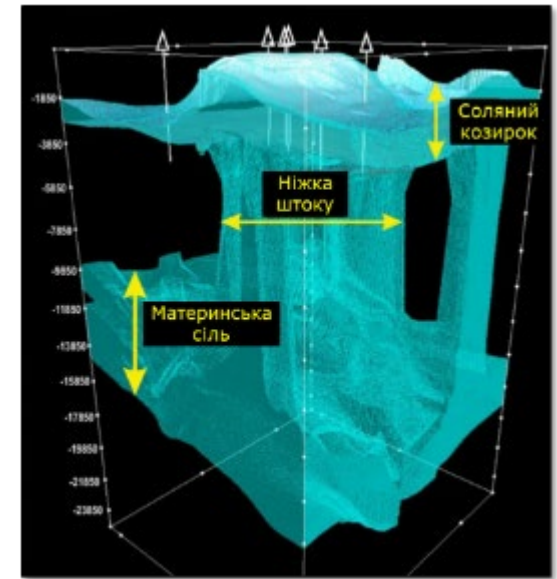


ТЕХНОЛОГІЯ КАРТУВАННЯ
КОМЕРЦІЙНИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ
3D ІНВЕРСІЇ ГРАВІМЕТРИЧНИХ ДАНИХ РАЗОМ ІЗ
СВЕРДЛОВИННОЮ ТА СЕЙСМІЧНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ



DEPROIL
DETAILED OIL & GAS PROSPECTING

ВИДОБУТОК СОЛІ В УКРАЇНІ

ЗАПАСИ СОЛІ – ХЛОРИД НАТРІЮ*



ВИДОБУТОК СОЛІ

В 2020-2021 роках, в Україні видобуто **2 млн тон** кам'яної солі, що making it the 21st largest salt producer in the world and 9th in Europe.

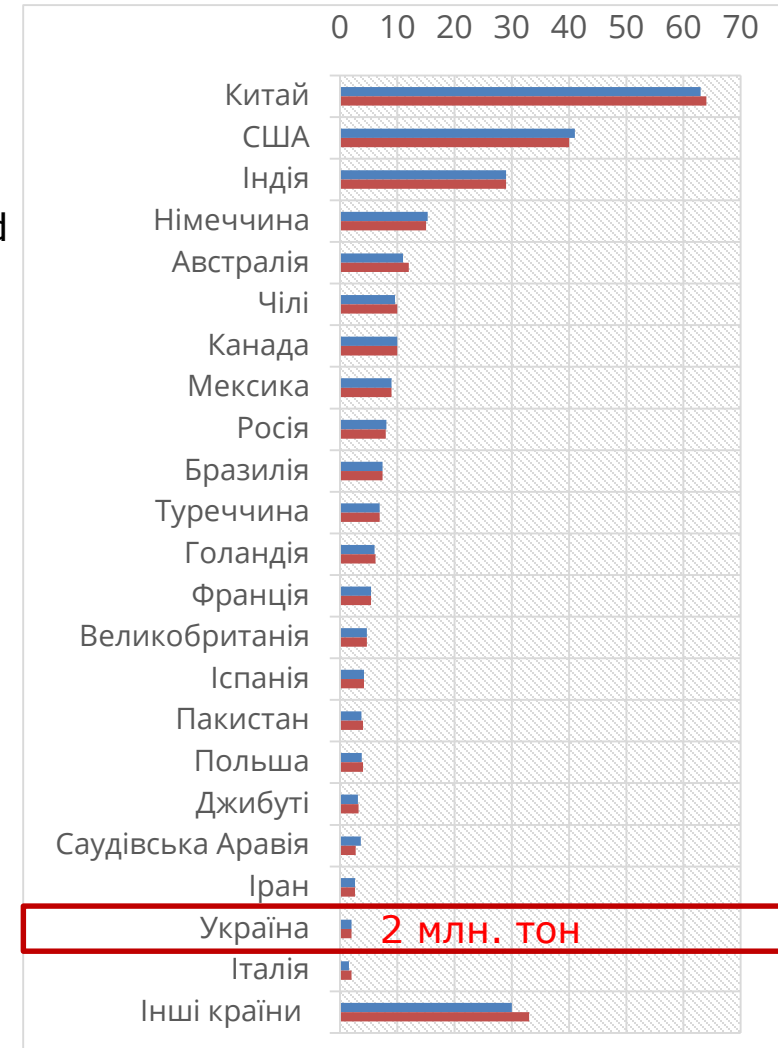
ДІЮЧІ РОДОВИЩА СОЛІ

Артемівське родовище
 Положення – Донецький басейн
 Запаси – 5 000 млн тон
Видобуток – 90-95% всього
 видобутку солі в Україні

* Географія мінеральних ресурсів України. М.Сивий, І. Паранько, Є.Іванов. 2013

** <https://www.statista.com/global-production-output-of-salt>

Основні країни виробники солі у світі (1,000 000 (млн) тон)** станом на 2020 (синім) та 2021 (червоним) роки



ВИДОБУТОК СОЛІ В УКРАЇНІ

ЗАПАСИ СОЛІ – ХЛОРИД НАТРІЮ



Europe's largest salt producer Artemsil shut down due to fighting in Donbass

26.05.2022, 15:21:25

Now in Ukraine and some European countries began a shortage of salt, this product has risen significantly.



ВИДОБУТОК СОЛІ В УКРАЇНІ

ЗАПАСИ СОЛІ – КАЛІЙНІ СОЛІ

Передкарпатський
басейн
337 млн тон



ВИДОБУТОК КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ

У зв'язку із застарілими технологіями виробництва та значним забрудненням навколишнього середовища, калійна сіль в Україні не видобувається з 2007 року

ЗАХОДИ ПО ВІДНОВЛЕННЮ ВИДОБУТКУ КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ

- Пошуково-розвідувальні роботи з метою картування ділянок із сприятливими поверхневими та геологічними умовами
- Переоцінка запасів калійних солей, адже поточні запаси затверджувалися ще в 1948-1960 роках минулого століття на матеріалах власної розвідки, а частково ще на довоєнних даних польських геологів)

* Мінеральні ресурси України. Щорічник. ДНВП «Геоінформ України». 2018

ВИКЛИКИ, ЯКІ СТОЯТЬ ПЕРЕД СОЛЕВИДОБУВНОЮ ПРОМИСЛОВІСТЮ

ВИКЛИКИ

- Зупинка видобутку солі на Артемівському родовищі на сході України в результаті ракетного обстрілу та руйнування інфраструктури
- Забезпечити населення та промисловість України сіллю власного видобутку
- В найкоротші терміни організувати видобуток солі на заході України

ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ ВИКЛИКІВ

- Відновити промисловий видобуток на відомих родовищах солі (при можливості)
- Заkartувати нові комерційні поклади солі та розпочати промисловий видобуток

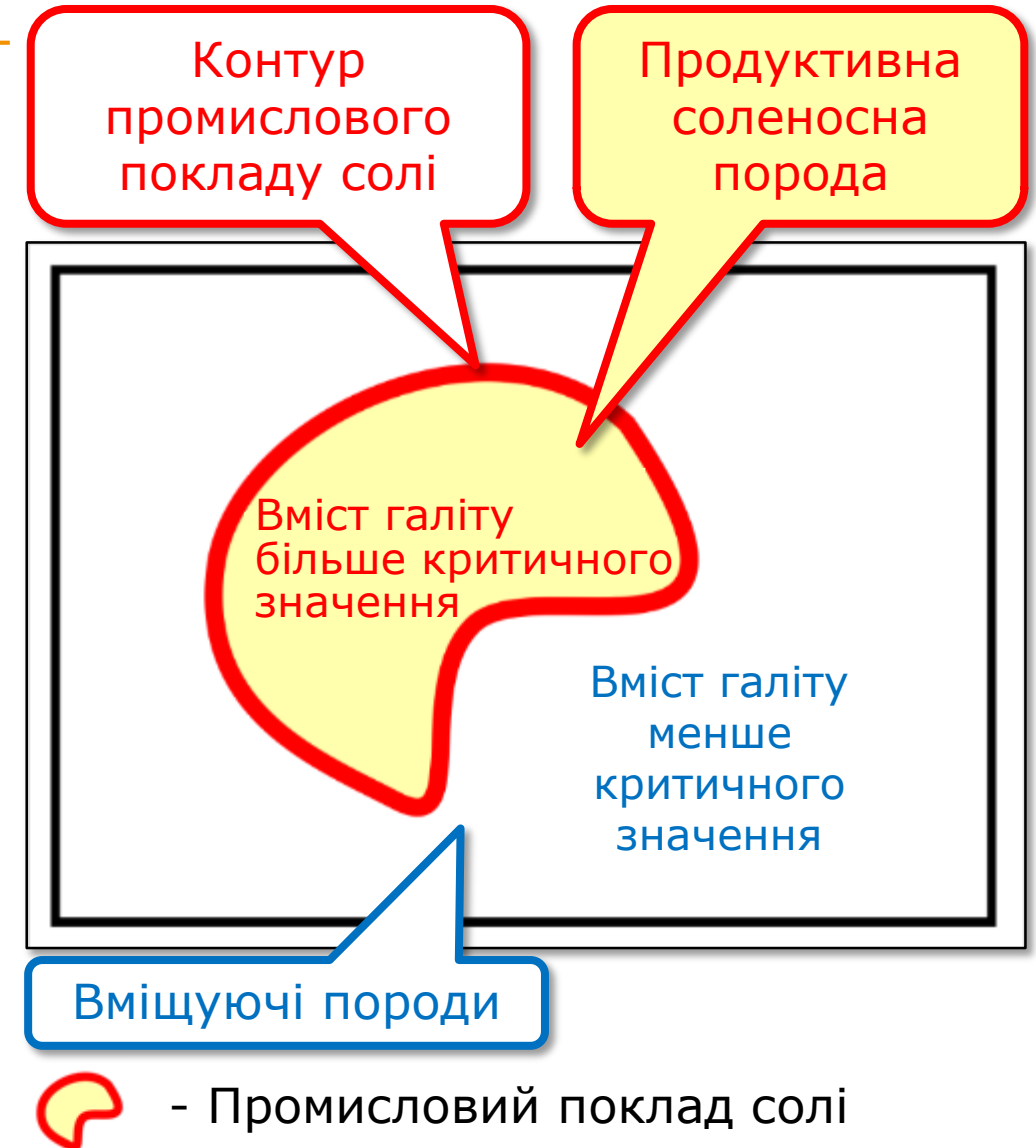


ПРОДУКТИВНА СОЛЕНОСНА ПОРОДА ТА ПРОМИСЛОВИЙ ПОКЛАД СОЛІ



DEPROIL
DETAILED OIL & GAS PROSPECTING

- **ПРОДУКТИВНА СОЛЕНОСНА ПОРОДА** – ізольований об'єм середовища, в межах якого вміст галіту перевищує критичне значення (>90%)
- **КОНТУР ПРОМИСЛОВОГО ПОКЛАДУ СОЛІ** картується як замкнутий контур, який охоплює продуктивну соленосну породу
- **ПРОМИСЛОВИЙ ПОКЛАД СОЛІ** – простір в межах контуру промислової соленосної породи, який охоплює продуктивну соленосну породу



ГУСТИНА ПРОДУКТИВНОЇ СОЛЕНОСНОЇ ПОРОДИ ТА КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ

➤ **ГУСТИНА ПОРОДИ** – найбільш чутливий фізичний параметр продуктивної соленосної породи, який залежить від вмісту галіту

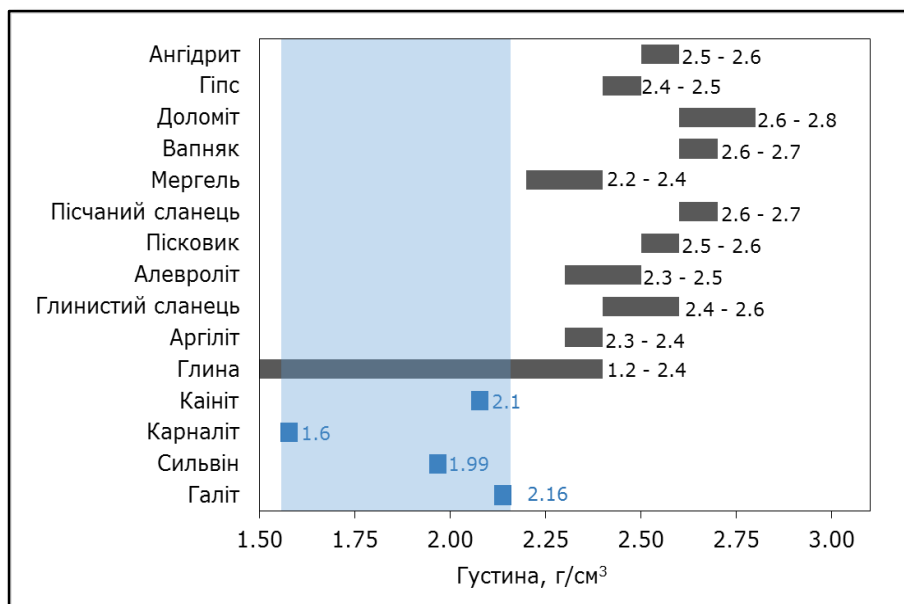
➤ **Густина соленосної породи:**

$$\sigma = K_{\text{сіль}} * \delta_{\text{сіль}} + (1 - K_{\text{сіль}}) * \delta_{\text{вм.п.}}$$

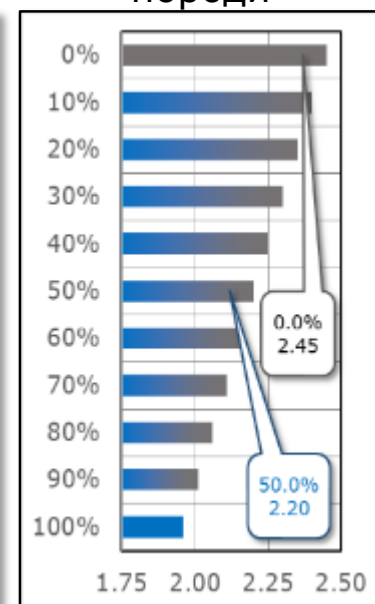
$K_{\text{сіль}}$ – вміст галіту

$\delta_{\text{сіль}}, \delta_{\text{вм.п.}}$ – густина мінералів галіту та вміщуючих порід

Найбільш поширені значення густини мінералів солі та осадових порід*



Густина соленосної породи



Густина мінералів солі та осадових порід

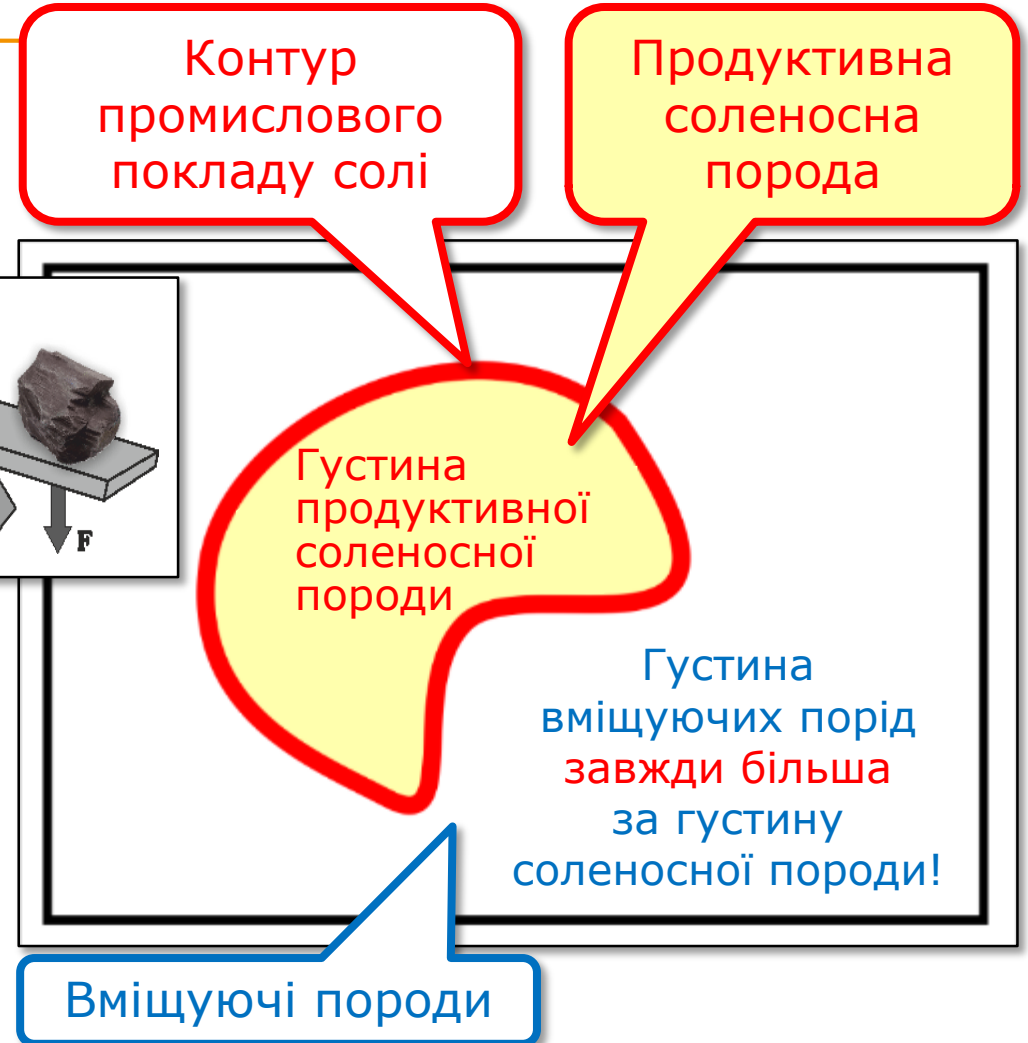
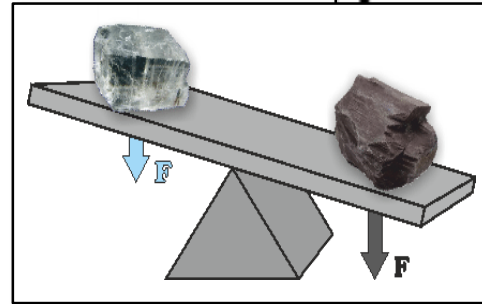
Мінерал / порода	Діапазон значень, г/см ³	Найбільш поширені значення, г/см ³
Мінерали солі		
Галіт	–	2.16
Сильвін	–	1.99
Карналіт	–	1.60
Каїніт	–	2.10
Середнє		1.96
Осадові породи		
Глина	1.2 – 2.4	–
Аргіліт	1.7 – 2.9	2.3 – 2.4
Глинистий сланець	2.3 – 3.0	2.4 – 2.6
Пісок	1.3 – 2.0	1.5 – 1.7
Алевроліт	1.8 – 2.8	2.3 – 2.5
Пісковик	2.0 – 2.9	2.5 – 2.6
Пісчаний сланець	2.3 – 3.0	2.6 – 2.7
Мергель	1.5 – 2.8	2.2 – 2.4
Вапняк	1.8 – 2.9	2.6 – 2.7
Доломіт	1.9 – 3.0	2.6 – 2.8
Гіпс	2.1 – 2.5	2.4 – 2.5
Ангидрит	2.4 – 2.9	2.5 – 2.6
Середнє		2.45

* Дортман, 1976



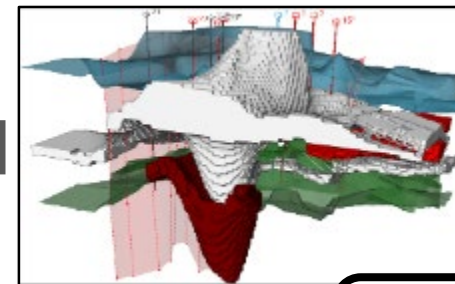
ГУСТИНА ПРОДУКТИВНОЇ СОЛЕНОСНОЇ ПОРОДИ ТА КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ

- **ГУСТИНА ПОРОДИ** – найбільш чутливий фізичний параметр соленосної породи, який залежить від вмісту галіту
- **ГУСТИНА ПРОДУКТИВНОЇ СОЛЕНОСНОЇ ПОРОДИ** є завжди меншою за густину вміщуючих порід
- **КОНТУР ПРОМИСЛОВОГО ПОКЛАДУ СОЛІ** картується як замкнутий контур, який включає в себе породи з меншою густиною, ніж на границі такого контуру - вміщуючих порід.
- **ГРАВІРОЗВІДКА** – єдиний геофізичний метод, який дає можливість дистанційно вивчати густину продуктивної соленосної породи.



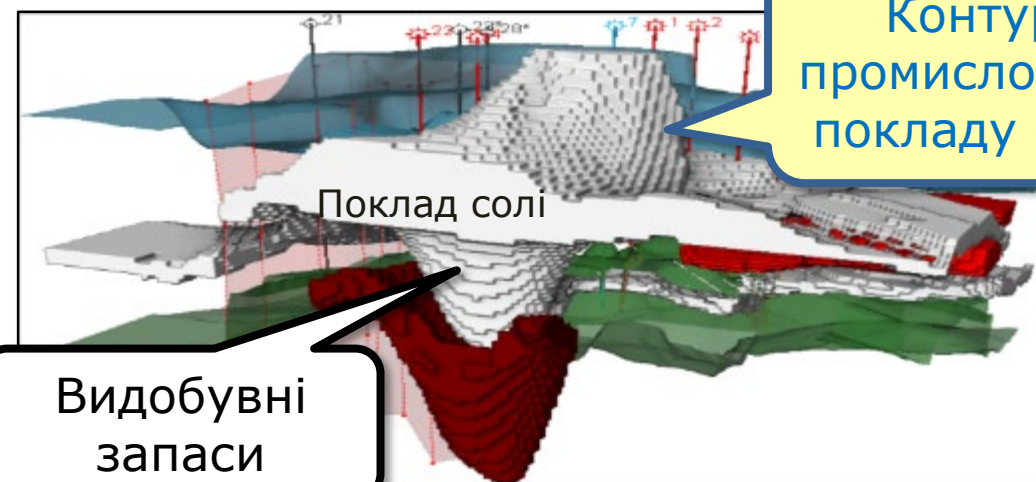
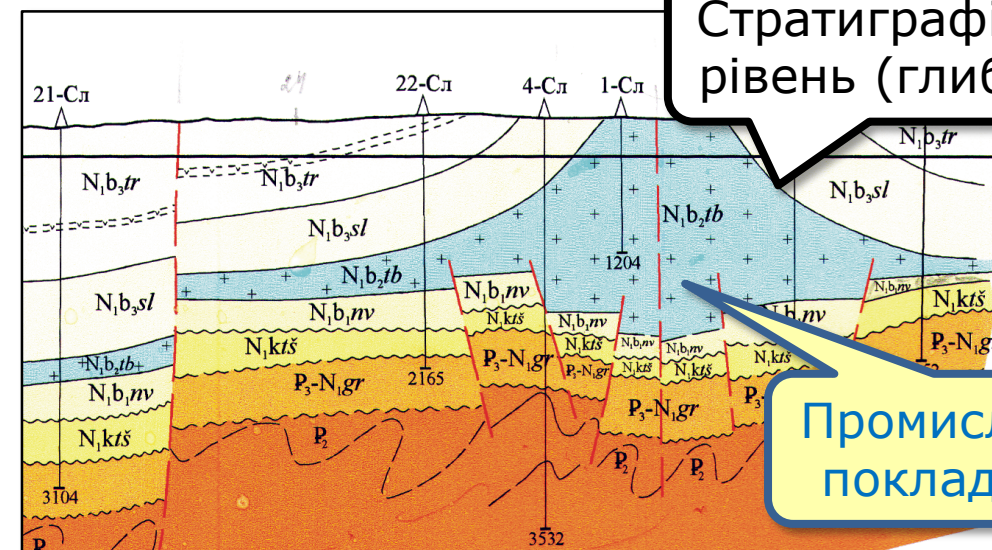
- Промисловий поклад солі

РЕВОЛЮЦІЙНІ РІШЕННЯ ДЛЯ РОЗВІДКИ ТА РОЗРОБКИ ПОКЛАДІВ СОЛІ



КОМПАНІЯ ДЕПРОІЛ ЛТД РОЗРОБИЛА:

- **3D МОДЕЛЬ ЩІЛЬНОСТІ ЗАПАСІВ ВУГЛЕВОДНІВ** – найбільш інформативний параметр покладу солі, який відображає лише кількість запасів солі на одиницю об'єму продуктивної соленосної породи (млрд.м³ солі на км³ породи)
- **ОЦІНКА ЗАГАЛЬНИХ ТА ВИДОБУВНИХ ЗАПАСІВ СОЛІ** базується на 3D моделі щільності запасів солі та контролюється методом Монте-Карло



30 РОКІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

- ✦ 1974 – Математична теорія «Критеріального підходу до розв’язку некоректних обернених задач геофізики для складнобудованих моделей середовища»
- ✦ 1989 – Модель активної 2D комплексної інтерпретації гравіметричних та сейсмічних даних
- ✦ 2003 – Картування контурів геологічних об'єктів на основі 3D моделей густини
- ✦ 2004 – Модель пасивної 3D комплексної інтерпретації гравіметричних та свердловинних даних
- ✦ 2010 – Початок польових гравіметричних спостережень, а з 2011 магнітометричних
- ✦ 2016 – Розрахунок промислових запасів корисних копалин методом Монте-Карло
- ✦ 2017 – Створення 3D моделі щільності промислових запасів корисних копалин
- ✦ 2018 – Розрахунок загальних промислових запасів на основі 3D геолого-промислових моделей покладів та методом Монте-Карло
- ✦ 2020 – Прогнозування об'ємів видобутку



ОБЕРНЕНА ЗАДАЧА – ПАСИВНА СХЕМА РОЗВ'ЯЗКУ

$$\begin{cases} A(\xi(\mathbf{x})) = y(\mathbf{s}), \xi(\mathbf{x}) \in M \subset D(A) \subset X, y(\mathbf{s}) \in Im(A) \subset Y \\ J(\xi(\mathbf{x})) \rightarrow \min, \mu(\xi(\mathbf{x})) = \|y(\mathbf{s}) - A(\xi(\mathbf{x}))\| \end{cases}$$

де: $\xi(\mathbf{x})$ – параметри моделі – густина або глибина горизонту
 $\xi(\mathbf{x}) \in X$ – метричний простір моделей

$y(\mathbf{s}) \in Y$ – спостережене геофізичне поле із похибкою ε

Y – метричний простір геофізичних полів

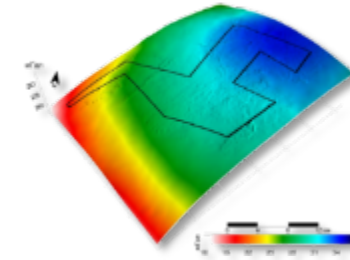
$A(\cdot): X \rightarrow Y$ – оператор, який зв'язує параметри моделі $\xi(\mathbf{x})$ із геофізичним полем $y(\mathbf{s})$ – не лінійний для структурної задачі і лінійний для задачі неоднорідного розподілу параметрів густини;
 $D(A)$ – множина визначення оператора $A(\cdot)$ – відкритий півпростір в просторі X , достатньо широкий для того щоби апроксимувати реальні геологічні моделі середовища

$Im(A)$ – множина значень оператора A у просторі Y , достатньо широка для апроксимації зареєстрованих геофізичних полів $y(\mathbf{s})$

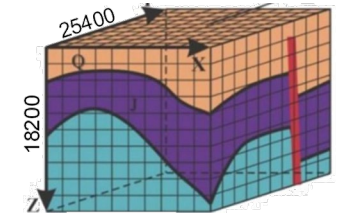
M – множина геологічно змістовних моделей середовища

$J(\cdot): X \rightarrow R$ – випуклий функціонал, який забезпечує вибір найкращої геологічно змістовної моделі

$\xi_I(\mathbf{x}), \xi_F(\mathbf{x})$ – початкова (Initial) та кінцева (Final) моделі

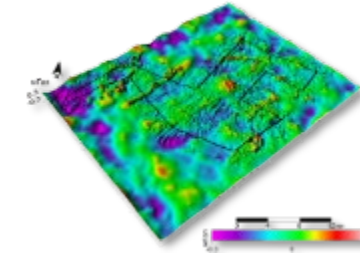


Гравітаційне поле – $y(\mathbf{s})$



Початкова модель – $\xi_I(\mathbf{x})$

Пасивна обернена задача

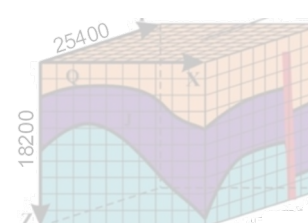


Відхилення полів (Похибка $\mu(\xi_F(\mathbf{x}))$)

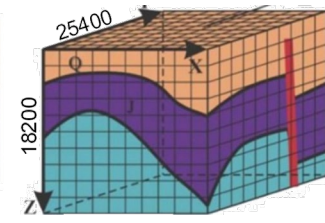
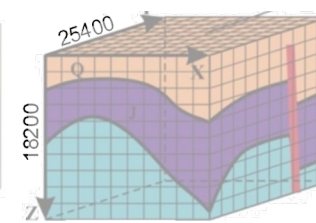
Вибір геологічно-змістовної моделі

$J(\xi(\mathbf{x}) - \xi_I(\mathbf{x})) \Rightarrow \min$

Еквівалентні моделі ($\mu < \varepsilon$)



Найгірша



Найкраща

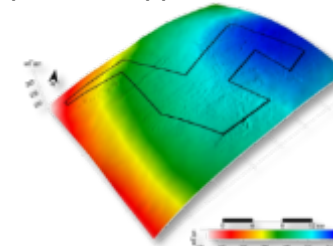
ОБЕРНЕНА ЗАДАЧА – АКТИВНА СХЕМА РОЗВ'ЯЗКУ

$$\begin{cases} A(\xi(\mathbf{x})) = y(\mathbf{s}), \xi(\mathbf{x}) \in M \subset D(A) \subset X, y(\mathbf{s}) \in Im(A) \subset Y \\ B(\eta(\mathbf{x})) = u(\mathbf{s}), \eta(\mathbf{x}) \in N \subset D(B) \subset X, u(\mathbf{s}) \in Im(B) \subset U \\ J(\xi(\mathbf{x}) - \eta(\mathbf{x})) \rightarrow \min, \mu = \|y(\mathbf{s}) - A(\xi(\mathbf{x}))\|, \tau = \|u(\mathbf{s}) - B(\eta(\mathbf{x}))\| \end{cases}$$

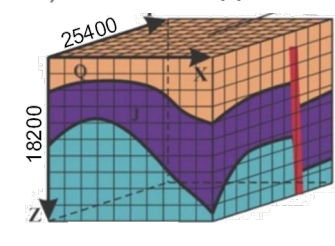
де: $\xi(\mathbf{x}), \eta(\mathbf{x})$ – густина або глибина горизонту
 $\xi(\mathbf{x}), \eta(\mathbf{x}) \in X$ – метричний простір моделей

$y(\mathbf{s}), u(\mathbf{s})$ – спостережені геофізичні поля з похибкою ε та δ
 $y(\mathbf{s}) \in Y, u(\mathbf{s}) \in U$ – метричні простори геофізичних полів
 $A(\cdot): X \rightarrow Y, B(\cdot): X \rightarrow U$ – оператори які зв'язують параметри моделей $(\xi(\mathbf{x}), \eta(\mathbf{x}))$ із геофізичними полями $(y(\mathbf{s}), u(\mathbf{s}))$;
 $D(A), D(B)$ – множини визначення операторів $A(\cdot), B(\cdot)$ – відкриті півпростори в просторі X , достатньо широкі для того щоби апроксимувати реальні геологічні моделі; $Im(A), Im(B)$ – множини значень операторів A і B , достатньо широкі для апроксимації зареєстрованих геофізичних полів

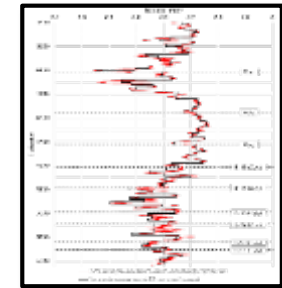
M, N – множини геологічно змістовних моделей середовища
 $J(\cdot): X \rightarrow R$ – випуклий функціонал, який діє на X та забезпечує вибір найкращої геологічно змістовної моделі середовища
 $\xi_I(\mathbf{x}), \xi_F(\mathbf{x}), \eta_F(\mathbf{x})$ – початкова (Initial) та кінцеві (Final) моделі



Гравітаційне поле – $y(\mathbf{s})$

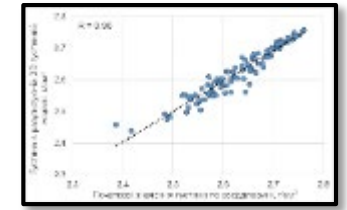
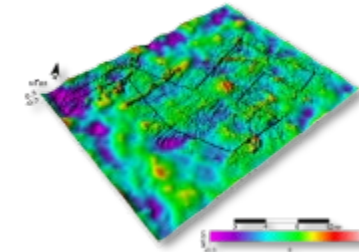


Початкова модель – $\xi_I(\mathbf{x})$



Дані ГДС – $u(\mathbf{s})$

Активна обернена задача



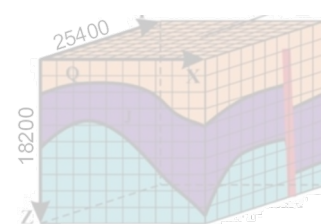
Свердловина

Відхилення полів (Похибки $\mu(\xi_F(\mathbf{x}))$ та $\tau(\eta_F(\mathbf{x}))$)

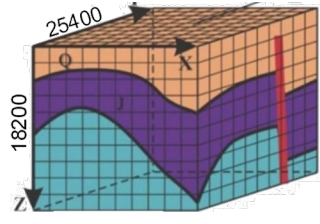
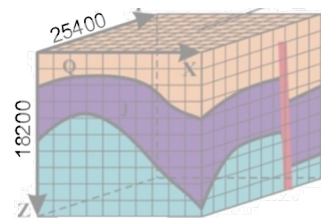
Вибір геологічно-змістовної моделі

$J(\xi_F(\mathbf{x}) - \eta_F(\mathbf{x})) \Rightarrow \min$

Еквівалентні моделі ($\mu < \varepsilon$ та $\tau < \delta$)



Найгірша

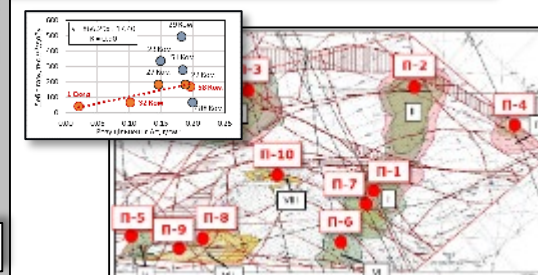
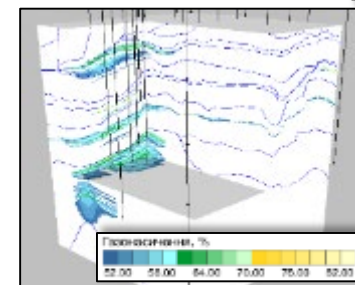
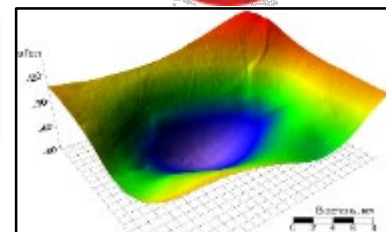
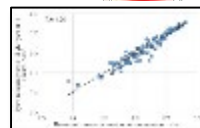
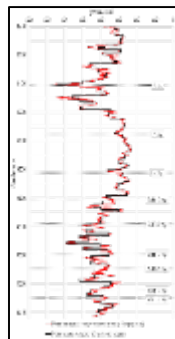
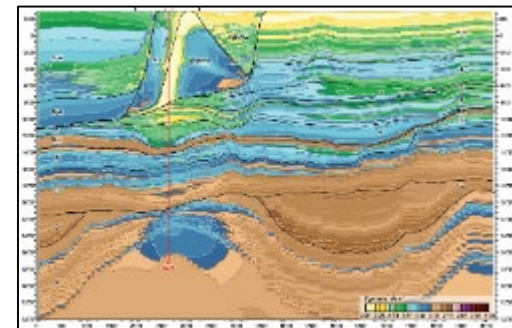
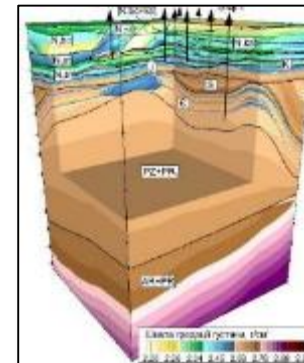
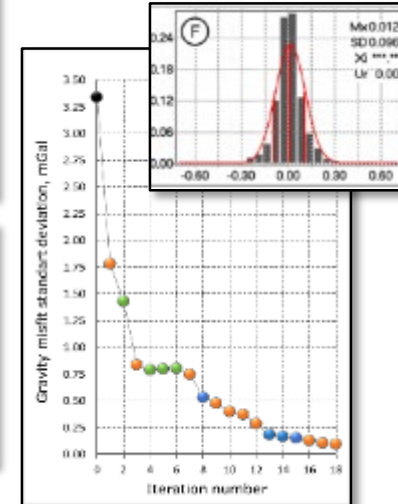
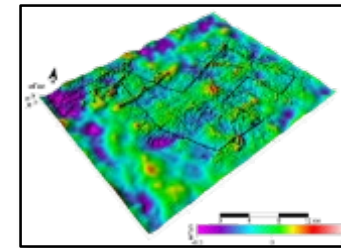
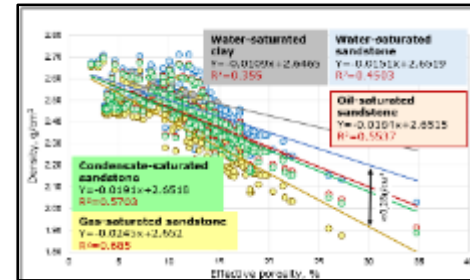
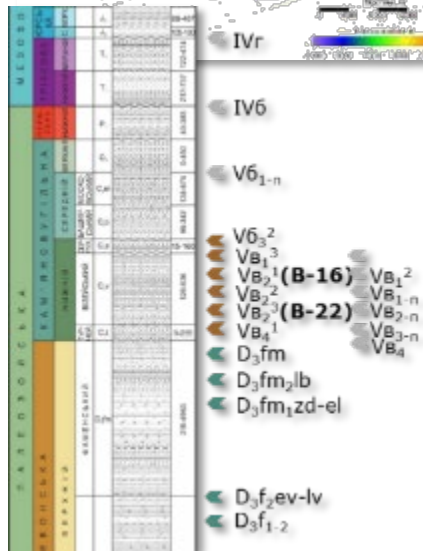
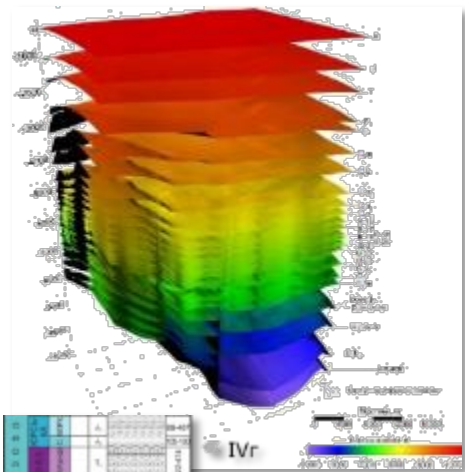


Найкраща

АЛГОРИТМ 3D ГРАВІТАЦІЙНОЇ ІНВЕРСІЇ



DEPROIL
DETAILED OIL & GAS PROSPECTING



ТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА ВЛАСНІ ПРОГРАМНІ СИСТЕМИ ДЛЯ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ

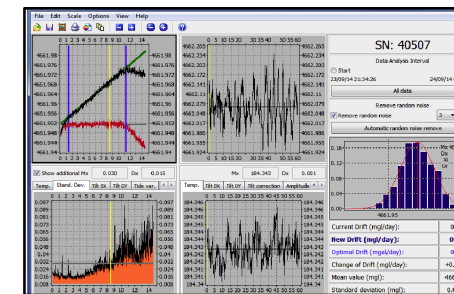
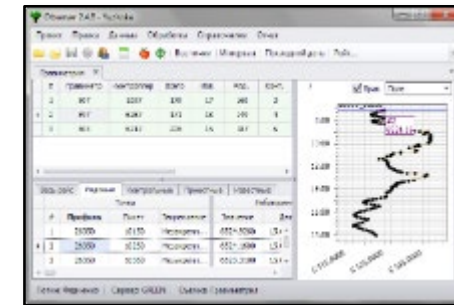
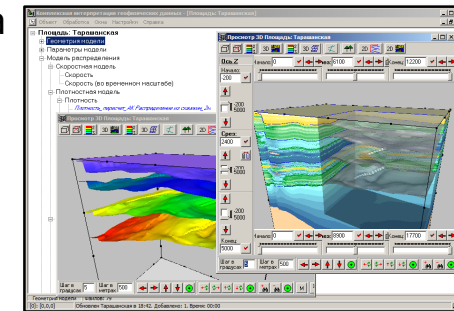
ТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

- SCINTREX CG-5 (Canada) – 6 комплектів цифрових гравіметрів
- GEOMETRICS G-859SX Mining Mag (USA) – 4 комплекти цифрових цезієвих магнітометрів
- GEOMETRICS G-856AX Memory-Mag (USA) – цифровий протонний магнітометр
- Фактична похибка спостереження гравітаційного поля – $<6.5 \mu\text{Gal}$
- Фактична похибка спостереження магнітного поля - $<0.8 \text{ nT}$
- Trimble GPS R-10, R-8, 5700 – 10 комплектів ГНСС
- Комп'ютерний кластер - 342 ядра



ВЛАСНІ ПРОГРАМНІ СИСТЕМИ

- GCIS** – автоматизована комп'ютерна система, яка забезпечує створення, зберігання та визначення оптимальних параметрів густини 1D, 2D, 3D моделей геологічного середовища
- OBSERVER** – Клієнт-Серверна програма, яка в оперативному режимі зберігає та обробляє результати гравімагнітометричних спостережень та в реальному часі контролює їх якість
- GRAVITYDRIFT** – програма для контролю роботи цифрових гравіметрів Scintrex CG-5 та встановлення оптимальних параметрів





DEPROIL
DETAILED OIL & GAS PROSPECTING

ПЛОЩА РОБІТ



ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ СОЛЕНОС БАСЕЙН, УКРАЇНА

Новий промисловий поклад галіту NaCl!

Загальні запаси галіту: **3.25** - **3.81** - **4.77** млрд. тон

Вартість закартованих запасів солі в залежності від концентрації галіту в породі для видобутку **шахтним способом** (56\$ за тонну) – **182** - **214** - **267** млрд \$,

для видобутку способом **розчинення у свердловинах**

з вакуумним осадженням (220\$ за тонну) – **715** - **839** - **1050** млрд \$

ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ ПРОГИНІ

Дослідження проводились у 2021-2022 роках

➤ Ділянка досліджень:

- Положення – Передкарпатський прогин
- Площа – 80.99 км² (8.9 x 9.1 км)
- Глибина фундаменту (AR-PR) ≈ 7 км

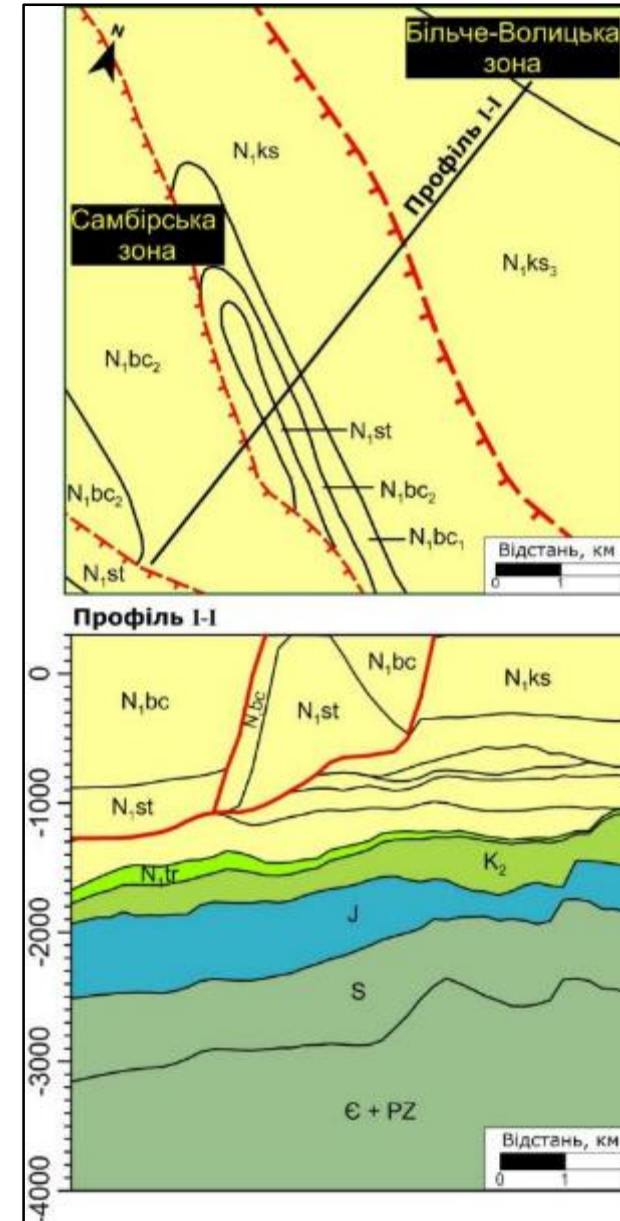
➤ Геофізична зйомка:

- Високоточна гравіметрична зйомка масштабу 1:10 000 з використанням цифрових гравіметрів Scintrex CG-5 (Канада). Похибка зйомки ± 6.5 мкГал
- Високоточна магнітометрична зйомка масштабу 1:10 000 з використанням цезієвого магнітометра Geometries G-859 (США). Похибка зйомки ± 0.71 нТл

➤ Мета досліджень:

- Картування комерційних покладів вуглеводнів різної морфології та походження

Геологічна карта
(В. Глушко, 1968)



■ - Кам'яна сіль

ГРУПА	СИСТЕМА	ВІДДІЛ	ЯРУС	СВІТА	ІНДЕКС
КАЙНОЗОЙ	НЕОГЕН	МІОЦЕН	Сармат	Дашевська	N,ds
				Баден	Косівська
			КАРПАТІЙ	Тираська	N,t
				Богородчанська	N,bg
					N,k
		НАСУВ	Оттанзський	Балицька	N,bl
				Стебницька	N,st
			Верхній	Санданський - Кампанський	K,sk
				Коньякський	K,k
				Туронський	K,t
ЮРА	Верхній	Самоланський	K,s		
		Альбський	K,al		
		Титонський	J,t		
		Кімериджський	J,km		
		Окфордський	J,o		
МЕЗОЗОЙ	КРЕЙДА	Верхній	Senon		K,sk
					K,k
					K,t
					K,s
					K,al
					J,t
					J,km
					J,o
ПАЛЕОЗОЙ					PZ
AR-PR					AR-PR

ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

➤ Поклади солі:

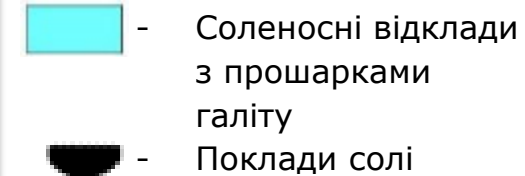
- Досліджувана ділянка знаходиться в найбільш перспективній частині Передкарпатського соленосного басейну
- Пачки кам'яної солі товщиною до **500 м** (Charowski, 2009) зустрічаються в розрізі **балицької світи** (N_1bc) неогену
- Середній вміст NaCl змінюється в межах від 70.7% до 95.46%

➤ Свердловина #1:

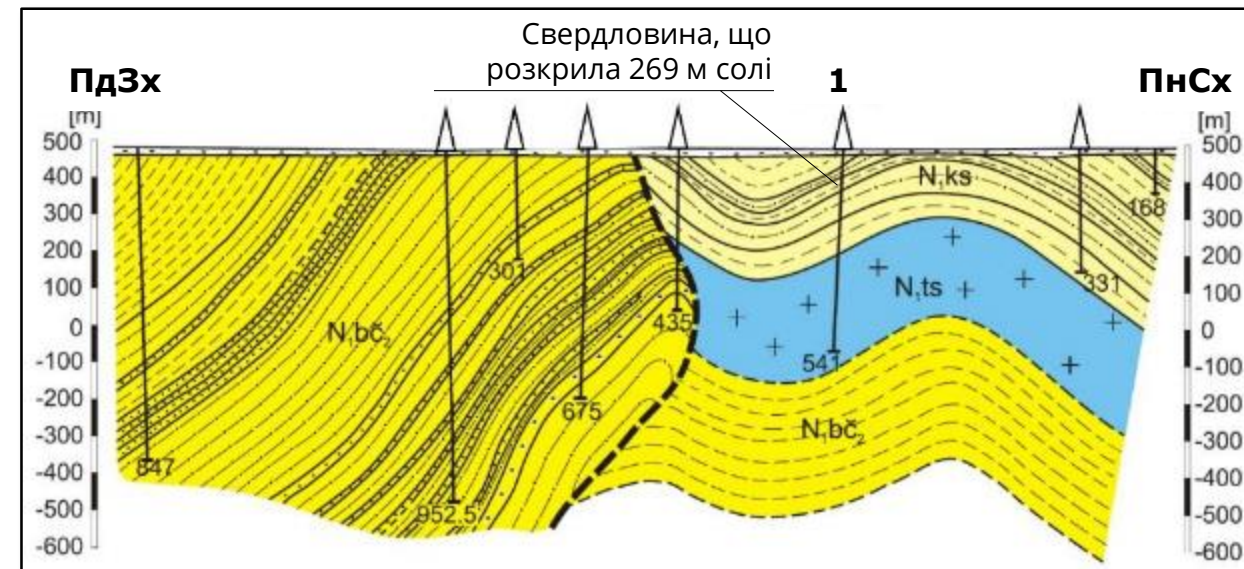
- Свердловина пробурена в рамках пошукових робіт на калійні солі
- Свердловина розкрила максимальну в межах ділянки досліджень товщину солі - **269 м солі** з середнім вмістом **NaCl - 76.3%**
- Зважаючи на кути падіння (**30°**) крила синкліналі, розкритої свердловиною, істинна товщина соленосної пачки може складати **232 м**
- Свердловина зупинилася на глибині **541 м** не вийшовши з солі



Карта поширення нижньо-міоценових соленосних порід в межах Передкарпатського соленосного басейну (В.О. Ващенко, 2007)



Геологічний розріз по лінії профілю II-II (Ступницький та ін., 1978)



ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

➤ Розмір моделі:

- В плані 8.9 x 9.1 км
- Глибина 12 км

➤ Вхідні дані для 3D структурної моделі:

- 3D сейсмічний куб
- 2D сейсмічні побудови
- Розбивки свердловин

➤ Вхідні дані для 3D моделі густини:

- Акустичний каротаж
- Густина по керну
- Петрофізична характеристика за даними ГДС

➤ Високоточне гравітаційне поле

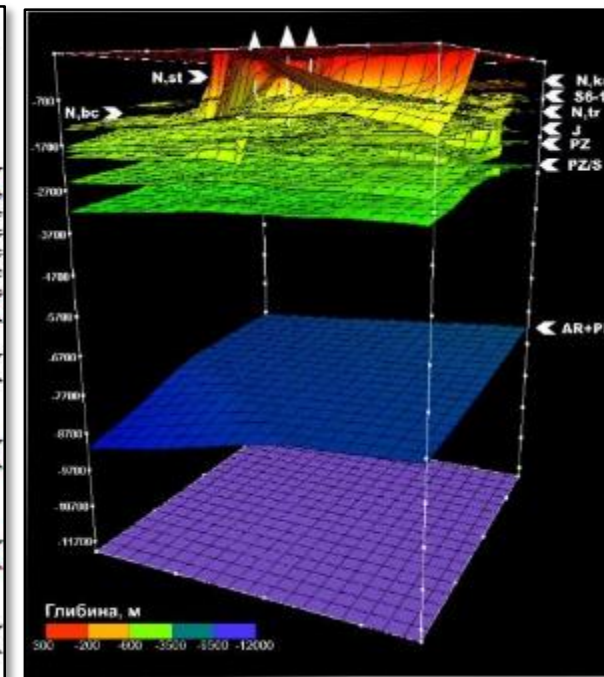
➤ 3D структурна модель

- **15** структурних границь:
- 6 базових границь: N_1st (3x), N_1st (Cx), N_1tr , J, PZ, AR+PR
- 3 проміжні стратиграфічні границь: N_1bc , N_1ks , K_2
- 6 проміжних сейсмічних границь в межах косівської світи неогену (N_1ks) та в палеозої: S-6, S-5, S-3, S-2-2, S-1, PZ-S

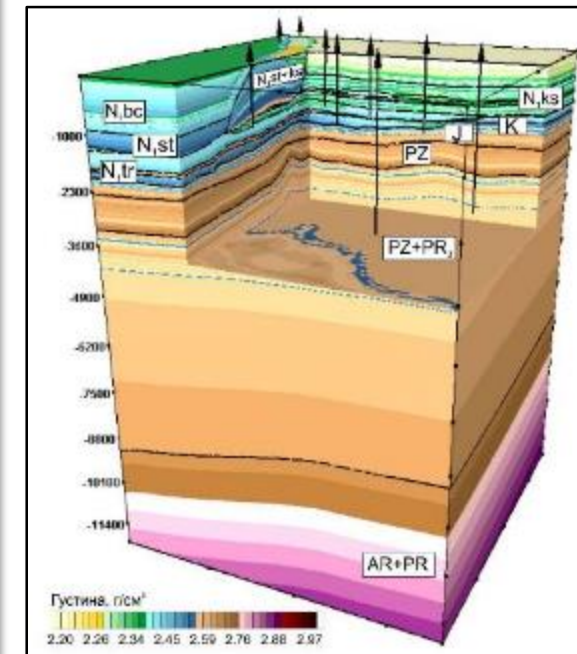
➤ 3D модель густини порід

- Розмір елементарної комірки при апроксимації 3D моделі: 100 x 100 x 5 м
- Кількість елементарних комірок: 19.9 млн

ГРУПА	СИСТЕМА	ВІДДІЛ	ЯРУС	СВІТА	ІНДЕКС	ГРАНИЦІ				
КАЙНОЗОЙ	НЕОГЕН	МІОЦЕН	Сармат	Дашавська	N_{1da}					
			Баден	Косівська	N_{1ks}					
				Тираська	N_{1tr}					
				Богородчанська	N_{1bg}					
			НАСУВ	Отнанський	Балицька		N_{1bl}			
					Стебницька		N_{1st}			
			МЕЗОЗОЙ	КРЕЙДА	ЮРА		Сantonський - Кампанський	K_{2st}		
							Коньякський	K_{1k}		
							Туронський	K_{1t}		
							Саноманський	K_{1s}		
Альбський	K_{1al}									
Титонський	J_{1t}									
Кімериджський	J_{1km}									
Оксфордський	J_{1o}									
ПАЛЕОЗОЙ								PZ		
AR-PR					$AR-PR$					



Початкова 3D модель густини



ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

Методика розрахунку густини порід за даними ГДС

- Первинний контроль, аналіз якості та ув'язка даних акустичного каротажу
- Розрахунок коефіцієнтів глинистості та піщанистості з використанням формули Шлюмберже на основі даних ГК
- Розрахунок густини порід в інтервалах розрізу, перекритих даними ГДС, з використанням швидкості за даними акустичного каротажу та модифікованої формули Гарднера
- Калібрування коефіцієнтів модифікованої формули Гарднера на основі даних керну із умови співпадіння середнього і стандартного відхилення для розподілів густини

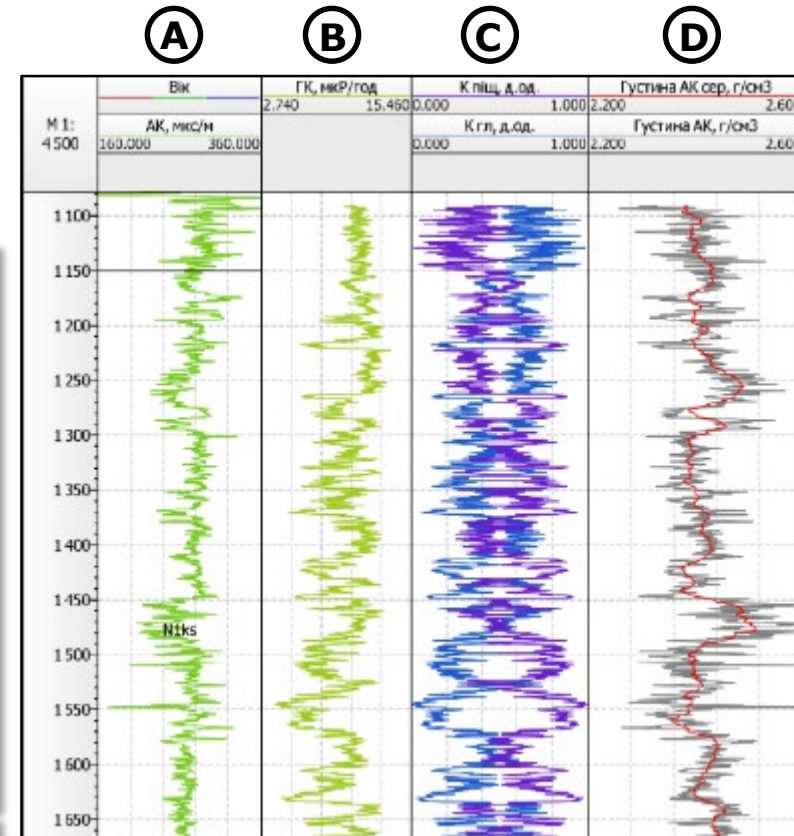
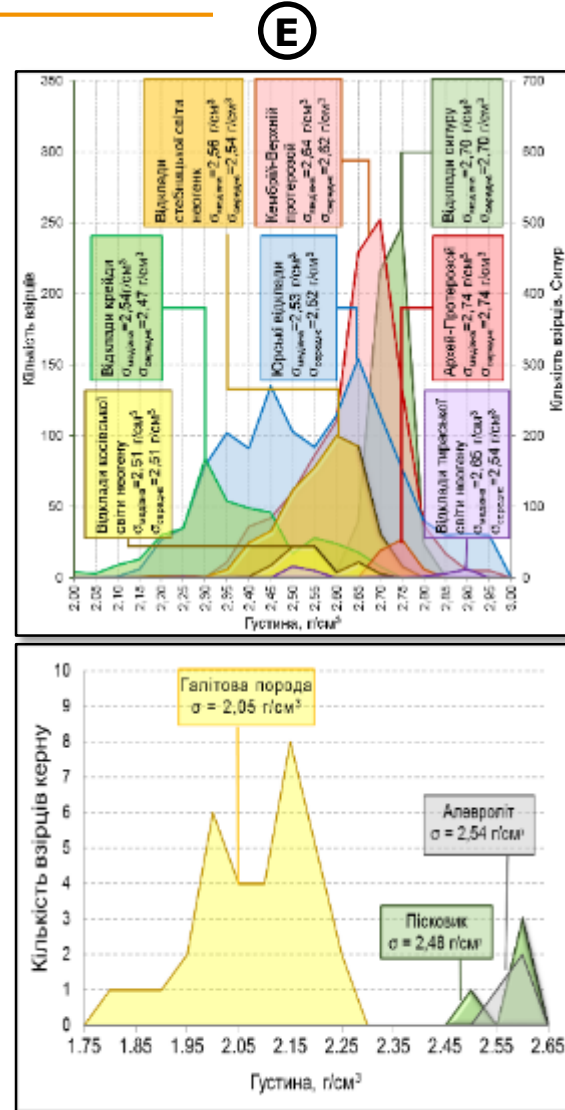
Модифікована формула Гарднера:

$$\sigma = (K_K * a_K + K_{\Pi} * a_{\Pi} + K_{ГЛ} * a_{ГЛ} + K_{АНГ} * a_{АНГ} +$$

ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

Методика розрахунку густини порід за даними ГДС

- Первинний контроль, аналіз якості та ув'язка даних акустичного каротажу (A)
- Розрахунок коефіцієнтів глинистості та піщаності (C) з використанням формули Шлюмберже на основі даних ГК (B)
- Розрахунок густини порід (D) в інтервалах розрізу, перекритих даними ГДС, з використанням швидкості за даними акустичного каротажу та модифікованої формули Гарднера
- Калібрування коефіцієнтів модифікованої формули Гарднера (F) на основі даних керну (E) із умови співпадіння середнього і стандартного відхилення для розподілів густини



Літологія	Коефіцієнти до калібрівки*		Коефіцієнти після калібрівки	
	a	b	a	b
Відклади Стебницького насуву				
Глина	0.3118	0.2515	0.3500	0.2515
Пісковин	0.2309	0.2826	0.3300	0.2380
Сіль та засолені породи	0.0022	0.8128	0.2947	0.235557
Інші відклади				
Глина	0.3118	0.2515	0.3118	0.2515
Пісковин	0.2309	0.2826	0.2309	0.2826
Карбонати	0.1593	0.3234	0.1593	0.3234
Гіпс та ангідрит	0.7038	0.1634	0.7038	0.1634

ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

Визначення параметрів 3D моделі густини

(A) - Створення апріорної 3D моделі густини, узгодженої із наявними свердловинними, сейсмічними та геологічними даними.

$SD = 3.340$ мГал

(B) - Картування покрівлі відкладів палеозою шляхом застосування 3D нелінійної гравітаційної інверсії.

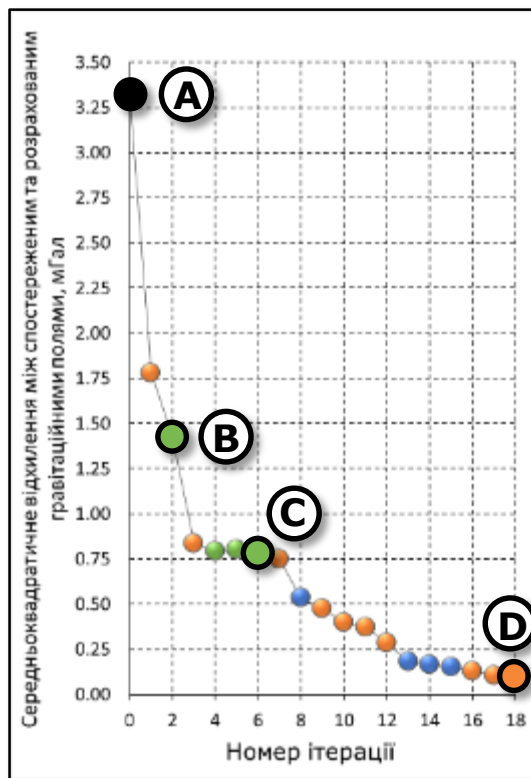
$SD = 1.430$ мГал

(C) - Картування положення соленосних утворень неогену шляхом застосування 3D нелінійної гравітаційної інверсії.

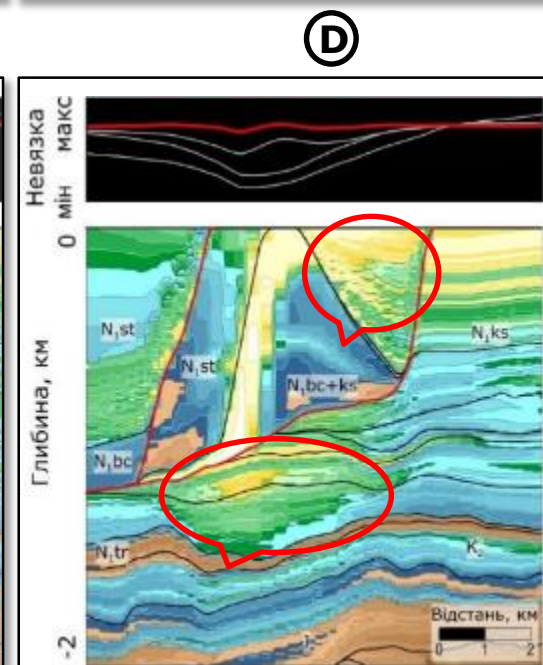
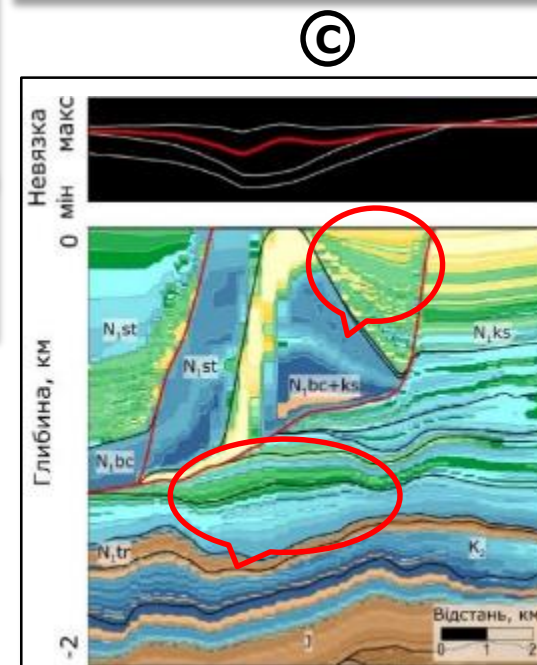
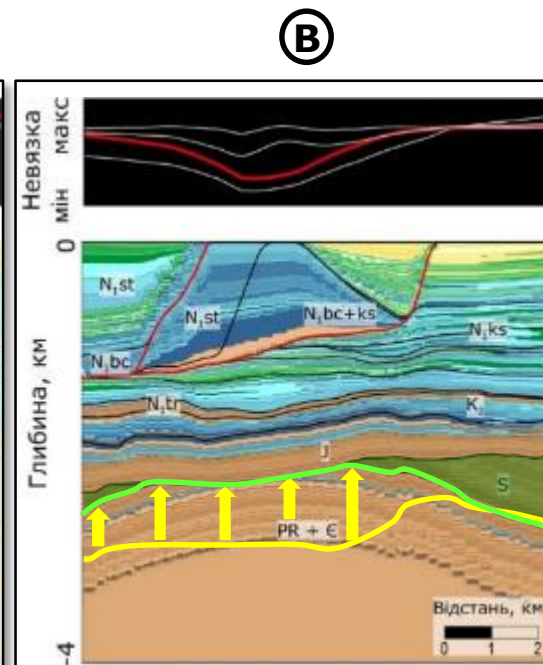
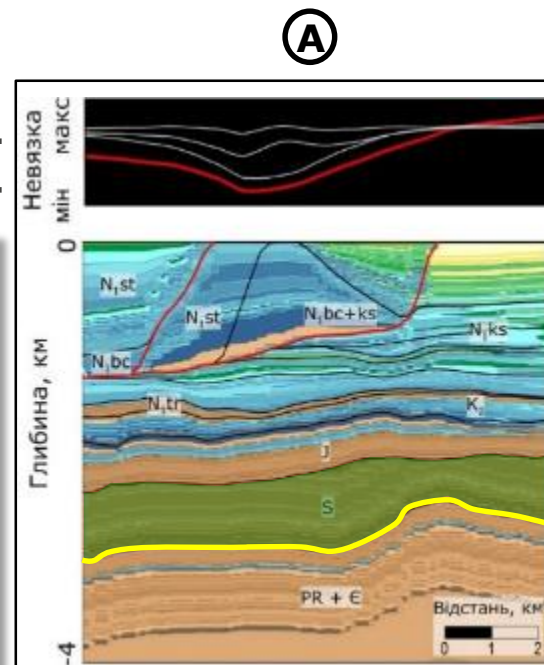
$SD = 0.800$ мГал

(D) - Прогнозування неоднорідного 3D мікро-розподілу геогустинних властивостей шляхом застосування активної 3D+1D лінійної гравітаційної інверсії

$SD = 0.096$ мГал



- - 3D нелінійна гравітаційна інверсія
- - 3D пасивна лінійна гравітаційна інверсія
- - 3D активна лінійна гравітаційна інверсія



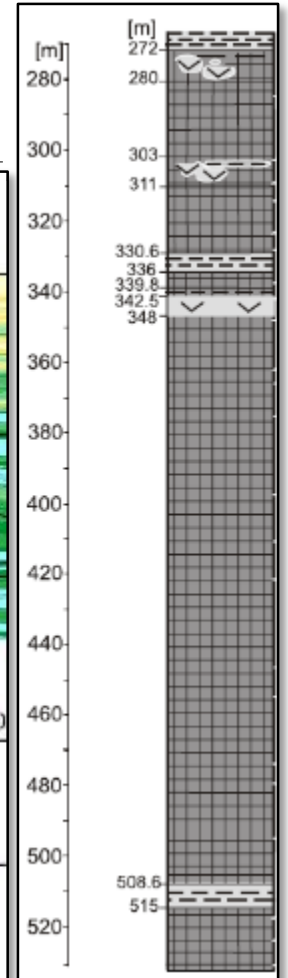
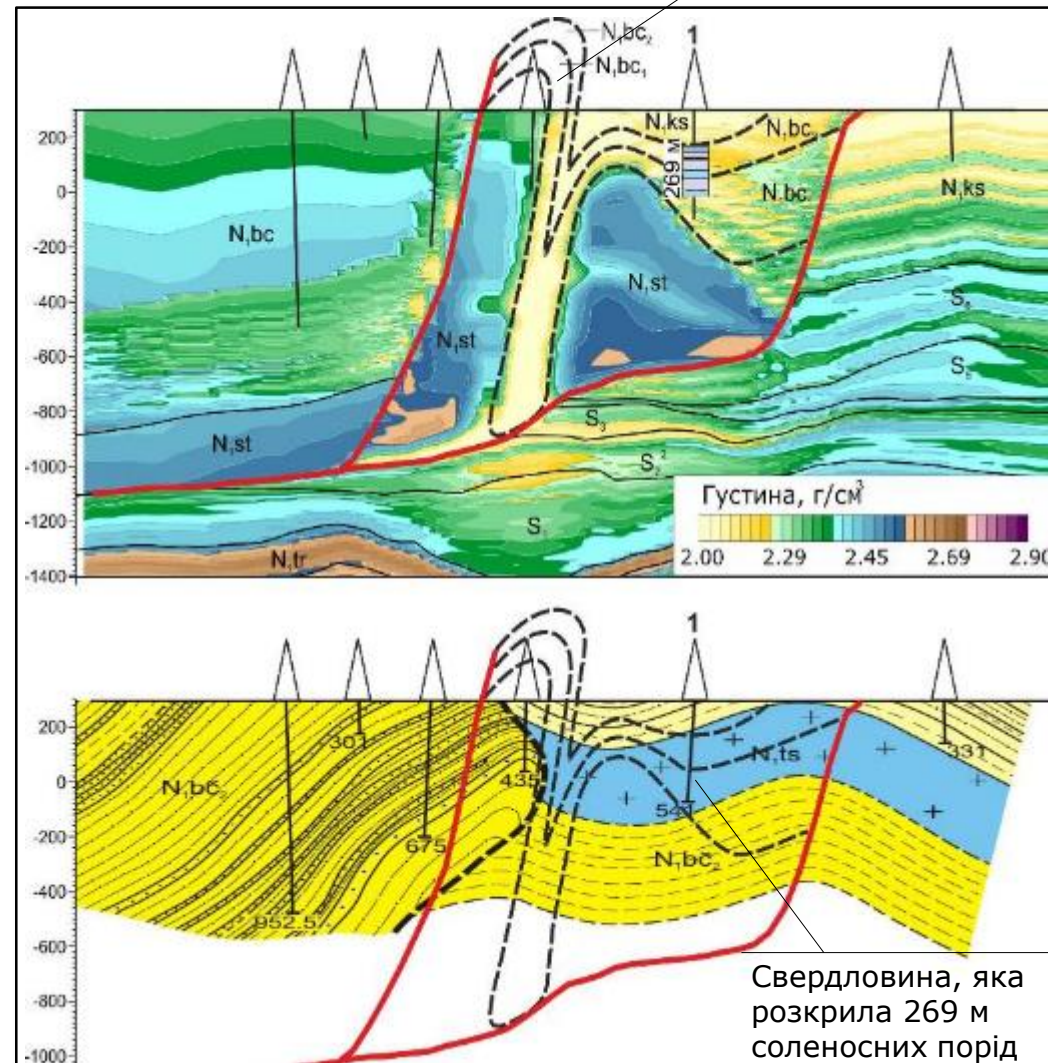
ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

Літологічний розріз
свердловини №1
(Р.Галамай, 2014)

↘ Інтерпретаційна модель соляного покладу за результатами 3D гравітаційної інверсії

- Промисловий соляний поклад закартовано в контурі, який включає в себе соленосні породи густиною $2.05 - 2.27 \text{ г/см}^3$, що відповідає заглинженості соленосних порід не більше 30-35%
- Істинна товщина соленосних утворень складає **160 – 190 м**
- Закартована форма покладу солі не суперечить даним свердловин, пробурених в рамках проекту пошуково-розвідувальних робіт на калійні солі (свердловини, винесені на розрізи не приймали участі в 3D гравітаційній інверсії) та пояснює суттєву мінливість товщини соленосних порід в сусідніх свердловинах

Концептуальна геологічна модель
антиклінальної складки в межах Самбірського насуву

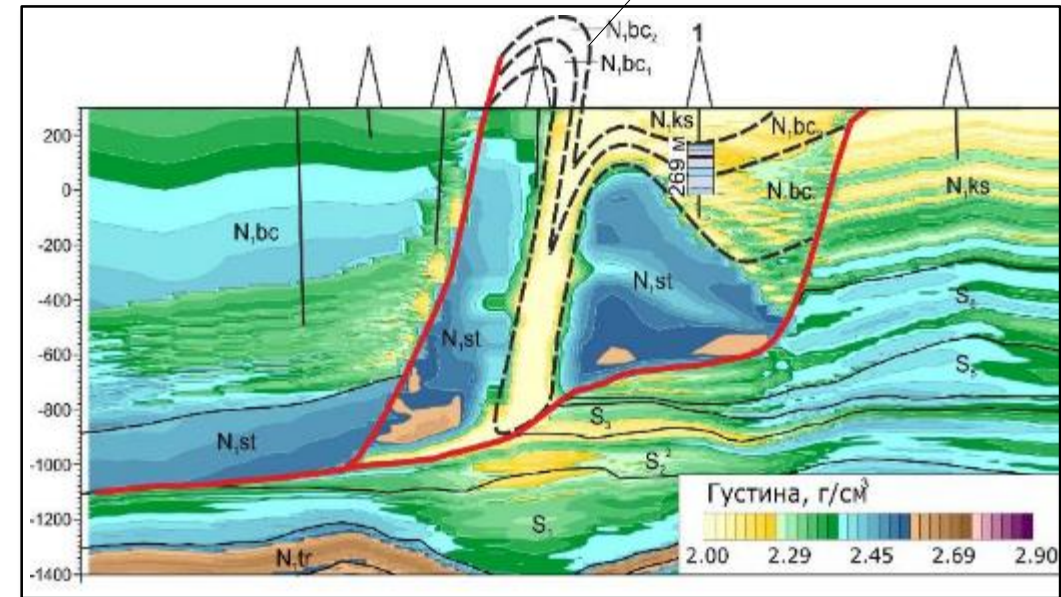


ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

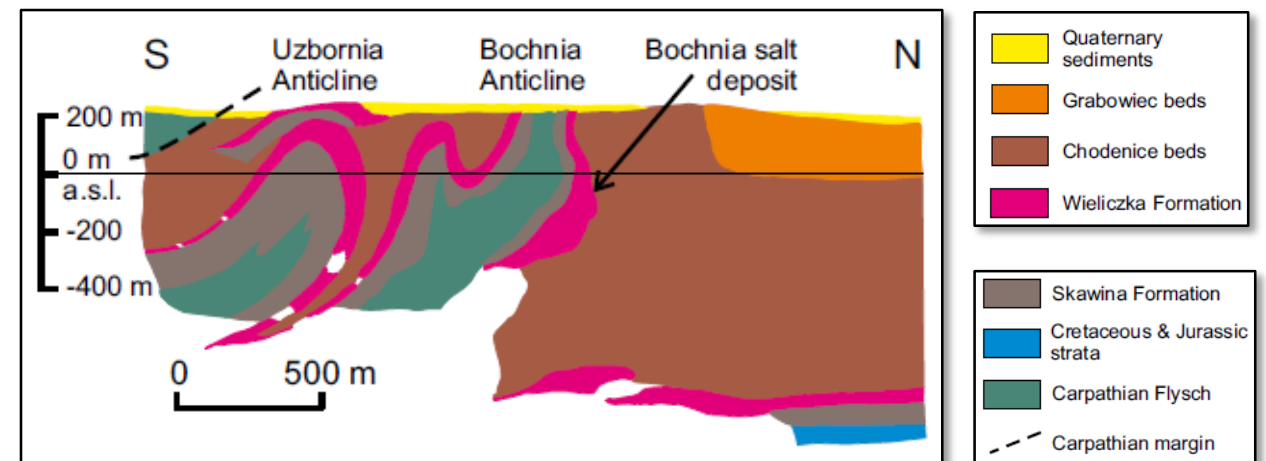
Баденські соленосні відклади в межах Передкарпатського прогину на півдні Польщі

- Соленосні пачки порід характеризуються високим ступенем складчастих деформацій
- Глибина залягання соленосних відкладів змінюється від 50 до 800 м
- Товщина соленосних пластів змінюється від десятків метрів до кількох сотень метрів, при чому максимальні товщини характерні для від'ємних структурних форм, зокрема для ядер синклінальних складок, де сіль залягає у вигляді лінзоподібних тіл
- Для соленосних порід характерні значні включення глинистого матеріалу та ангідритів

Концептуальна геологічна модель антиклінальної складки в межах Самбірського насуву



Геологічний розріз через промисловий поклад солі в Бохні
(взято з J.Wiewiórka, 2008, побудови Poborski, 1952 Garlicki, 2008)



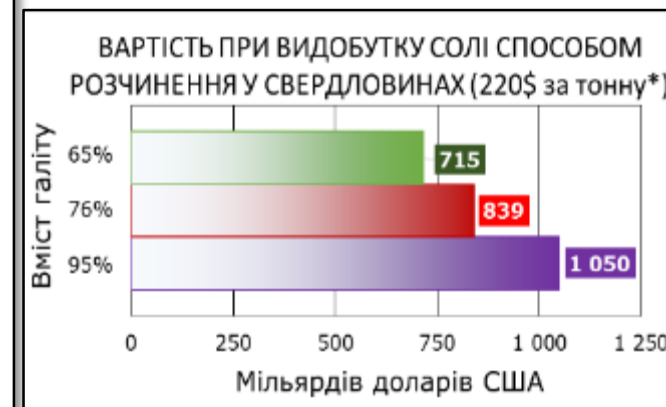
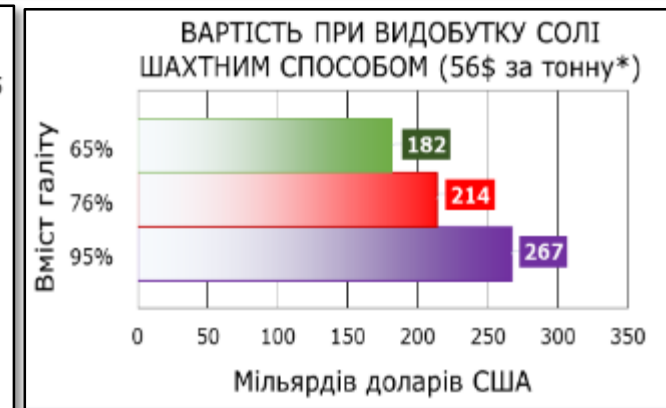
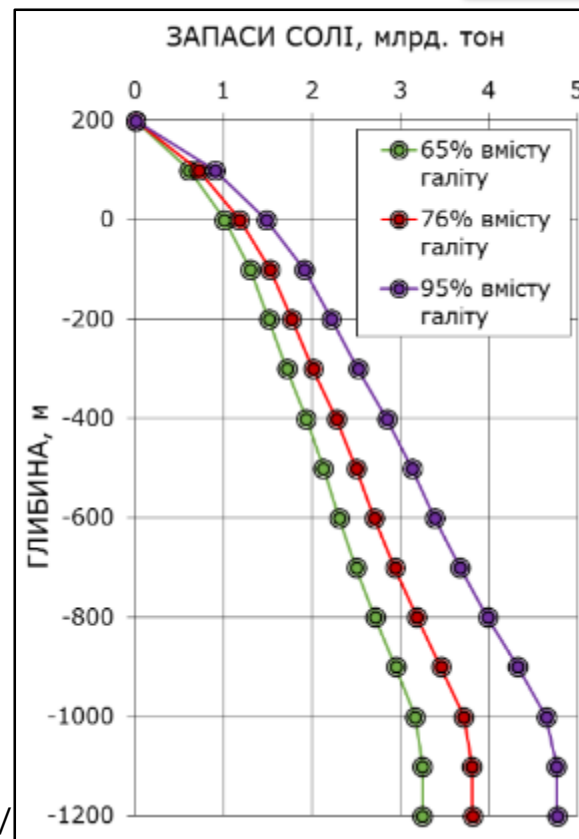
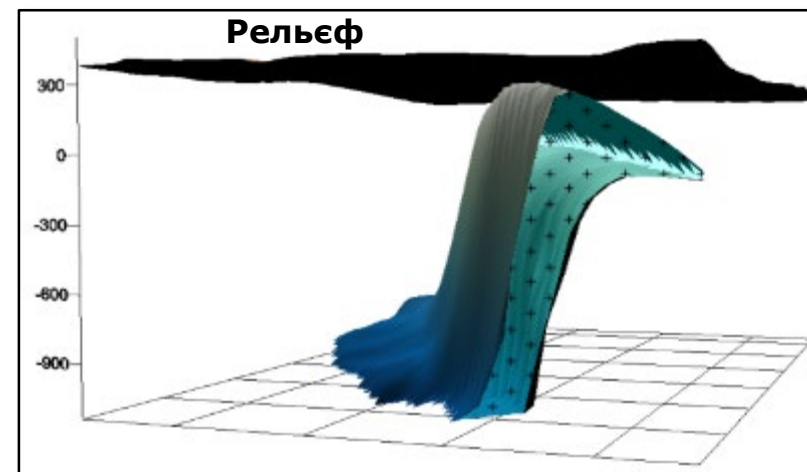
ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ПЕРЕДКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

➤ Запаси солі

- Промисловий соляний поклад закартовано в контурі, який включає в себе соленосні породи густиною 2.05 - 2.27 г/см³
- Мінімальна / максимальна абсолютна глибина покрівлі солі: +297 м / -1137.5 м
- Площа (в плані): 9 км²
- Загальний об'єм промислового покладу солі: 2.44 км³
- Загальні запаси солі: **3.25** - **3.81** - **4.77** млрд.тон
- Вартість закартованих запасів солі в залежності від концентрації галіту соленосній в породі:
для видобутку **шахтним способом** (56\$ за тонну*) – **182** – **214** – **267** млрд \$,
для видобутку способом **розчинення у свердловинах з вакуумним осадженням** (220\$ за тонну*) – **715** – **839** – **1050** млрд \$

* <https://www.statista.com/statistics/916733/us-salt-prices-by-type/>

3D форма соляного покладу





DEPROIL
DETAILED OIL & GAS PROSPECTING

ПЛОЩА РОБИТ



ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОМУ СОЛЕНОСНОМУ БАСЕЙНІ, УКРАЇНА

ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ДДЗ

Дослідження проводились у 2019 році в рамках проекту по дорозвідці на двох діючих газових родовищах, які перебувають на завершальній стадії розробки

➤ Ділянка досліджень:

- Площа – 548 км² (25.5 x 21.5 км)
- Глибина фундаменту (AR-PR) – ≈20 км

➤ Геофізична зйомка:

- Високоточна гравіметрична зйомка масштабу 1:10 000 з використанням цифрових гравіметрів Scintrex CG-5 (Канада). Похибка зйомки ± 5.7 мкГал
- Високоточна магнітометрична зйомка масштабу 1:10 000 з використанням цезієвого магнітометра Geometries G-859 (США). Похибка зйомки ± 1.25 нТл

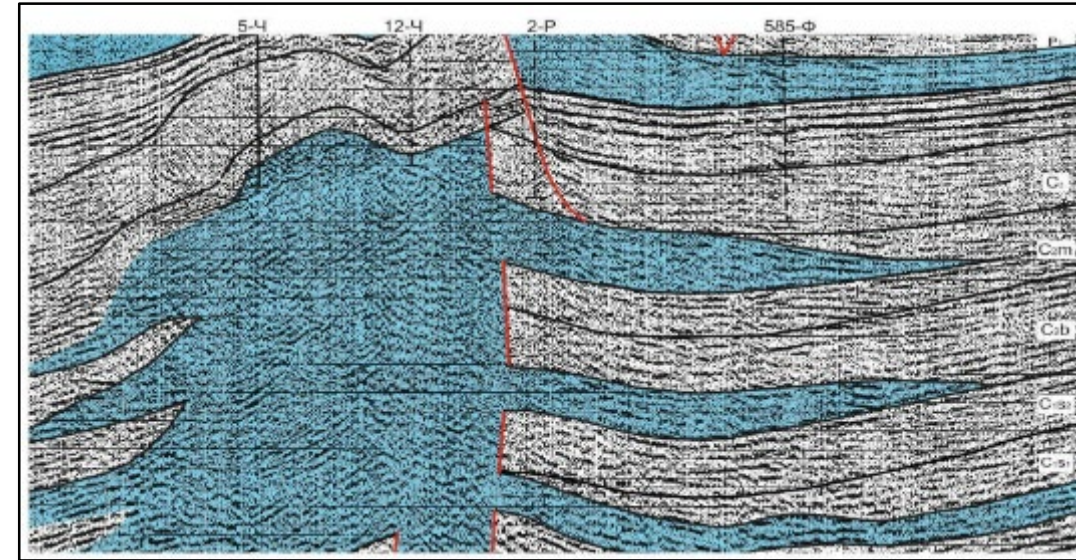
➤ Мета досліджень:

- Картування комерційних покладів вуглеводнів різної морфології та походження

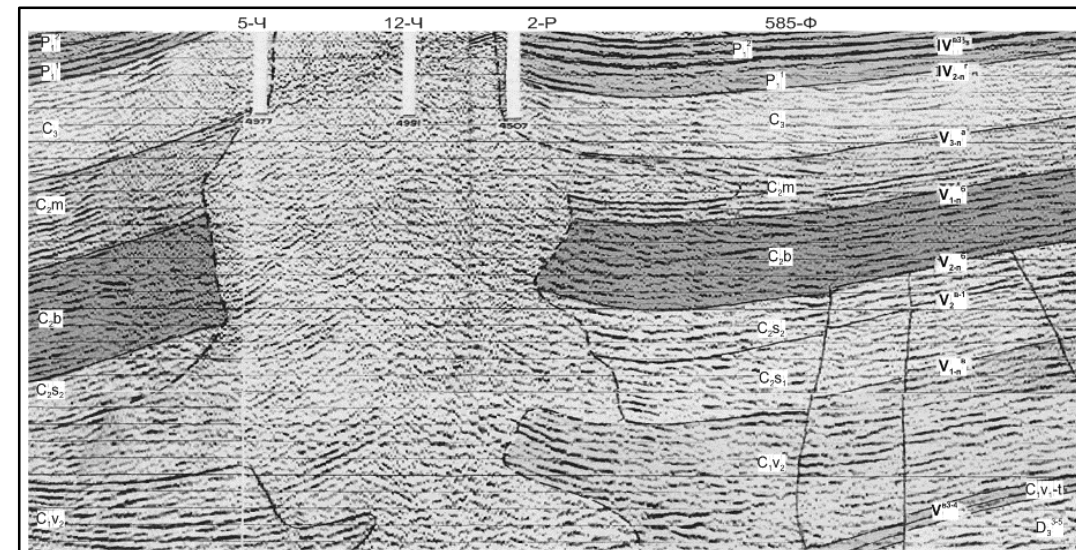
➤ Поклади солі:

- Соляний шток в центральній частині досліджуваної території прориває товщу відкладів від карбону до пермі товщиною понад 10 км. За свердловинним даними мінімальна глибина залягання соленосної товщі -150 м нижче рівня моря

Інтерпретаційні моделі соляного штоку



за С. Ларіним, УкрДГРІ



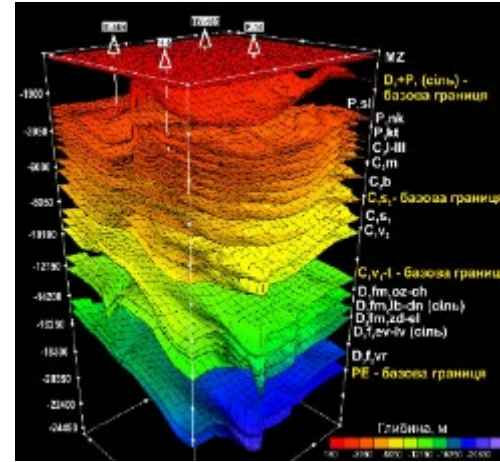
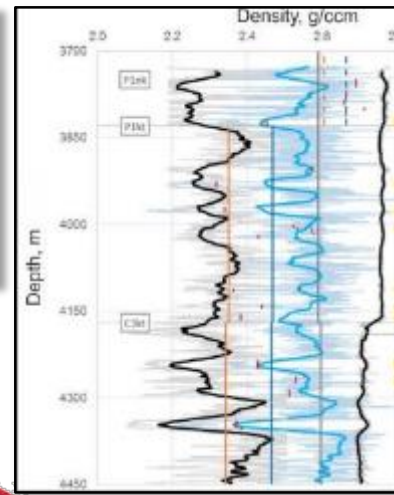
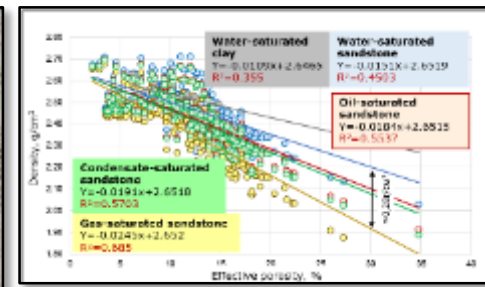
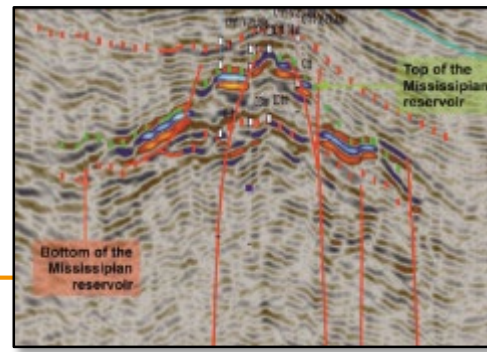
За матеріалами ДГП «Укргеофізика»

ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ДДЗ

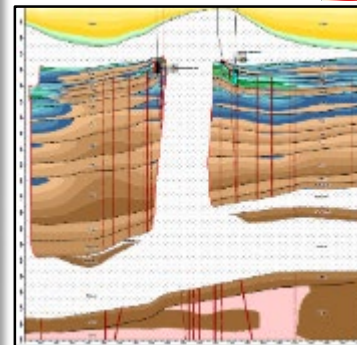
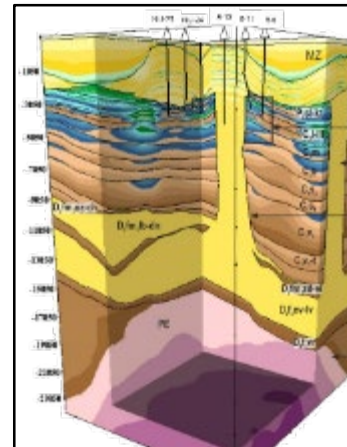
➤ Для вирішення поставлених геологічних завдань виконано:

- Аналіз та узагальнення всього наявного комплексу геолого-геофізичної інформації
- Створення 3D моделі густини шляхом застосування спільної 3D інверсії гравіметричних даних разом із свердловинними та сейсмічними даними*
- На основі кінцевої 3D моделі структурної моделі та 3D моделі густини порід виконано уточнення форми соляного тіла, протрасовано нові тектонічні порушення довкола штоку та закартовано нові комерційні поклади вуглеводнів.

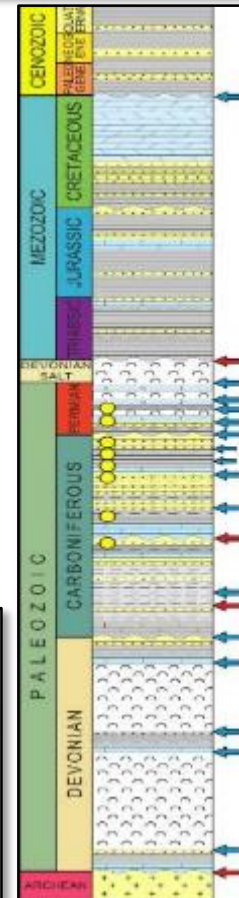
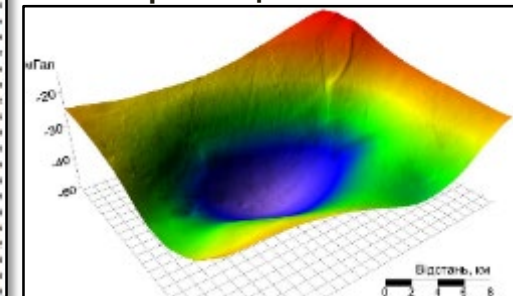
* Петровський, 2005



Кінцева 3D модель густини



Гравітаційне поле



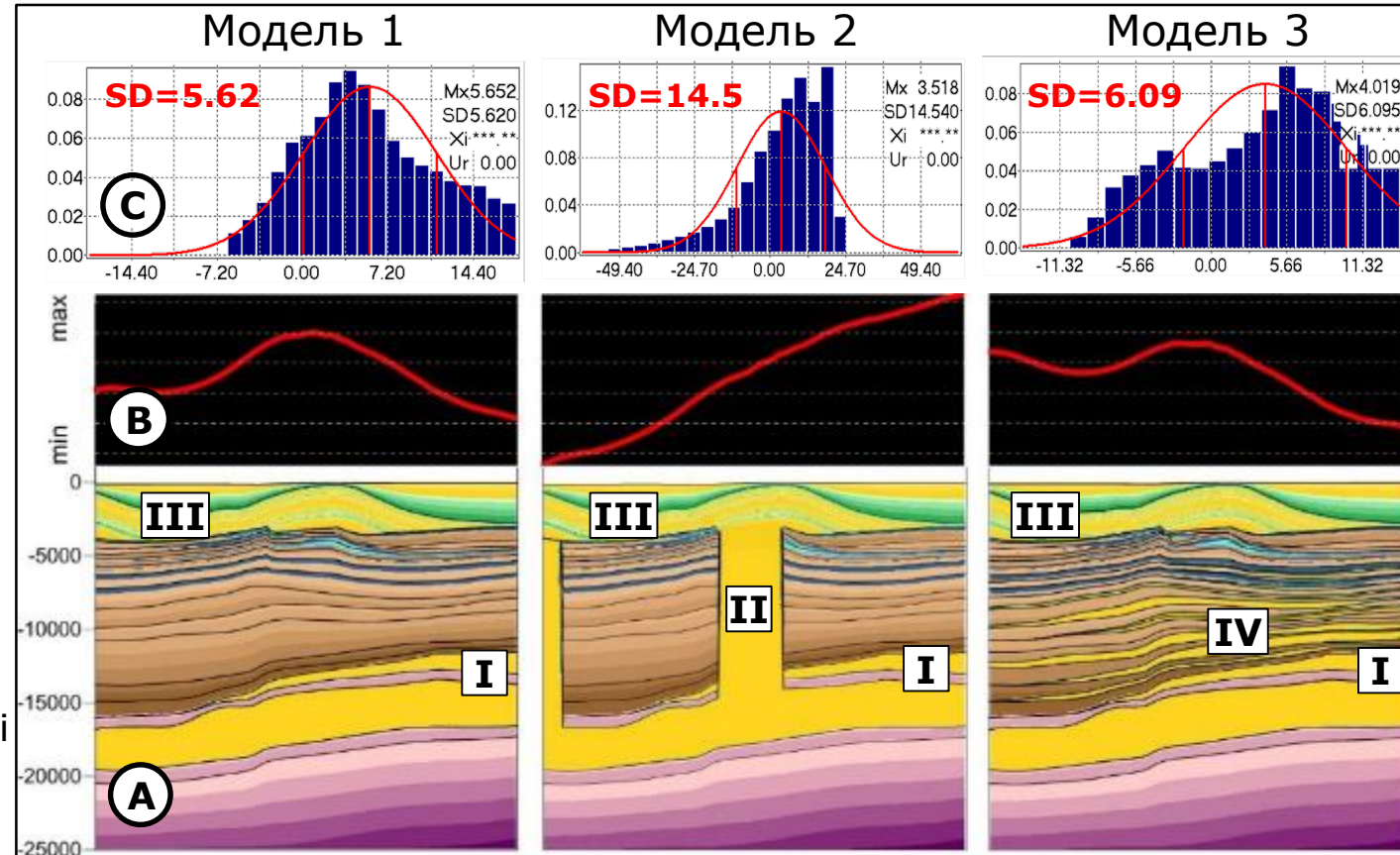
ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ДДЗ

➤ Гравітаційна верифікація геологічно змістовних початкових 3D моделей густини порід для різної будови соляного тіла

- У зв'язку із суттєвою неоднозначністю картування контуру соляного тіла за даними сейсмозвідки та визначальний вплив соляних мас на гравітаційне поле, на даному етапі досліджень розглядалися **три** альтернативні структурні моделі з точки зору їх відповідності спостереженому гравітаційному полю.

➤ Елементи соленосного розрізу

- **I** – Глибокзанурені пласти материнської солі верхнього девону
- **II** – Ніжка соляного штоку, яка прориває товщу карбону–пермі
- **III** – козирок штоку в нижньопермських відкладах
- **IV** – Проміжні соляні карнизи у відкладах середнього і нижнього карбону



A – Розріз через 3D модель густини порід

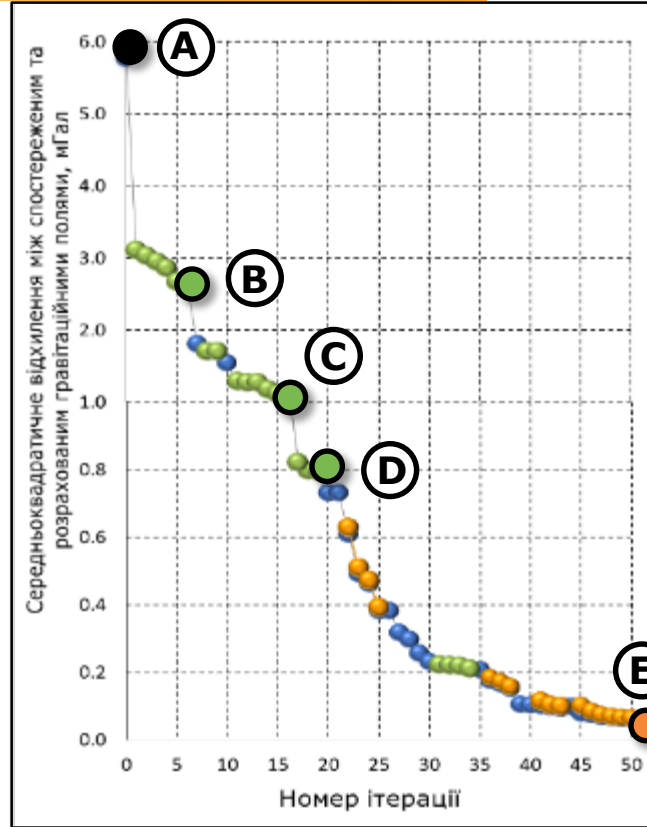
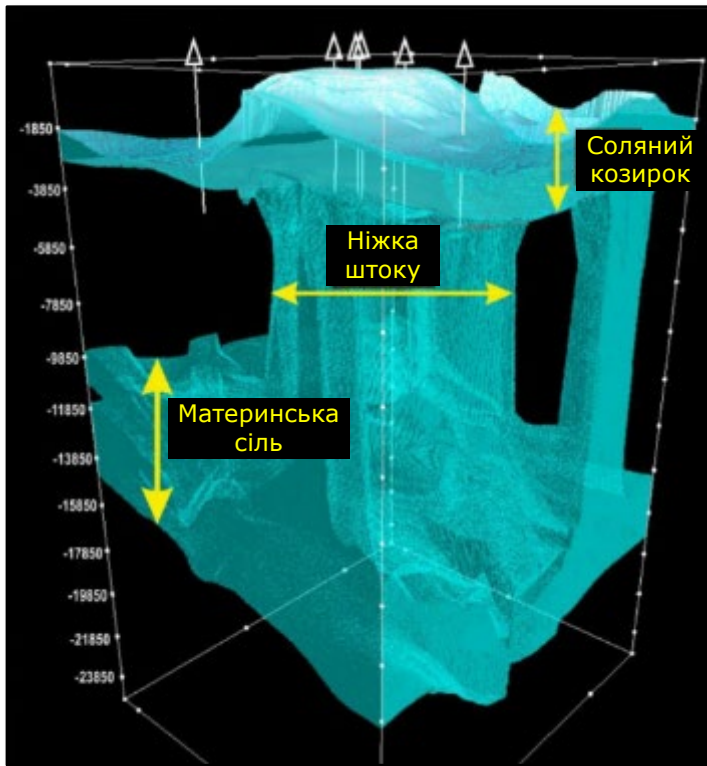
B – Відхилення між спостереженим та розрахованим гравітаційними полями

C – Гістограма гравітаційного відхилення та стандартне відхилення (**SD**) для нормального закону розподілу випадкової величини (**червона лінія**)

ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ДДЗ

➔ **Визначення форми
соляного тіла шляхом
застосування 3D нелінійної
гравітаційної інверсії**

3D форма соляного тіла



- - 3D нелінійна гравітаційна інверсія
- - 3D пасивна лінійна гравітаційна інверсія
- - 3D активна лінійна гравітаційна інверсія

Модифікація 3D моделі
густини порід

Модифікація
відхилення

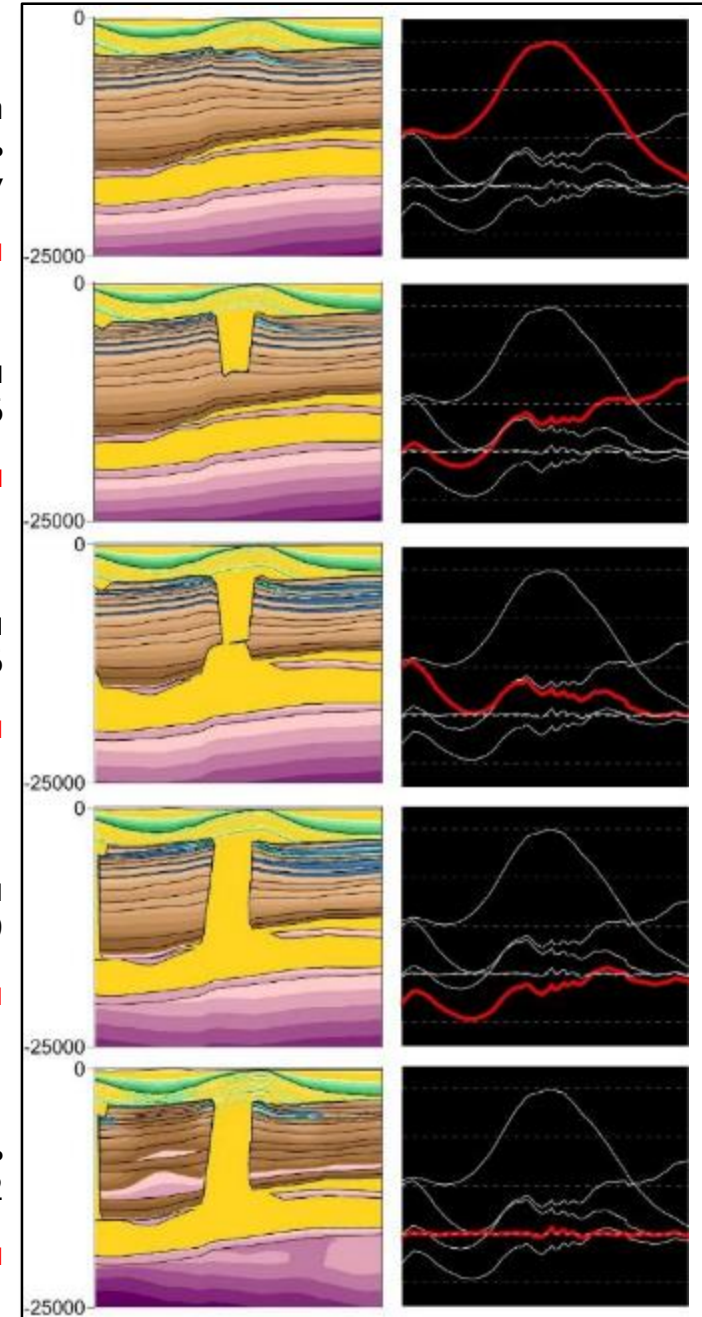
(A)
Початкова
модель
без ніжки штоку
SD – 5.620 мГал

(B)
Модель після
Ітерації 6
SD – 2.660 мГал

(C)
Модель після
Ітерації 16
SD – 1.050 мГал

(D)
Модель після
Ітерації 19
SD – 0.790 мГал

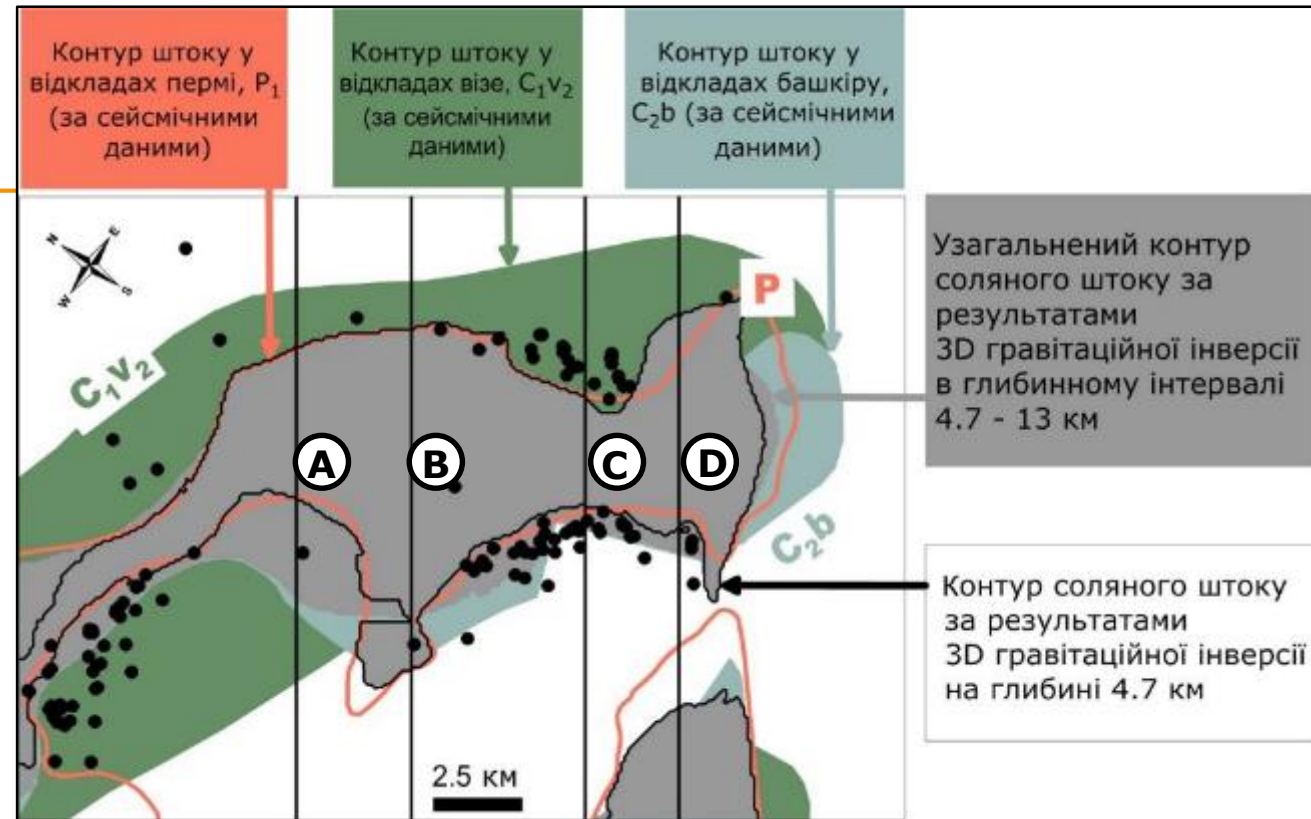
(E)
Кінцева модель
після ітерації 52
SD – 0.065 мГал



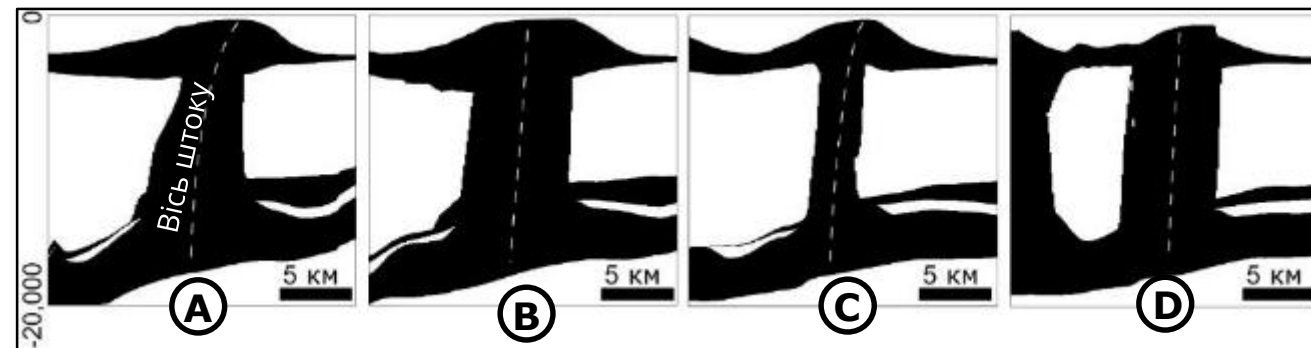
ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ, ДДЗ

➤ **За результатами 3D гравітаційної інверсії будова соляного штоку характеризується наступними особливостями:**

- Меншими розмірами в порівнянні з тими, які були спрогнозовані за результатами інтерпретації сейсмозвдувальних робіт, за виключенням двох ділянок де відмічається збільшення контуру штоку на рівні відкладів пермі-верхнього карбону
- Нахилом вісі штоку в сторону північного борту Дніпровсько-Донецької западини
- Південно-західна стінка ніжки штоку є більш пологою, в той час як північно-східна є субвертикальною, з від'ємними кутами падіння



Ⓐ – розріз через соляний шток





DEPROIL
DETAILED OIL & GAS PROSPECTING

ПЛОЩА РОБИТ



ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ СОЛЕНОСНОМУ БАСЕЙНІ, УКРАЇНА

ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

Дослідження проводились у 2010 році

➤ Ділянка досліджень :

- Положення – Закарпатський прогин
- Площа – 144 км² (14.4 x 10 км)
- Глибина фундаменту (AR-PR) ≈ 7 км

➤ Мета досліджень:

- Картування комерційних покладів вуглеводнів різної морфології та походження

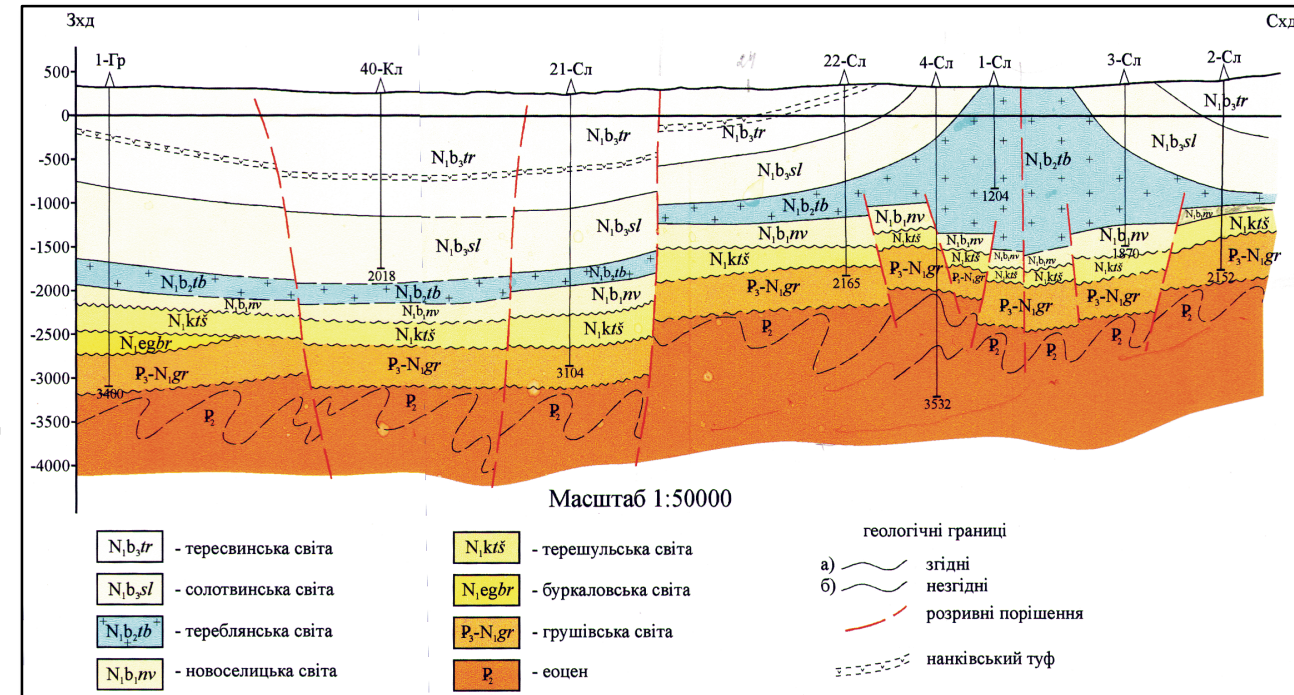
➤ Поклади солі:

- Соленосні породи терелянської світи неогену проривають вищезалягаючу товщу осадових порід та виходять на денну поверхню на заході від родовища. У зв'язку з частим перешаруванням соленосної породи з осадовими відкладами в підшві та в покрівлі соляного тіла, останнє на знаходить відображення на сейсмічних записах.

Тектонічна схема Карпатського регіону



Геологічний розріз (за П. Лозиняком, 2005)



ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ ПРОГІНІ

3D Структурна модель

- 7 structural surfaces featuring the structure of Neogene and
- Глибина 7 км

Вхідні дані для

3D структурної моделі: 3D модель густини порід

- Структурні побудови по 2D сейсмічним даним при апроксимації 3D моделі:
- Розбивки свердловин 100 x 100 x 50 м

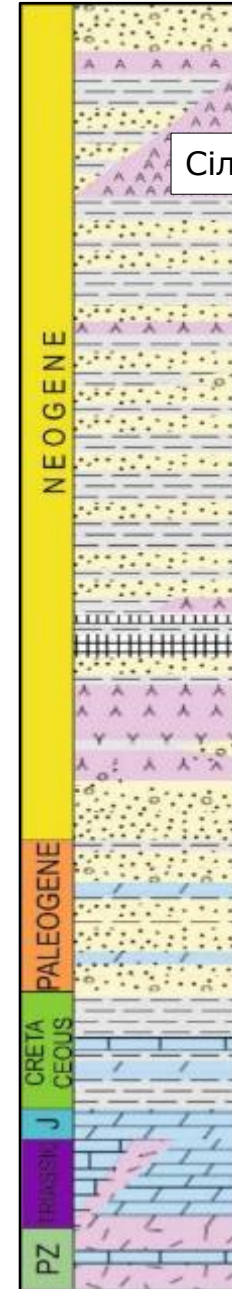
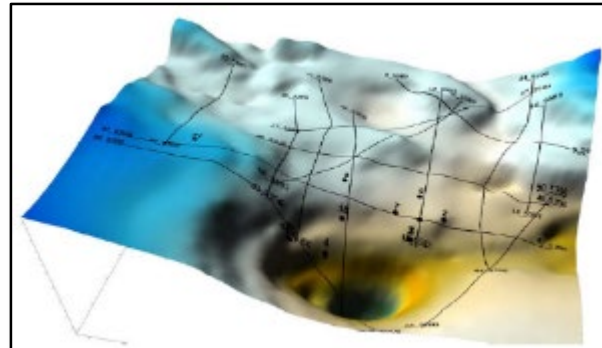
Вхідні дані для

3D моделі густини:

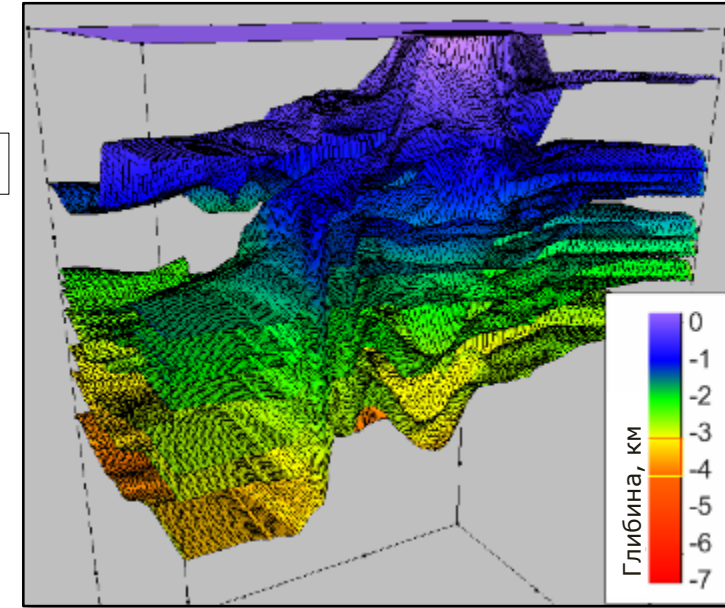
- Кількість елементарних комірок: 2 млн.
- Акустичний каротаж
- Густина по керну
- Петрофізична характеристика за даними ГДС

Гравітаційне поле масштабу 1:50 000

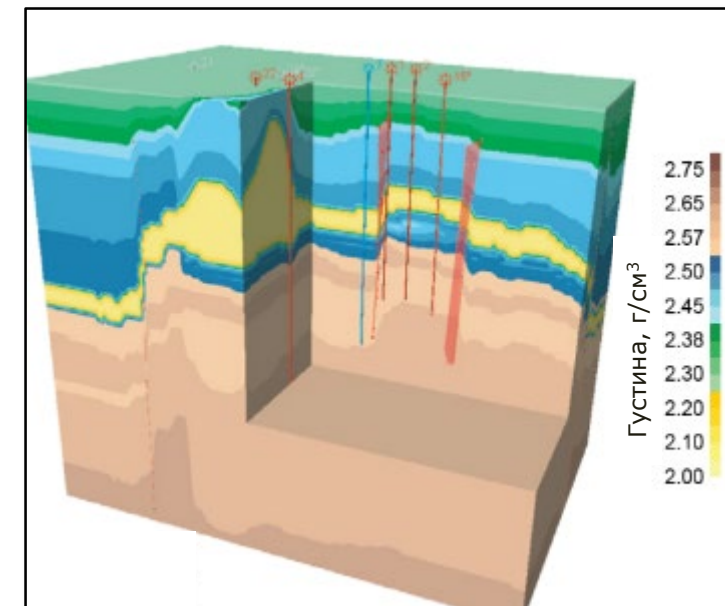
Гравітаційне поле



Початкова 3D структурна модель

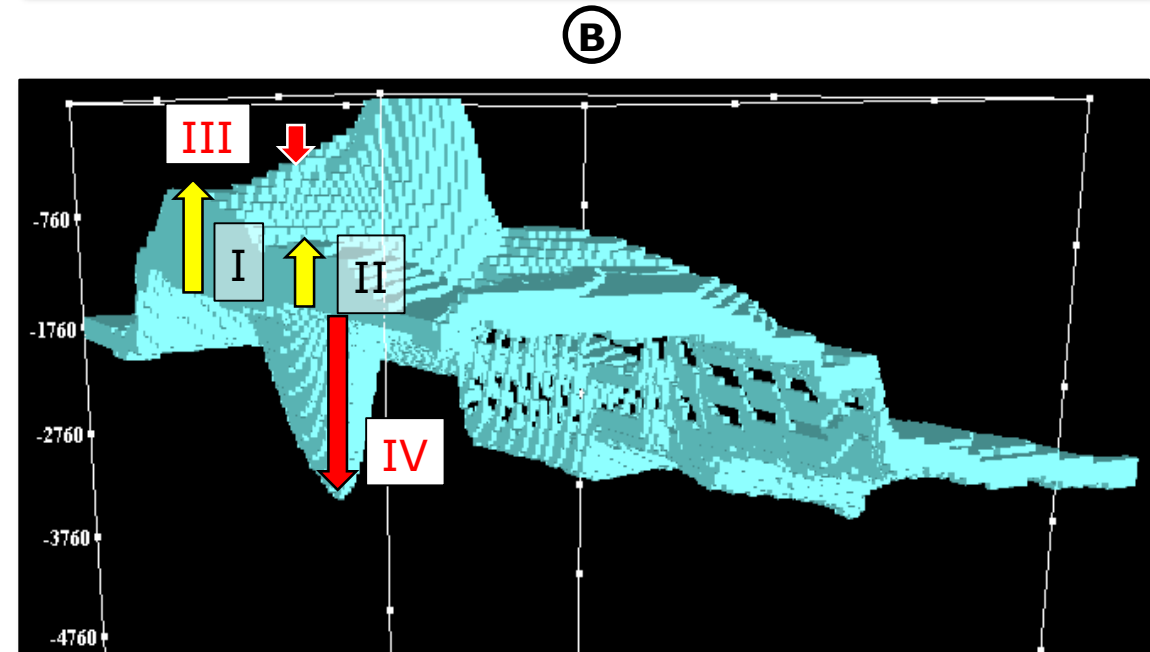
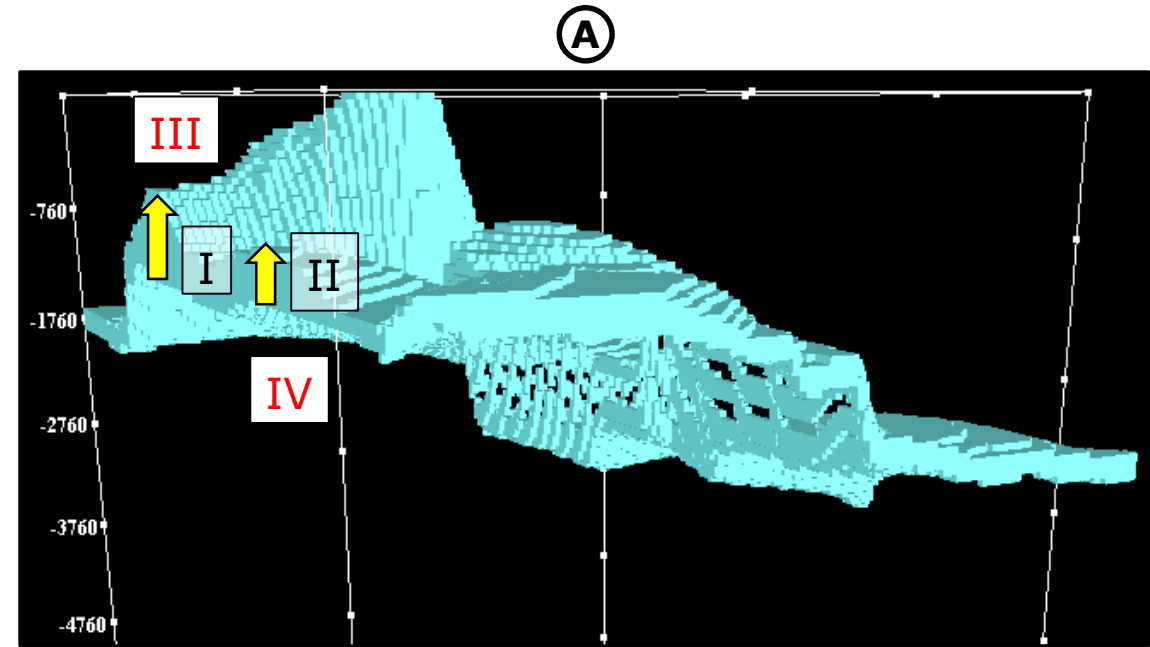


Початкова 3D модель густини порід



ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ ПРОГИНІ

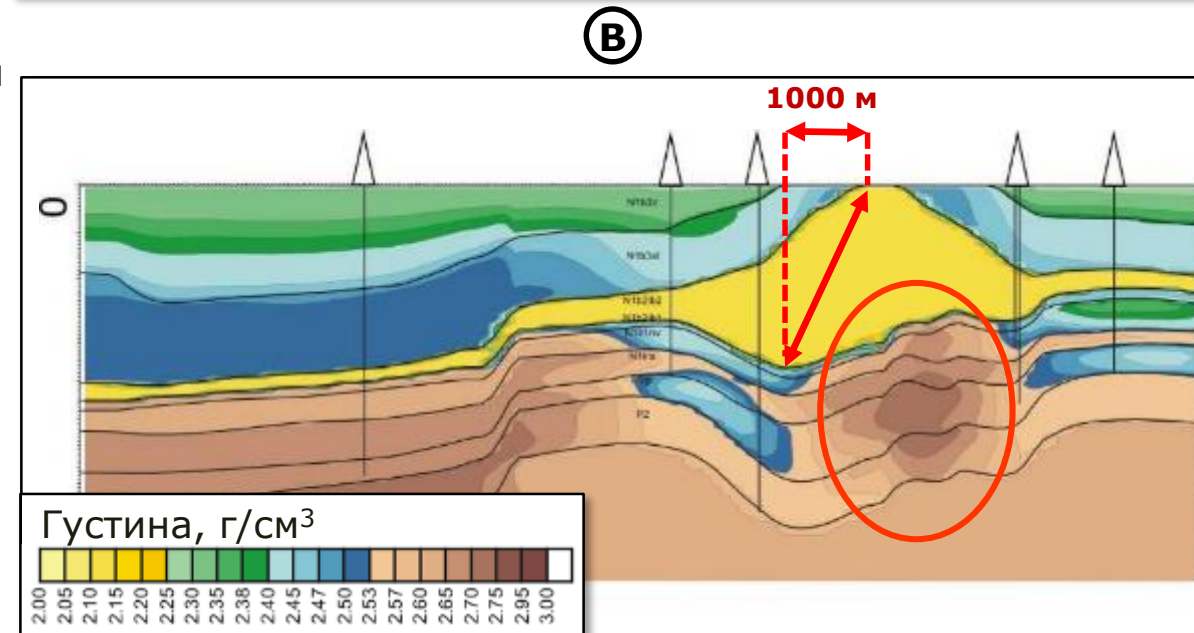
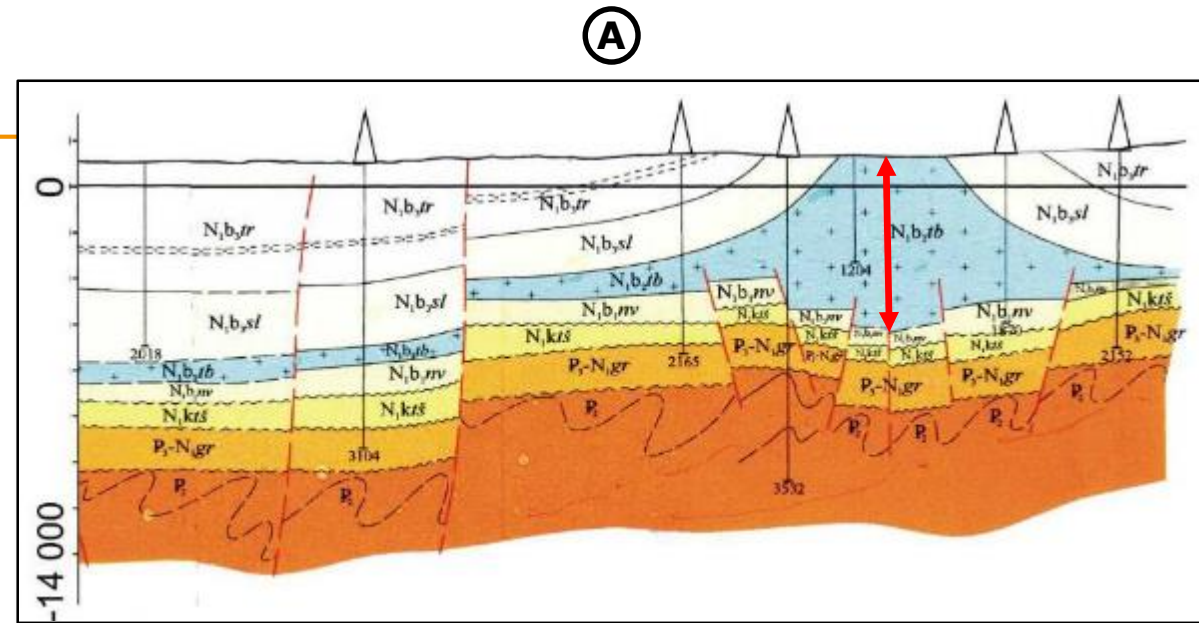
- Для побудови початкової 3D моделі соляного тіла **(A)** були використані наступні дані:
 - геологічні профільні побудовані через соляне тіло;
 - дані про контур виходу соляного тіла під алювіальні відклади;
 - контур соляного штока на глибинному рівні 0 м;
 - розбивки по 3 свердловинам
- Уточнена будова соляного тіла за результатами застосування 3D гравітаційної інверсії - **(B)**
 - Суттєве збільшення товщини соленосних порід (I та II)
 - Підшва соляного тіла занурюється до глибини 2680 м, що на 1420 м глибше ніж в початковій 3D структурній моделі до застосування 3D нелінійної гравітаційної інверсії (IV)



ПРИКЛАДИ КАРТУВАННЯ ПОКЛАДІВ СОЛІ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ ПРОГИНІ

➤ Геологічні висновки за результатами 3D гравітаційної інверсії

- На відміну від початкової структурної моделі **(А)** найбільш опущений блок в підшві соляного тіла по своїй локалізації не відповідає місцю виходу солі на денну поверхню, а є зміщеним від нього в західному напрямку на 1000 м (**червона стрілка**) **(В)**
- В місці виходу штоку на денну поверхню в підсольовому комплексі порід відмічається припіднятий локалізований блок, вертикальне підняття якого, очевидно, зумовило перерозподіл соляних мас, прорив ними вищезалягаючої товщі та вихід солі на денну поверхню
- Підвищені значення густини порід в межах закартованого блоку вказують на його інтрузивну природу, що підтверджується результатами буріння свердловини в межах площі робіт, яка розкрила інтрузивні жильні утворення.





DEPROIL
DETAILED OIL & GAS PROSPECTING

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

ВИСНОВКИ

- Розроблена та випробувана «Технологія картування комерційних покладів солі різної морфології та походження» за результатами 3D інверсії гравіметричних даних разом із свердловинною та сейсмічною інформацією з геологічним успіхом не менше **85%**.
- На території західної України закартовано **крупне родовище повареної солі** із прогнозними запасами **4.77 млрд. тон** та поточною вартістю у випадку видобутку способом розчинення у свердловинах з вакуумним осадженням - **1050 млрд.\$**.



ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

ПРОПОЗИЦІЇ

- **Організувати спільне підприємство** по видобутку солі на відкритому родовищі в західній Україні.
- **Застосувати** розроблену «Технологію картування комерційних покладів солі різної морфології та походження» для **дорозвідки** вже відомих комерційних покладів солі на ліцензійних ділянках підприємства.
- **Застосувати** розроблену «Технологію картування комерційних покладів солі різної морфології та походження» для **картування** нових комерційних покладів солі на ліцензійних ділянках підприємства та на нових перспективних територіях Європи та світу.



ТЕХНОЛОГІЯ КАРТУВАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ПОКЛАДІВ СОЛІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ 3D ІНВЕРСІЇ ГРАВІМЕТРИЧНИХ ДАНИХ РАЗОМ ІЗ СВЕРДЛОВИННОЮ ТА СЕЙСМІЧНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ

