрічаються пластові тиски, які характеризуються як високими значеннями коефіцієнтів аномальності, так і низькими. Це є принципово важливим для обґрунтування можливостей поховання промислових стоків у зони глибинних п'єзомінімумів не лише на родовищі Білий Тигр, але і в інших аналогічних випадках.

Матеріали досліджень у Передкарпатському прогині [20] підтверджують думку про те, що в товщах осадових порід, які залягають на порівняно невеликих відстанях від консолідованого фундаменту тої або іншої області, частішають випадки занижених і аномально низьких пластових тисків, тобто пластів, що



1 - гідростатичний тиск; 2 - реальний тиск [15] пласта

Рисунок 3 - Схема зміни пластових тисків у розрізі родовища «Білий Тигр»

Таблиця 2 – Значення початкових пластових тисків на окремих родовищах Передкарпатського прогину [12]

Найменування родовищ, покладів	Глибини, м	Початкові пластові тиски, МПа	Коефіцієнт аномальності початкового пластового тиску, Ка
Коханівський нафтовий поклад, юра	1275	11,75	0,87
Садковицьке газове родовище, н. сармат	1345	11,67	0,87
Рудківське газове родовище, н. сармат	1056	10,05	0,95
Кавське газове родовище, н. сармат	851	7,86	0,90
Більче-Волицьке газове родовище, в. крейда	1030	9,87	0,95
Угерське газове родовище, в. крейда	1091	10,2	0,92
Гринівське газове родовище, в. торгон	1155	9,26	0,87
Косівське газове родовище, н. сармат	76	0,66	0,86
Ковалівсько-Черешенське газове родовище, в. торгон	2025	18,4	0,91
Краснопутненський газовий поклад, торгон	826	6,74	0,81

характеризуються п'єзомінімумами. Так, у Внутрішній зоні прогину, де в насунутих один на одного тектонічних поверххах товщини продуктивних відкладів значні (1200м і більше), а загальна товщина палеоген-крейдяних відкладів сягає 12000м, в основному розвинуті підвищені і аномально високі пластові тиски (за винятком Спаського нафтового родовища). Висока аномальність тисків тут пов'язана із стисненням колекторів у процесі складкоутворення. В Зовнішній зоні, де осадові відклади з продуктивними горизонтами кайнозойського і мезозойського віку товщиною лише до 4000-3000м залягають на консолідованому докембрійському фундаменті Східно-Європейської платформи, широко розвинуті занижені і аномально низькі пластові тиски (табл. 2).

Нагадуємо, що коефіцієнт аномальності пластового тиску (Ка), це відношення значення величини заміряного пластового тиску до величини умовного гідростатичного тиску. Обґрунтування цього дається в монографії О.О.Орлова [20]. За наведеними тут рівняннями можна прогнозувати не тільки аномально високі початкові пластові тиски, але і аномально низькі, якими характеризуються п'єзомінімуми. В роботі [13] коротко наводиться розроблена методика прогнозування.

Цікаво навести дані про наявність в осадовій товщі земної кори пластів з аномально низькими значеннями пластових тисків (п'єзомінімумів) на півдні України, на жаль де здійснюється постійне забруднення техногенними і побутовими відходами води Азовського

моря і узбережжя Чорного моря. Особливо це стосується Азовського моря, де на узбережжі в м. Маріуполі знаходиться всесвітньо відомий, державного значення металургійний комбінат "Азовсталь".

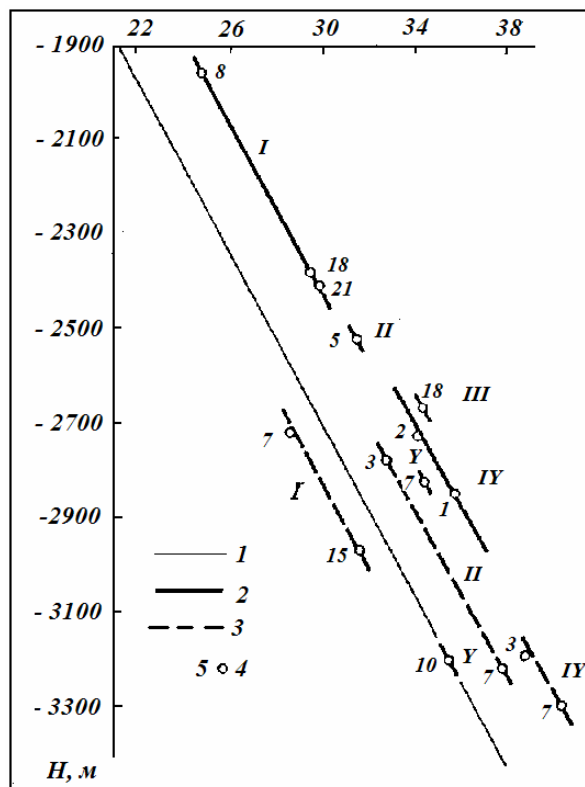
На півдні України на Скіфській плиті і в Індольському прогині пробурено багато свердловин в процесі пошуків та розвідки нафтових і газових родовищ та для їх експлуатації. Тут майже повсюдно були зафіксовані занижені і аномально низькі початкові пластові тиски. Так, на Скіфській плиті (Крим) аномально низькі і занижені початкові пластові тиски зафіксовані в палеоцен-неогенових розрізах родовищ газу: Чорноморського (глибина 2144 м, $K_a=0,50$); Оленівського (575 м, $K_a=0,77$); Міжводненського (225 м, $K_a=0,84$); Борзовського (667,5 м, $K_a=0,76$); Задорненського (613 м, $K_a=0,96$); Краснополяньського (1096 м, $K_a=0,99$); Глібівського (1090 м, $K_a=0,99$); Кіровського (987 м, $K_a=0,94$). В Індольському прогині аномально низький початковий пластовий тиск був зафіксований на Малобабчинському (250 м, $K_a=0,75$), Березівському (1047 м за межами ВНК, $K_a=0,80$) та Мисовому нафтових родовищах (500 м, $K_a=0,75$). Уточнюємо, що пластові тиски з коефіцієнтами аномальності від 0,8 до 1,0 ми вважаємо заниженими, а пластові тиски з коефіцієнтами аномальності 0,8 та нижчими – аномально низькими [12].

Горизонти в розрізі осадової товщі Земної кори, і особливо у фундаменті, що характеризуються заниженими і аномально низькими пластовими тисками, слід вважати потенційними об'єктами п'єзомінімумів для поховання техногенних відходів на півдні України.

На даний час у процесі буріння на нафту і газ глибоких та надглибоких свердловин (5500-6500м) в Дніпровсько-Донецькій западині необхідно вирішувати питання стосовно виявлення депресійних горизонтів (п'єзомінімумів) у відкладах під великою товщею девонської солі для визначення потенційних зон поховання радіоактивних речовин. Це спонукає до будівництва підземного поховання таких відходів у районі Чорнобиля, в тому числі й іноземного походження. На сучасному етапі розвитку проблеми щодо поховання радіоактивних відходів у наземних спорудах, що планується в Чорнобилі та в печерах, прогресивні екологи відмовляються у всьому світі. На значних глибинах під великими товщами сольових відкладів радіоактивні рідкі речовини з відносно малим періодом напіврозпаду радіоактивних елементів у стабільних платформових умовах зберігатимуться безпечніше, ніж в наземних спорудах.

Для вибору об'єктів під поховання ЕШРР важливим є наявність надійних перекриваючих покришок. Викликають інтерес спостереження, які свідчать про те, що під потужними евапоритовими товщами інколи фіксуються низхідні рухи підземних вод. На рисунку 4 зображено, як під евапоритовими відкладами Речичької зони Прип'ятського прогину в підсольових відкладах по гіпсометрично найбільш припіднятих (за даними високоточного повторного нівелю-

вання) Речичької структурі тиск вод на 1,2 і 1,5 МПа нижчий розрахункових гідростатичних, тоді як в міжсольових відкладах він вищий за гідростатичні на 2,5 МПа (В.В.Печерников, 1973).



Тиски: 1 – розрахункові гідростатичні, 2 – пластові в міжсольових відкладах, 3 – пластові в підсольових породах; 4 – номери свердловин; римськими цифрами позначені площі: I – Речичька, II – Вішанська, III – Тішківська, IV – Осташківська, V – Давидівська

Рисунок 4 – Зміна тисків пластових вод у розрізі нафтових родовищ Прип'ятської западини

У Прип'ятській западині зона занижених тисків у підсольовому комплексі протягується від брагінського виступу через північну припідняту частину Стріличівської, Наровлянської площі до Кустовницької і Єльської структур (В.В.Печерников, 1973). На Брагінському піднятті в нафтових родовищах Леляки, Прилуцьке та інших (Україна), продуктивні горизонти також характеризуються заниженими і аномально низькими пластовими тисками (А.А.Орлов, 1980).

Отже, зони дефіциту пластового тиску можуть зустрічатися як мозаїчно, так і регіонально заміщаючи одна одну. Відбуваються і трансформації геофлюїдодинамічних умов в масштабі геологічного часу (рис. 5). Їх вивчення з позицій виявлення нових зон нафтогазонакопичення має, на наш погляд, величезний науковий інтерес.

Крім того, вирішення проблеми поховання рідких продуктів техногенезу в глибинні зони літосфери просто не може бути ефективно вирі-

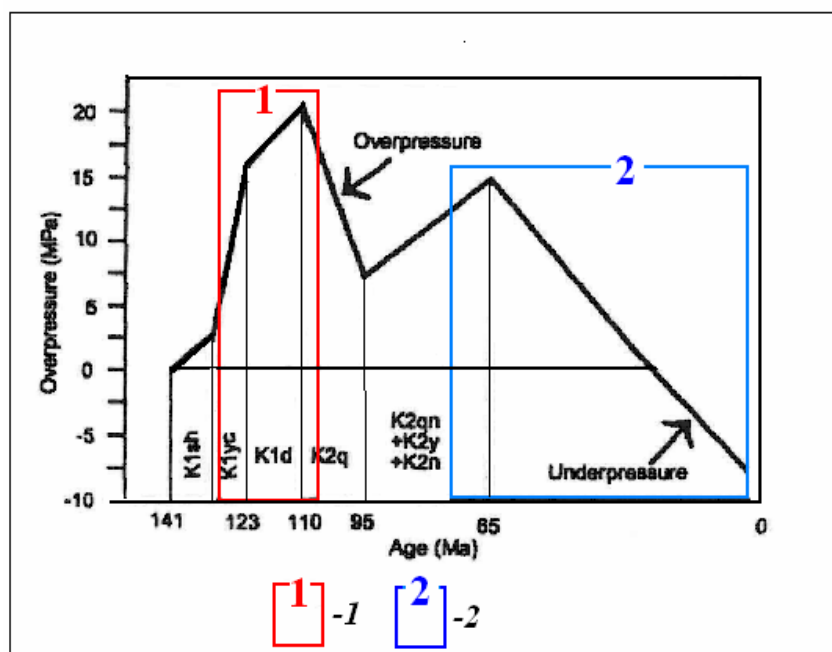


Рисунок 5 – Зміна пластових тисків у басейні Сунляо [26] з доповненнями етапів геологічного розвитку, які відповідають сучасному стану геобаричного поля продуктивних комплексів Західного Сибіру (1) і Східного Сибіру (2)

шене без вивчення цього геофлюїдодинамічного механізму.

До теперішнього часу відомий цілий ряд подібних виробничих рішень. Здійснюється поховання промстоків у зони занижених пластових тисків на родовищі Панхендл в Техасі [25]. Закачування рідких радіоактивних відходів в зони дефіциту пластового тиску ведеться в Центральних Альпах (рис. 6) в пласт із субгідростатичним тиском, розташованим на глибині всього 400 м (L.W.Diamond, 1998).

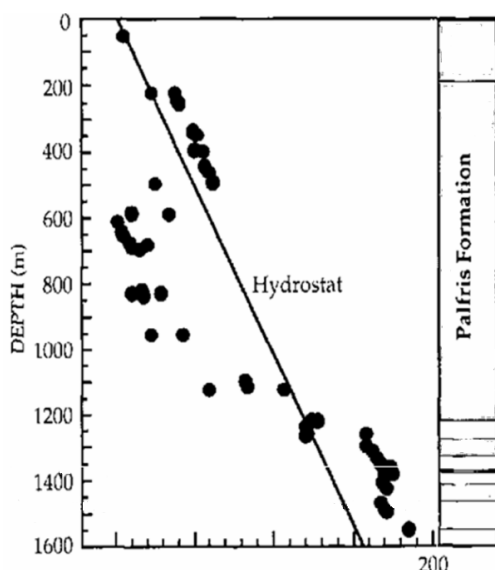


Рисунок 6 – Веленберг. Центральні Альпи. Залежність тисків від глибини (св. SB3, в яку закачуються радіоактивні відходи) (L. W. Diamond, 1998)

Активно ведуться дослідження з вивчення геогеологічних функцій в Китаї [26-28]. На основі математичного моделювання отримані перші оцінки швидкості і характеру просування діоксиду вуглецю в зони субгідростатичних пластових тисків у межах басейну Сунляо (рис. 7).

Проводиться також закачування вуглекислого газу в зони субнормального тиску (рис. 8) в басейні Альберта в Канаді [22-23].

Підкреслимо принципово важливе: всі наведені вище приклади стосувалися лише осередкових проявів дефіциту пластових тисків, але навіть вони виявлялися інвестиційно привабливими об'єктами для поховання ЕШПР. Абсолютно іншими, непомірно великими можливостями в цьому відношенні володіють підсольові відклади Непсько-Ботуобінської антеклізи (НБА). Унікальність підсольового розрізу полягає в тому, що тут сформувалася депресійна система, площа якої лише у вивчених глибоким бурінням межах становить близько 200 тис. км². Про це свідчать фактичні дані щодо розподілу газу, нафти, води і їх енергетичних потенціалів у розрізі підсольової товщі на Середньо-Ботуобінському, Верхньо-Вілючанському, Вілюйсько-Джербоїнському, Таас-Юряхському і багатьох інших родовищах (табл. 3).

Дефіцит пластових тисків поблизу фундаменту по відношенню до умовного гідростатичного тиску на ряді родовищ і розвідувальних площ перевищує 6,0-7,0 МПа (в межах Вілючанської сідловини НБА). Площадні градієнти гідродинамічного потенціалу в депресійних водонапірних системах від'ємні і приблизно в тисячу разів відрізняються за величиною від площинних градієнтів (до 1 м/м у розрізі проти 1 м/1000м по площі), що повністю виключає

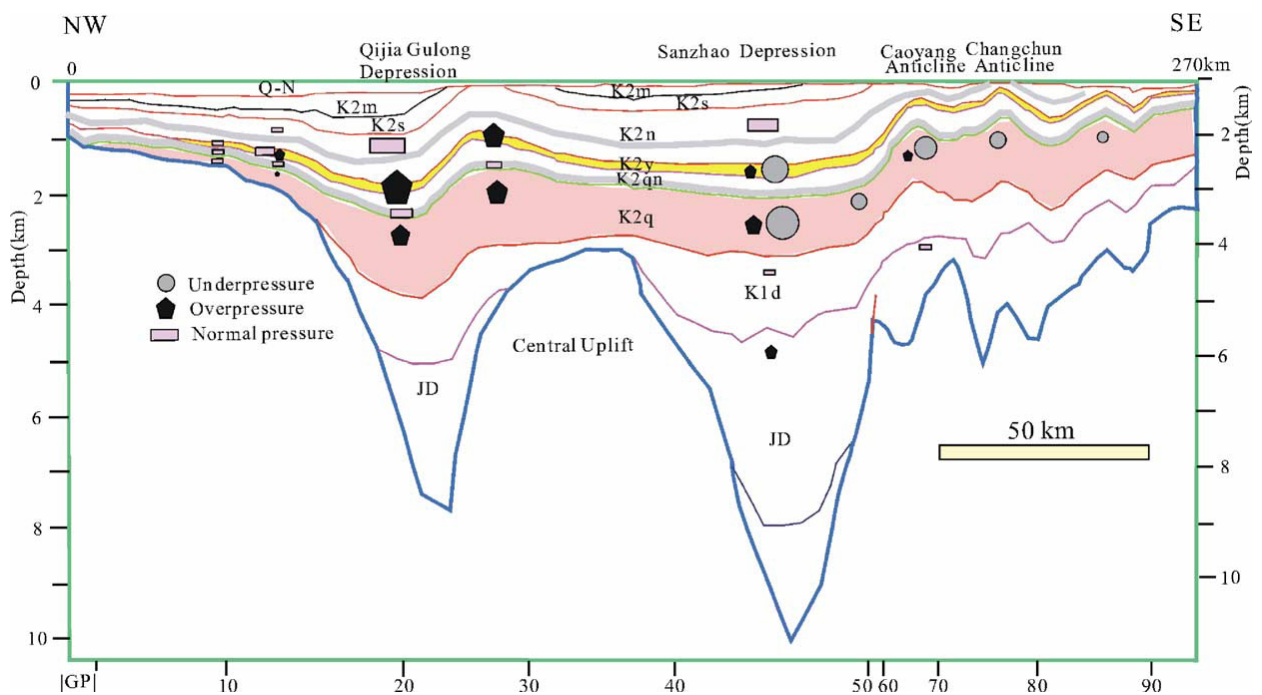
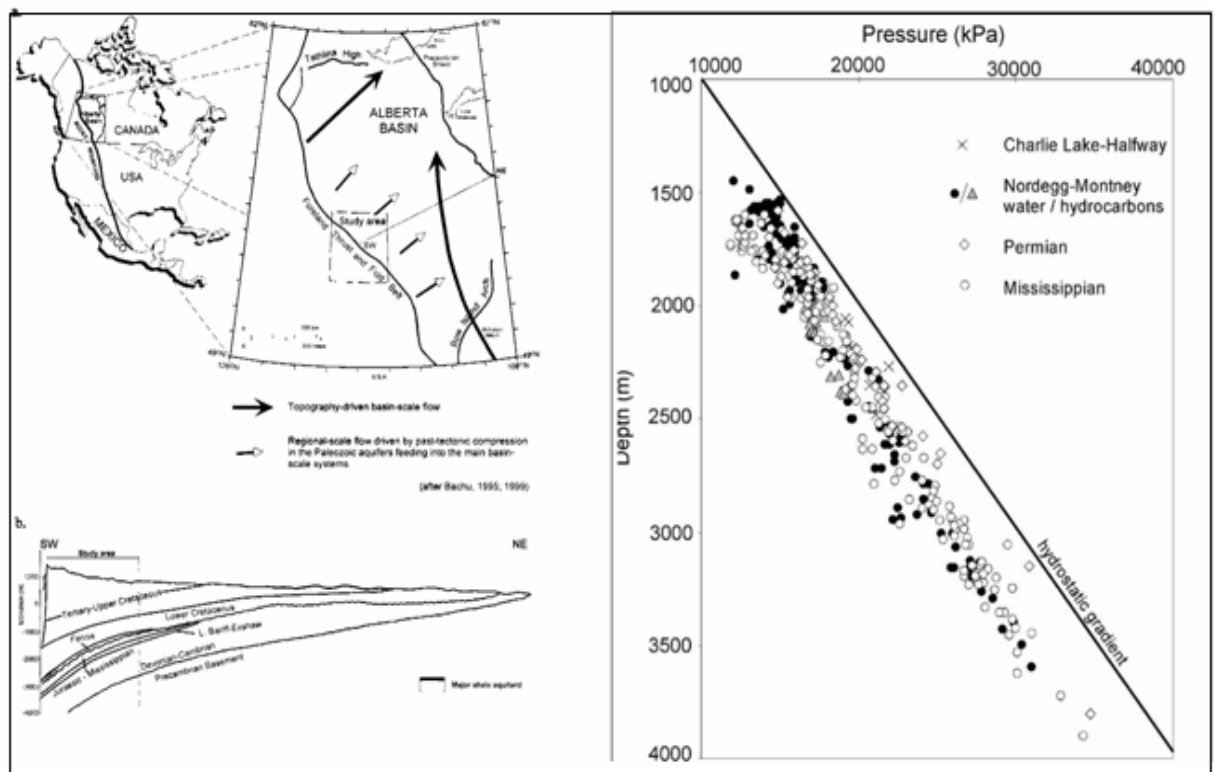


Рисунок 7 – Передбачувана зона закачування діоксиду вуглецю в зони субгідростатичного тиску [28]



а – положення району робіт; б – еюра пластових тисків, що показує тотальний дефіцит пластового тиску в розрізі басейну на різних стратиграфічних висотах

Рисунок 8 – Басейн Альберта (Західна Канада) [35].

Зона закачування діоксиду вуглецю в області розповсюдження субгідростатичного тиску

площадне розтікання природних і техногенних флюїдів.

Зменшення гідродинамічного потенціалу строго у напрямку до фундаменту [20, 22] забезпечить повне затягування всіх техногенних флюїдів, які будуть закачані в підсольові від-

клади НБА вздовж напрямку руху природного гідродинамічного потоку (рис. 9).

В межах НБА закритість надр пов'язана, перш за все, з поширенням солей на трьох стратиграфічних рівнях: у торсальній світі вендських відкладів, в усольській (юрегінській) світі

Таблиця 3 – Градієнти заміряних пластових тисків у різних інтервалах підсолевого розрізу на площах НБА

Площа, родовище, № св.	Горизонти, пласти, світи		grad. P _{зам} , МПа/м	Примітка
	верхній	нижній		
Іктехська, 650, 651	ботуобінський	талахський	+0,0014	Умови міграції газу і нафти вниз
Бюк-Танарська, 718	осінський	ботуобінський	-0,0005	
Пеледуйська, 751	хамакінський	талахський	-0,0134	
Тас-Юряхське, 574, 575	осінський	ботуобінський	+0,0010	
Тас-Юряхське, 575	ботуобінський	талахський	-0,00025	
Тас-Юряхське, 574, 575	осінський	талахський	+0,0008	
Средньоботуобінське, I	0-II	ботуобінський	+0,00053	
Средньоботуобінське, 10	0-I	ботуобінський	-0,0036	
Средньоботуобінське, 2	ботуобінський	талахський	+0,00151	
Средньоботуобінське, 30, 37	осінський	талахський	-0,0030	
Верхньовілочанське, 604	Ю-I	Ю-II	0,013	Умови міграції газу і нафти вниз
Верхньовілочанське, 603	харистанський	вілчанський	-0,0076	
Верхньовілочанське, 626	Ю-II	вілчанський	+0,0013	
Вілоїсько-Джербінська, 640	Ю-II	телгеспітська	+0,0014	
Вілоїсько-Джербінська, 643	Ю-I	бочугонорська	+0,00146	
Вілоїсько-Джербінська, 643	бочугонорська	вілчанський	+0,00183	
Вілоїсько-Джербінська, 646	Ю-I	вілчанський	+0,00098	
Талаканська, 809	хамакінський	талахський	-0,0054	
Нижньохамакінська, 842	хамакінський	хамакінський	-0,00185	
Марківська	осінський	парфеновський	-0,0047	
Ярактінська, 55, 21	осінський	ярактінський	-0,00376	
Большетірсько-Аянська, 204, 30	осінський	верхньотирський	-0,373	
Південно-Суриндінська, 47, 65	осінський	ярактінський	-0,00275	
Буягінська, 661, 662	юряхський	вілчанський	+0,00184	Умови міграції нафти вниз і міграції газу вгору
Верхньовілочанська, 609	Ю-I	вілчанська	+0,0054	
Верхньовілочанська, 612, 614	Ю-I	вілчанська	+0,00224	
Вілоїсько-Джербінська, 649	Ю-I	бетинчинська	+0,024	
Данилівська, 144, 145	осінський	преображенський	+0,0018	
Братське, 16, 13	осінський	преображенський	+0,0038	



нижнього кембрію і в ангарській (чарській) світі нижньо-середнім кембрійських відкладів. Найбільш широким і регіональним поширенням користуються соленосні товщі усольської (юрегінської) світи, від підшови яких аж до фундаменту сформувалася водонапірна депресій-

на система. В процесі просування вниз води розсолів заліковували всі види порожнин, які з тих або інших причин формувалися в глинистих і карбонатних відкладах за рахунок гравітаційного сповзання важких розсолів [3]. Так, кольматация карбонатними і сульфатними со-

лями безпосередньо спостерігається у верхній частині Костінської світи, а в нижній її частині є ознаки кольматції галітом на Сігово-Підкам'яному родовищі.

Осадний чохол представлений прадавніми відкладами від рифейського до докембрійського віку включно. Отже, з післякембрійського часу депресійна система розвивалася впродовж сотень мільйонів років. Від Патомського нагір'я, як можливої області живлення підсолевих відкладів, НБА відокремлена глибоким Передпатомським прогином, складеним слабопроникними, переважно хомогенними, відкладами.

Таким чином, механізм формування покладів ВВ у підсолевій частині Східного Сибіру обумовлений такими основними чинниками:

а) повною гідродинамічною ізоляцією підсолевих відкладів;

б) дренажною роллю глибинних розломів;

в) геохімічними перетвореннями в системі «порода-вода» що призводять до поліпшення ізоляційних властивостей глинистих флюїдоупорів.

Не зважаючи на те, що великомасштабний видобуток нафти і газу в Східному Сибіру ще не почався, необхідне завчасне обґрунтування тут об'єктів, придатних для поховання різних за природою токсичних рідких відходів. Повторимо, що гідрогеологічні умови Непсько-Ботуобінської антеклізи дають змогу поховати промислові відходи як безповоротно, так і з подальшим їх видобутком. Така диференціація місць і способів поховання можлива внаслідок блокової гідродинамічної системи. Наприклад, в межах Таас-Юрхського родовища виділено сім блоків, де нафтогазові поклади в ботуобінському продуктивному горизонті мають різновисотне положення контактів газ-нафта і нафта-вода, а найкрупніший центральний блок є опущеним (грабен) і не містить покладів ВВ. Вочевидь, що в нього можуть бути закачані ті промисли, в яких містяться найбільш небезпечні речовини.

У Непсько-Ботуобінській антеклізі розміщений один із сприятливих об'єктів - Хотого-Мурбайське газове родовище поблизу м. Ленська. Після його форсованого вироблення Хотого-Мурбайська структура могла б бути надійною, перевіреною самою природою пасткою для поховання ЕШРР.

Таким чином, депресійна водонапірна система Непсько-Ботуобінської антеклізи є ідеальним об'єктом для закачування ЕШРР, навіть за наявності в надрах крупних родовищ нафти і газу. Специфічні геологічні і гідродинамічні умови цієї системи дають змогу здійснювати видобуток з надр вуглеводневої сировини одночасно з похованням промислових відходів нафтогазової, гірничовидобувної, хімічної, а, можливо, і атомної промисловості без абияких екологічних наслідків. Терміни зберігання ЕШРР можуть обчислюватися геологічними масштабами часу з повною гарантією нерозповсюдження ЕШРР у докілья або атмосферу навіть підчас багатомagnitude землетрусів.

На завершення зазначимо, що викладене стосується не тільки розглянутих регіонів. Ця проблема має глобальний характер, в т. ч. і для України, де на сьогодні існує тенденція до створення наземних поховань техногенних (хімічних і, навіть, радіоактивних) відходів. У майбутньому, із оздоровленням економіки України і ростом промисловості проблема поховання різного типу техногенних відходів буде зростати, що обумовлює необхідність розгляду вже тепер всесвітнього досвіду поховання відходів промисловості, в т.ч. і в нафтогазовій галузі.

Література

1 Абукова Л.А. Природоохранныя технология освоения нефтегазового потенциала Восточной Сибири / Л.А. Абукова, Ю.И. Яковлев Ю.И. // Экологическая геология: научно-практические и экономико-правовые аспекты. - Воронеж, 2009. - С. 35-38.

2 Абукова Л.А. Геоэкологическая концепция разработки месторождений нефти с низким гидродинамическим потенциалом / Л.А. Абукова, Ю.И. Яковлев // Нефтепромысловое дело. - 2008. - № 5. - С.11-17.

3 Богашова Л.Г. Роль нисходящей фильтрации галогенных вод в нефтеобразовании / Л.Г.Богашова // Нефтегазовая гидрогеология на современном этапе (теоретические проблемы, региональные модели, практические вопросы). - 2007. - № 2. - С. 209-220.

4 Гаев А.Я. Гидрогеохимия Урала и вопросы охраны подземных вод / А.Я.Гаев. - Свердловск: Изд-во Уральского университета, 1989. - 364 с.

5 Пат. 2244823 RU, МПК Е 21В 47/00, В 65 G 5/00. Особенности создания и эксплуатации полигонов подземного захоронения стоков в горизонтах с аномально низким пластовым давлением / Гасумов Р.А., Акулинчев Б.П., Яровая С.К.; Гасумов Рамиз Алиджавад оглы. - № 2244823 RU 2005; заявл. 20.01.2005, Бюл. №2. - 5с.

6 Гинсбург Г.Д. О причинах низких пластовых давлений на севере Сибири / Г.Д.Гинсбург, А.Е.Гуревич, А.Д.Резник // Сов. геология. - 1971. - № 9. - С.45-58.

7 Джумагулов А.Д. Геодинамика и ремиграция углеводородов: материалы межд. конф. [Геодинамическая обстановка нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции в земной коре] 12-15 марта. - Ташкент, 2002. - С.154-157.

8 Дмитриевский А.Н. Мировые ресурсы углеводородов и экологические проблемы их использования // Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века: Материалы конф. - М., 1998. - С. 262-272.

9 Киссин И.Г. Гидродинамические аномалии в водонапорной системе (на примере Восточного и Центрального Предкавказья) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. - 1965. - Вып. 2. - Т.40.

- 10 Кудельский А.В. Геологические основы концепции подземного захоронения промышленных отходов / А.В. Кудельский // Инженерная геология. – 1987. – № 6. – С. 101-108.
- 11 Кошляк В.А. Гранитоидные коллекторы нефти и газа / В.А.Кошляк. – Уфа: Тау, 2002. – 256 с.
- 12 Орлов А.А. Аномальные пластовые давления в нефтегазоносных областях Украины / А.А.Орлов. – Л.: изд-во при Львов. гос. университете "Вища школа", 1980. – 188 с.
- 13 Орлов А.А. О возможности прогнозирования аномально низких пластовых давлений по данным электрометрии в скважинах / А.А.Орлов, Г.А.Жученко. – Баку: Изв. вузов, Нефть и газ. – 1986. – №10. – С.2-6.
- 14 Трофимов В.Т. Экологические функции литосферы / [Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др.]; под ред. В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 432 с.
- 15 Тю Ван Лыонг, Нгуен Хыу Нян. Особенности распределения и изменения пластовых давлений в гранитоидных коллекторах месторождения «Белый Тигр» // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело", 2006. – http://www.ogbus.ru /authors/Luong/Luong_1.pdf – 9 с.
- 16 Фертль У.Ф. Аномальные пластовые давления (их значения при поисках, разведке и разработке ресурсов нефти и газа) / У.Ф. Фертль. – М.: Недра, 1980. – 398 с.
- 17 Яковлев Л.Е. Инфильтрация воды в базальтовый слой земной коры / Л.Е.Яковлев. – М.: Наука, 1999. – 200 с.
- 18 Яковлев Л.Е. Комплексы диафоритов и гидротермалитов фундамента как потенциальные аккумуляторы углеводородов: новое направление поисков и разведки / Ю.И.Яковлев, Ю.Г.Леонов, Н.П.Чамов, Ю.А.Волж, Л.И.Лобковский // В кн.: Перспективы нефтегазоносности кристаллического фундамента на территории Татарстана и Волго-Камского региона. – Казань: Новое знание, 1998. – С.336-339.
- 19 Яковлев Ю.И., Козлов В.А., Маренин В.А. и др. Способ захоронения экологически вредных жидких веществ // Роспатент. № 2075102. – 1994. – 4 с.
- 20 Яковлев Ю.И. Гидродинамическое обоснование выделения водонапорных систем депрессионного типа / Ю.И.Яковлев, Р.Г.Семашев // Геология нефти и газа. – 1982. – № 9. – С. 23-27.
- 21 Яковлев Ю.И. Теория и примеры нисходящей миграции углеводородов / Ю.И.Яковлев // В кн.: Формирование, поиск и разведка газовых залежей // Тр. ВНИИГаза.-Москва, 1988. – С.29-37.
- 22 Bashu, S., Underschultz J.R. Large-scale underpressuring in the Mississippian-Cretaceous Succession, Southwestern Alberta Basin / AAPG Bulletin V. 79 (July 1995).- P. 989-1004.
- 23 Ferran L.M. Evolution of abnormally high and low pressured Morrow sands in north-western Oklahoma using well logs and water simple data / M.S. Thesis, Univ. of Tulsa. – 1973/ Tulsa, Oklahoma, 110 p.
- 24 Michael K., Bachu S. Fluids and Pressure Distributions in the Foreland-Basin Succession in the West-Central Part of the Alberta Basin, Canada: Evidence for Permeability Barriers and Hydrocarbon Generation and Migration. AAPG Bulletin, Jul 2001; 85: P.1231-1252.
- 25 Puckette J., Al-Shaieb Z. Naturally Underpressured Reservoirs: Applying the Compartment Concept to the Safe Disposal of Liquid Waste // Online adaptation of presentation at AAPG Southwest Section Meeting, Fort Worth, TX, 1 March-2003.- 15 p.
- 26 Xie X, Jiao J.J. , Tang Z., Zheng C. Evolution of abnormally low pressure and its implications for the hydrocarbon systems in the southeast uplift zone of Songliao basin, China AAPG Bulletin, Jan 2003.-119 p.
- 27 Jiao J.J., Zheng C., Hennessey, R. J.-C. 1997, Analysis of underpressured geological formations for disposal of hazardous wastes, Hydrogeology Journal, vol. 5, no. 3, P. 19-31.
- 28 Zhao R., Cheng J., Zhang K. et al. A 2-D model of CO2 disposal into deep saline aquifers: case study of the Songliao Basin, China. In: Proceeding of The 7th International Conference on Calibration and Reliability in Groundwater Modeling "Managing Groundwater and the Environment" (ModelCARE 2009), Wuhan, China, September 20-23, 2009.China University of Geosciences Press, 2009, P.473-476.

У статті використані результати досліджень в рамках виконання спільного українсько-російського проекту (Ф28/253-2009, фінансування Державного фонду фундаментальних досліджень Міністерства освіти і науки України) та досліджень за фінансової підтримки Російського фонду фундаментальних досліджень Російської академії наук (проекти 08-05-92219 і 09-05-90419).

*Стаття поступила в редакційну колегію
20.01.10
Рекомендована до друку професором
Б. Й. Масвським*