



УДК 550.8.053

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ НА ОСНОВІ ГРАВІТАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ НА ПРИКЛАДІ ДАШАВСЬКОГО ПСГ / СТВОРЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ГЕОГУСТИННОЇ 4D МОДЕЛІ

*Петровський Олександр Павлович¹, д. ф.-м. наук, професор, bipeks@gmail.com;
Трачук Андрій Юрійович², geotrachuk@gmail.com; Петровська Тетяна Олександрівна¹,
канд. ф.-м. наук, tetyana.fedchenko@gmail.com; Шимко Роман Ярославович³,
rshymko.utd@naftogaz.com; Вечерік Роман Леонідович³, rvecherik.utd@naftogaz.com.
1 – НТК «ДЕПРОІЛ ЛТД», Івано-Франківськ, Україна; 2 – ТзОВ «Інститут геотехнологій
«ІНГЕОТЕХ ЛТД», Івано-Франківськ, Україна; 3 – ДП «УКРТРАНСГАЗ» НАК «НАФТОГАЗ
УКРАЇНИ», Київ, Україна.*

Проведені в межах Дашавського ПСГ комплексні моніторингові геофізичні дослідження, що включали чотири серії гравіметричних спостережень, узагальнення і переінтерпретацію існуючих геолого-геофізичних матеріалів, дозволили всебічно вивчити геологічний розріз пластової системи Дашавського ПСГ. Результатом кількісної інтерпретації матеріалів гравітаційного моніторингу, геофізичних досліджень у свердловинах та сейсмозвідки стала створена інтегральна просторова геолого-геофізико-промислова динамічна модель Дашавського ПСГ, узгоджена з усім комплексом наявної геофізичної, геологічної та промислової інформації. Створена неоднорідна 4D геолого-геофізична модель ПСГ на різних етапах експлуатації (заповнення та виснаження) дозволила спрогнозувати в межах нижньодашавських пластів-колекторів найбільш ймовірні ділянки поширення газонасичених порід. Встановлений зв'язок між змінами геогустихних характеристик газонасичених резервуарів з локальними змінами параметрів пластової системи дозволив оцінити розподіл пластового тиску та активного і буферного газу в межах резервуарів ПСГ. Результати проведених досліджень на Дашавському ПСГ та їх аналіз дали однозначні відповіді про кількісні промислові параметри на різних етапах експлуатації газосховища та дозволили оцінити особливості розповсюдження активного газу, визначити застійні зони та шляхи руху газу в межах пластової системи. Виходячи з цього, роботи проведені на території Дашавського ПСГ сформуливали основу для подальшого використання гравіметричного методу для моніторингу за станом та експлуатацією підземних сховищ газу в Україні. В результаті виконання робіт здійснені суттєві теоретичні напрацювання та отриманий практичний досвід виконання високоточних гравіметричних моніторингових досліджень.

OPTIMIZATION OF UNDERGROUND GAS STORAGE EXPLOITATION CONTROL WITH GRAVITY MONITORING ON EXAMPLE OF DASHAVIAN UGS / DYNAMIC DENSITY 4D MODEL CREATION

*Oleksandr Petrovskyi¹, Doctor of Phys.-Math. Sci., Professor, bipeks@gmail.com;
Andrii Trachuk², geotrachuk@gmail.com; Tetyana Petrovska¹, PhD of Phys.-Math. Sci.,
tetyana.fedchenko@gmail.com; Roman Shymko³, rshymko.utd@naftogaz.com;
Roman Vecherik³, rvecherik.utd@naftogaz.com.*

*1 – STC "DEPROIL", Ivano-Frankivsk, Ukraine; 2 – LLC "Institute of geotechnologies
"INGEOTECH Ltd", Ivano-Frankivsk, Ukraine; 3 – PJSC UKRTRANSOIL, Kyiv, Ukraine.*

Complex monitoring geophysical research provided on Dashavian UGS included four time-lapse series of gravimetric acquisitions, generalization and reinterpretation of existing geological and geophysical data. Research allowed closely explore subsurface geology of reservoir system of Dashavian UGS. Created integral, spatial, geological, geophysical and industrial dynamic model of Dashavian UGS was a result of quantitative interpretation of gravity monitoring data, well logging and seismic. This model was coordinated with all complex of existing geological, geophysical and industrial data. Created heterogeneous 4-D geological and geophysical model at different stages of exploitation (depletion - completion) allows to predict the most possible areas of gas saturated rocks distribution within lower Dashavian reservoirs and establish relations between rock density changes of gas-saturated reservoirs with local changes in reservoir



**Шоста міжнародна науково-практична конференція
"Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"
7-11 жовтня 2019 року**

system as well as rock pressure and gas volume. Results of performed research on Dashavian UGS and their analysis gave definite answers about quantitative industrial parameters on different stages of UGS exploitation and allowed evaluate active gas distribution characterization as well as determined of stagnant zones and gas migration ways within reservoir. Therefore, research executed on Dashavian UGS made a basis for further implementation of gravimetric method for monitoring of condition and exploitation of underground gas storages in Ukraine. Considerable theoretical research and gained practical experience of high precision gravity monitoring execution were obtain in results of performed research.

Одним із шляхів підвищення ефективності роботи газотранспортної системи України є якісне та повне використання підземних сховищ природного газу. Представлені дослідження орієнтовані на вивчення можливостей використання гравітаційного методу на основі циклічних високоточних гравіметричних вимірів і створення 4D інтегральної геолого-геофізико-промислової моделі Дашавського підземного сховища газу для виконання ефективного контролю за станом та експлуатацією ПСГ. В доповіді представлені результати виконаних робіт, що дали однозначні відповіді про кількісні промислові параметри на різних етапах експлуатації ПСГ та дозволили оцінити особливості розповсюдження активного газу, визначити застійні зони та шляхи руху газу в межах пластової системи.

Метою досліджень є підвищення ефективності роботи підземних сховищ природного газу за допомогою гравітаційного моніторингу та створення постійно діючої просторової інтегральної геолого-геофізико-промислової моделі для контролю за станом і експлуатацією підземних сховищ природного газу загалом та Дашавського ПСГ зокрема. Прогнозування пластового тиску в міжсвердловинному просторі та визначення напрямків руху активного газу від експлуатаційних свердловин до периферійних резервуарів в період нагнітання та з периферійних резервуарів до експлуатаційних свердловин в період відбору газу.

Дашавське підземне сховище газу створене у виснажених покладах Дашавського газового родовища в межах 8-го та 9-го продуктивних горизонтів нижньодашавських відкладів сарматського ярусу неогену і є третім за кількістю активного газу сховищем в Україні. Шість покладів, які використовуються як резервуари для зберігання газу утворюють єдину гідродинамічну систему [1]. Згідно проекту розробки Дашавського ПСГ загальний об'єм газу складає 5 339 млн.м³, з яких активний об'єм газу 2 150 млн.м³, буферний – 3 189 млн.м³. Максимальний пластовий тиск в робочій зоні становить 5,75 МПа, мінімальний – 1,93 МПа. Кількість експлуатаційних свердловин – 100.

Враховуючи неоднорідний характер розподілу ємнісних властивостей порід колекторів, в яких розміщується газ актуальною є проблема оперативного контролю за процесами, які відбуваються у газосховищі. В першу чергу це стосується дослідження особливостей будови активної зони, шляхів її заповнення та наявності застійних ділянок. На даний час застосовуються промислові методи контролю, які базуються на дослідженнях за пластовим тиском та вирішенні задачі фільтрації газу у пористому середовищі, а також методи дистанційного геофізичного контролю. Серед геофізичних методів основним інструментом геофізичного моніторингу за станом геологічного середовища є 4D сейсмічні спостереження, результати яких знайшли відображення у значній кількості публікацій (D. Lumley, 2010, Herwanger, J., Koutsabelouis, N., 2011, Deflandre J.P., J. Laurent, D. Michon and E. Blondin, 1995).

Проведення сейсмічного моніторингу є не завжди ефективним, як з геолого-геофізичних так і з економічних причин. Серед інших геофізичних методів, які використовуються для моніторингу можна назвати гравіметричний метод, який пов'язаний із контролем за зміною густини порід та електричний, який в останні роки знайшов широке використання при проведенні геологорозвідувальних робіт на нафту і газ. Так на теперішній час є приклади успішного застосування гравітаційного моніторингу для дослідження вулканічної активності, контролю за напрямками розповсюдження підземних вод, їх зберігання та видобутку зі штучних водоносних горизонтів, а також при розробці родовищ



Шоста міжнародна науково-практична конференція
"Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"
7-11 жовтня 2019 року

вуглеводнів. Нижче приведений опис можливості використання гравіметричного методу для моніторингу за станом та експлуатацією газосховищ на різних етапах їх експлуатації.

Циклічний річний процес експлуатації ПСГ включає в себе чотири періоди: відбір газу, закачування газу та два нейтральні періоди між ними. Кожен з періодів характеризується особливими умовами, в яких перебуває пластова система газосховища. На рисунку 1 представлена принципова схема змін, які відбуваються в газосховищі, при газовому режимі експлуатації між станом заповнення та станом виснаження ПСГ та їх відображення в гравітаційному полі. Динамічні зміни в газонасичених пластах ПСГ призводять до зміни об'ємної густини порід цих пластів. Найбільший вплив має зміна густини газу внаслідок його розширення або стиснення.

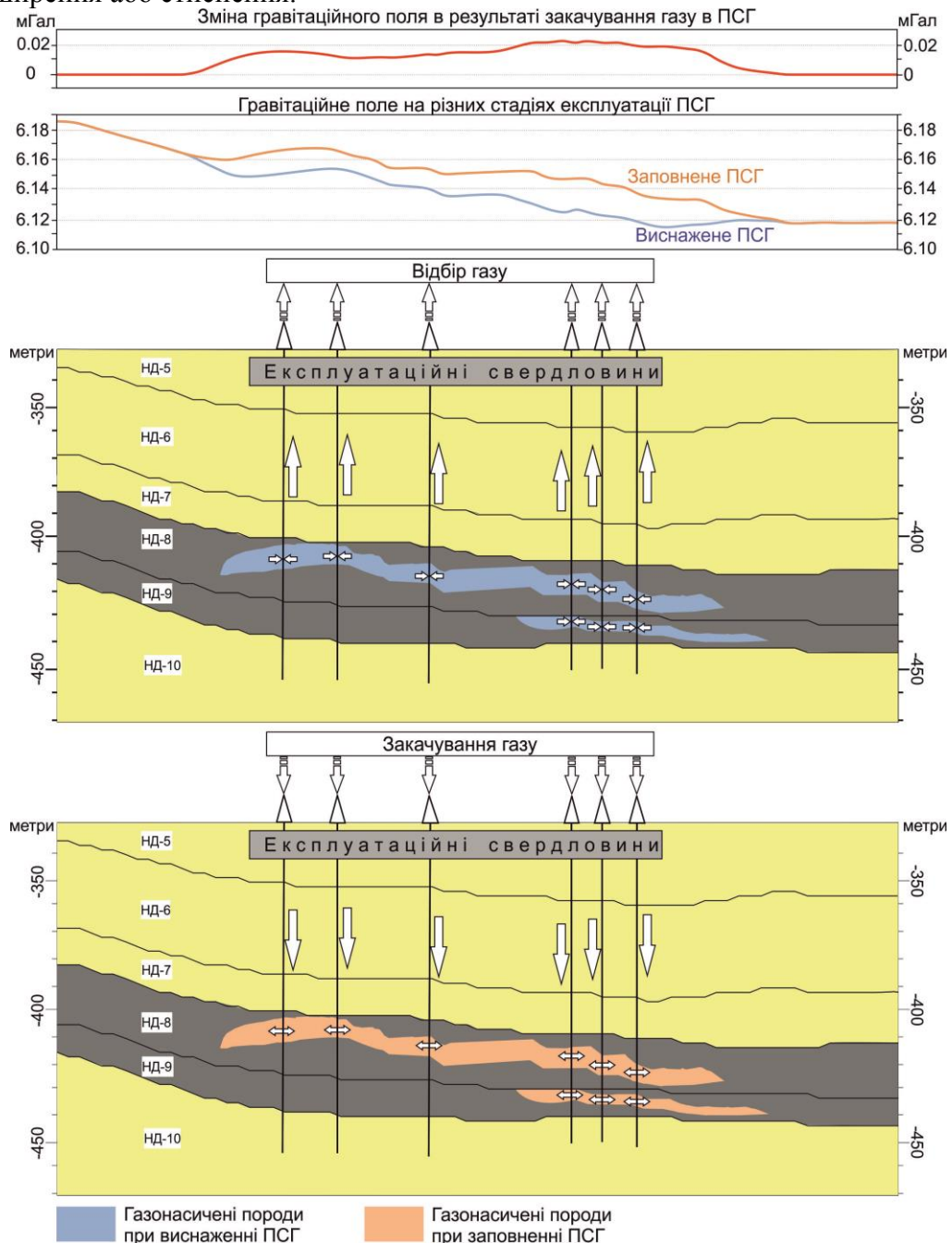


Рисунок 1– Принципова схема змін що виникають в процесі експлуатації ПСГ та їх відображення у гравітаційному полі

В період 2012-2013 років в межах Дашавського ПСГ силами ТЗОВ Інститут Геотехнологій «ІНГЕОТЕХ ЛТД» були виконані чотири серії гравіметричних



Шоста міжнародна науково-практична конференція
"Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"
7-11 жовтня 2019 року

моніторингових спостережень, дві в період виснаження і дві в період заповнення ПСГ. За результатами обробки даних гравіметричного моніторингу побудована інтегральна карта зміни гравітаційного поля між періодом виснаження та заповнення ПСГ. З використанням інтегральних змін гравітаційного поля та технології інтегральної інтерпретації комплексу геолого-геофізико-промислових даних здійснено прогнозування неоднорідного мікро розподілу геогустинних властивостей газонасичених пластів, що приймають участь у підземному зберіганні газу, шляхом розв'язку просторової оберненої лінійної задачі гравірозвідки з максимальною компенсацією відхилення між вхідним і розрахованим гравітаційними полями. Результатом кількісної інтерпретації стала створена інтегральна просторова геолого-геофізико-промислова модель Дашавського ПСГ, узгоджена з усім комплексом наявної геофізичної і геологічної інформації: структурні побудови за даними детальних 3D, регіональних 2D сейсмічних робіт, результатів ГДС по всьому фонду свердловин, аномальне гравітаційне поле, отримане за даними гравіметричних моніторингових спостережень, дані буріння глибоких свердловин, дані вивчення фізичних і колекторських властивостей порід, виміри пластового тиску, динаміка зміни балансової кількості газу. Створена неоднорідна 3D геолого-геофізична модель дозволила в межах нижньодашавських пластів-колекторів спрогнозувати найбільш ймовірні ділянки поширення газонасичених порід та встановити зв'язок між змінами геогустинних характеристик газонасичених резервуарів (рис. 2) з локальними змінами параметрів пластової системи в тому числі пластового тиску та кількості газу.

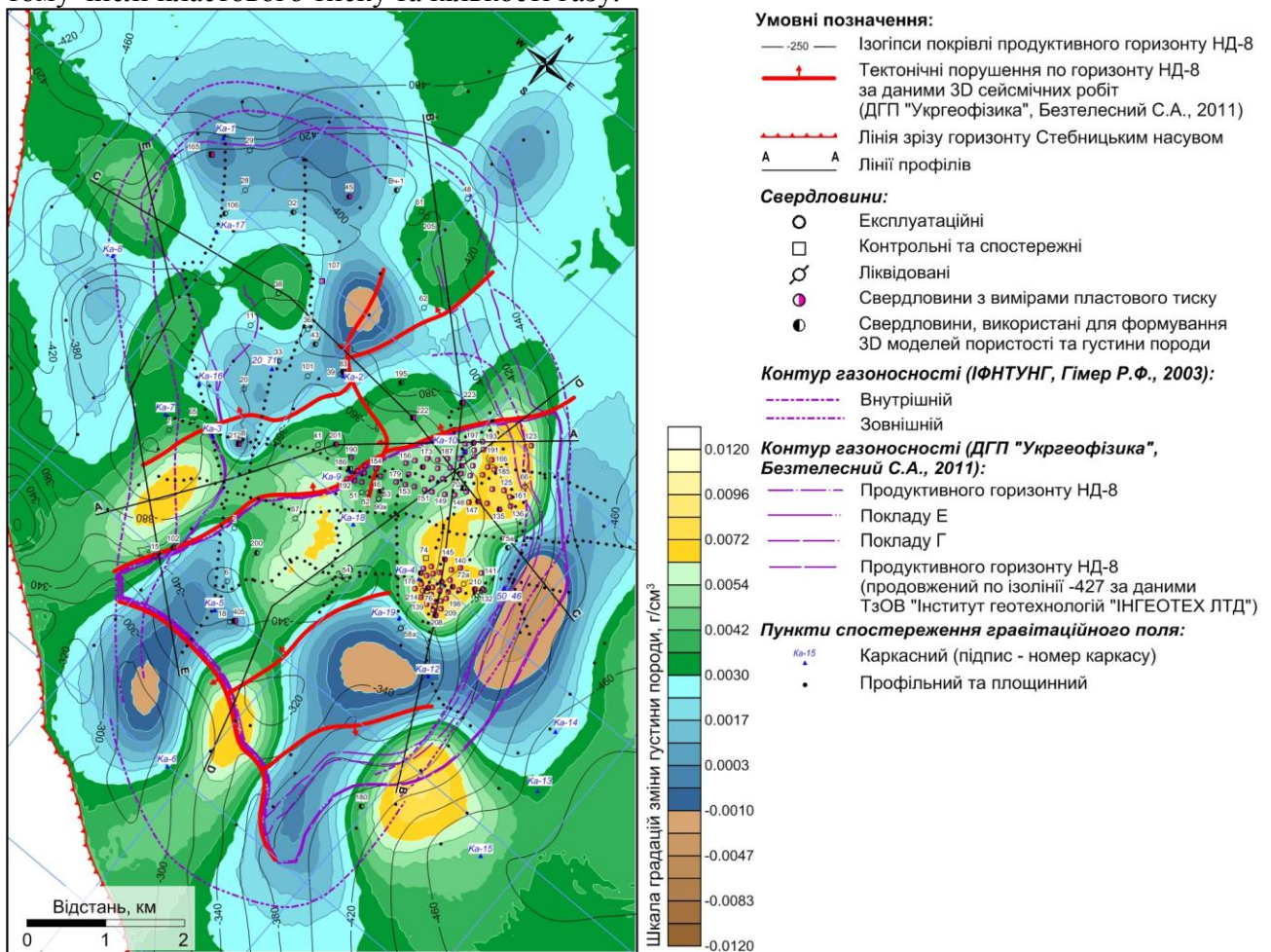


Рисунок 2 – Карта середніх значень зміни густини породи в межах відкладів продуктивного горизонту НД-8



**Шоста міжнародна науково-практична конференція
"Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"
7-11 жовтня 2019 року**

Характер зв'язку між зміною пластового тиску та густиною породи визначений на основі даних вимірів пластового тиску в 95 свердловинах, які проводились в період виконання гравіметричного моніторингу (рис. 3).

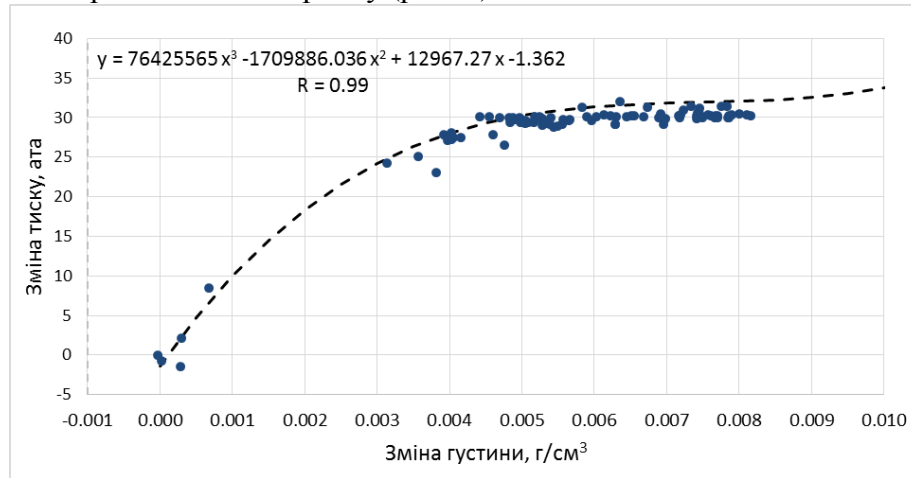


Рисунок 3 – Залежність між змінами пластового тиску та густини породи в просторовій 3D моделі в околі контрольних та спостережних свердловин

Використовуючи встановлену залежність, 3D просторова модель зміни густини породи була перерахована в 3D просторову модель зміни пластового тиску, на основі якої з використанням 3D моделі пористості сформованої за даними ГДС, розрахована 3D модель об'ємної щільності зміни кількості газу (рис. 4). Це дало можливість закартувати положення

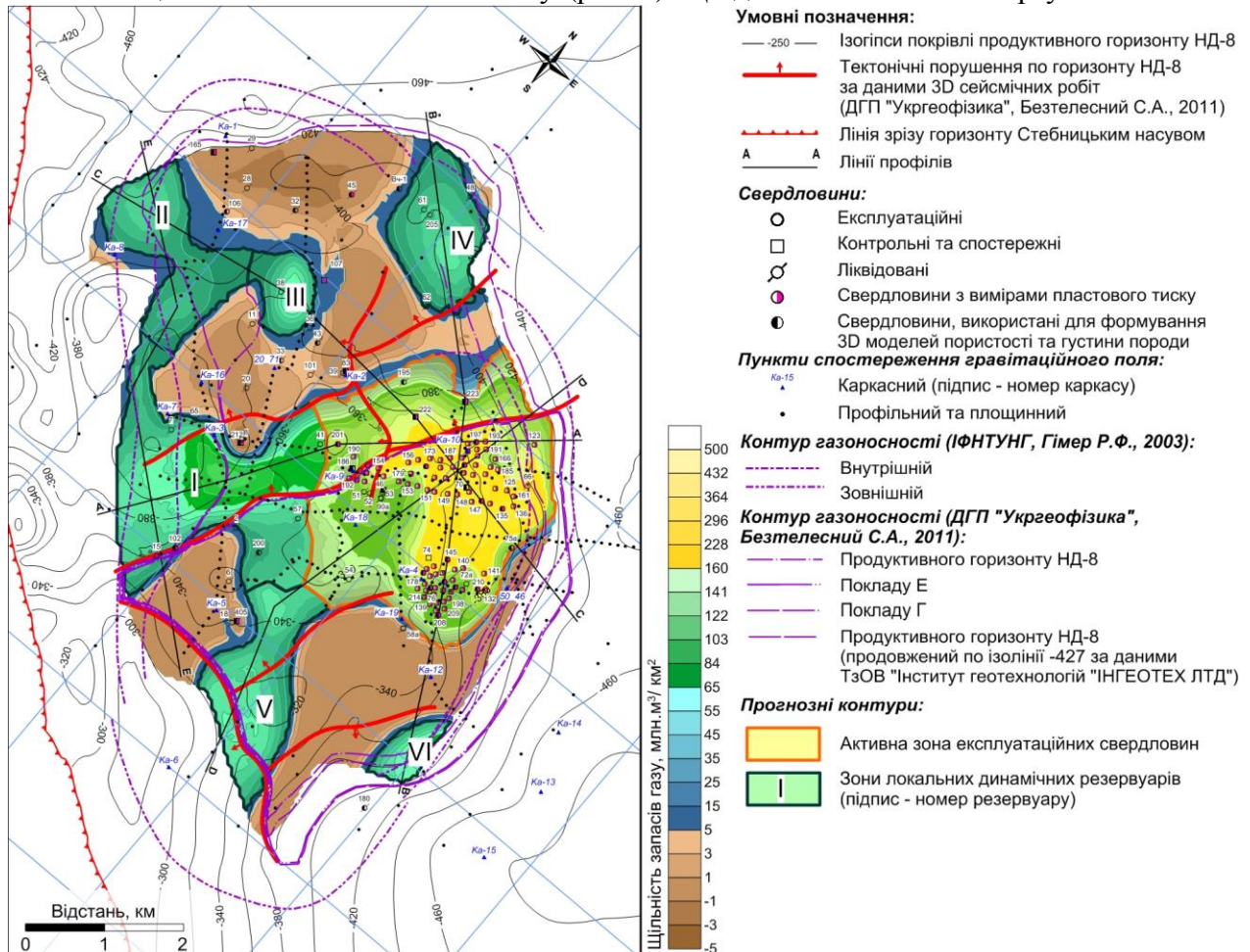


Рисунок 4 – Щільність зміни кількості газу в процесі експлуатації ПСГ в межах продуктивного горизонту НД-8 з прогнозними контурами локальних динамічних резервуарів



**Шоста міжнародна науково-практична конференція
"Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування"
7-11 жовтня 2019 року**

динамічних локальних резервуарів Дашавського ПСГ, які приймають участь у накопиченні та вивільненні активного газу. Визначено напрямки руху активного газу від експлуатаційних свердловин до периферійних динамічних локальних резервуарів в період нагнітання та з периферійних динамічних локальних резервуарів до експлуатаційних свердловин в період відбору газу. Розрахований об'єм активного газу в межах зон експлуатаційних свердловин і виділених динамічних локальних резервуарів та визначена їх значущість (частка в загальному об'ємі активного газу) з точки зору експлуатації Дашавського ПСГ. Похибка моделей пластового тиску відносно вимірів у свердловинах склала 0,4 ата (2,1 %), на період виснаження ПСГ та 0,9 ата (1,9 %) на період заповнення. Похибка в об'ємі закачаного/відібраного активного газу відносно балансових показників не перевищила 1 %.

Згідно отриманих результатів встановлено що в межах активної зони експлуатаційних свердловин в процесі циклічного закачування газу зберігається 1 162 млн. м³ активного газу, що складає 65,6 % від всього об'єму активного газу Дашавського ПСГ. Решта активного газу зберігається в локальних динамічних резервуарах (табл. 1).

Таблиця 1 – Структура розподілу активного газу в Дашавському ПСГ

Параметр	Активна зона	Локальний динамічний резервуар							Разом
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
Продуктивний горизонт НД-8									
Площа, км ²	8.3	4.7	2.0	0.7	1.7	2.1	0.4		19.9
Об'єм активного газу, млн. м ³	998.7	227.4	45.1	21.7	46.5	79.3	20.2		1438.9
Частка від загального об'єму активного газу, %	66.6	15.2	3.0	1.4	3.1	5.3	1.3		95.9
Продуктивний горизонт НД-9									
Площа, км ²	3.3	2.3	0.6			3.7		0.6	10.6
Об'єм активного газу, млн. м ³	163.5	29.1	9.4			42.5		6.8	251.4
Частка від загального об'єму активного газу, %	60.1	10.7	3.5			15.6		2.5	92.4
Дашавське ПСГ									
Площа, км ²	11.6	7.0	2.7	0.7	1.7	5.8	0.4	0.6	30.5
Об'єм активного газу, млн. м ³	1162.2	256.5	54.5	21.7	46.5	121.9	20.2	6.8	1690.4
Частка від загального об'єму активного газу, %	65.6	14.5	3.1	1.2	2.6	6.9	1.1	0.4	95.4

Результати проведених гравіметричних моніторингових досліджень на Дашавському ПСГ дозволили створити динамічну геогустинну 4D модель, визначити особливості розповсюдження активного газу, застійних зон, а також шляхи руху газу, в процесі експлуатації ПСГ, сформулювати теоретичну та методичну основи для моніторингу за станом і експлуатацією підземних сховищ газу в Україні на основі повторних гравіметричних спостережень.

1. Лизанець А., Войцицький І. - Звіт про науково-дослідну роботу "Технологічний проект циклічної експлуатації Дашавського ПСГ" - Харків: НАК "Нафтогаз", 1999