

2) кварцити дисперсно-гематит-силікат-магнетит-мартитові – різновид 6о;

3) кварцити мартит-силікат-магнетитові з дисперсним гематитом – різновид 8о;

4) руди залізностлюдко-каолінит-дисперсногетит-кварц-мартит-гетитові базального горизонту кайнозойського осадового чохла – різновид 13о.

Об'єднані різновиди гематитових руд, як впливає із зазначеного вище, представлені близькими за мінеральним і хімічним складом, а також особливостями збагачуваності рядові різновиди і при структурно-мінералогічному картуванні родовища потрібно проводити виділення не рядових різновидів, а саме об'єднаних, що дає змогу оконтурити близькі за мінеральними, хімічними і фізичними властивостями ділянки, а це, у свою чергу, сприятиме підвищенню якості вилученої сировини і розробці оптимальної схеми її збагачення.

Отже, застосування під час видобутку гематитових руд і розробки схем їх збагачення запропонованої класифікації може позитивно позначитися на зниженні економічних затрат видобутку і переробки окислених руд залізородних родовищ докембрію.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Белевцев Я. Н., Тохтуев Г. В., Стрыгин А. И.* и др. Геология Криворожских железорудных месторождений. К.: Изд-во АН УССР, 1962. Т. 1. 484 с. Т. 2. 567 с.

2. Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР Минералогия/ Б. И. Пирогов, Ю. М. Стебновская, В. Д. Евтехов и др. К.: Наукова думка, 1989. 168 с.

3. *Рудько Г. І., Плотников В. О., Рядованов С. В.* Геолого-економічна оцінка окислених залізистих кварцитів в залізисто-кременистих формаціях докембрію Українського щита. Київ–Чернівці: Букрек, 2012. 328 с.

УДК 553.661.071.550.812.14(477.83)

О. Д. ШУРОВСЬКИЙ, головний геофізик (Прикарпатське державне підприємство “Спецгеологорозвідка”),
С. Г. АНИКЕЄВ, канд. геол. наук, доцент кафедри польової нафтогазової геофізики (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОТОЧНОЇ ГРАВІРОЗВІДКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОДОВИЩ САМОРОДНОЇ СІРКИ МЕТОДОМ ПІДЗЕМНОЇ ВИПЛАВКИ

Інтерпретацію детальних високоточних гравіметричних спостережень на площах сірчанних родовищ спрямовано на виявлення та оконтурення зон підвищеного вмісту самородної сірки в рудоносному пласті або зон інтенсивної підземної виплавки, тобто підпорядковано проблемі підвищення ефективності експлуатації сірчанних родовищ. Досвід багаторічної практики (1990–2006 рр.) застосування гравітаційної розвідки на родовищах самородної сірки до та після експлуатації їх методом підземної виплавки втілено в методиці гравіметричного прогнозу природних або посттехногенних змін у густинній будові геологічних середовищ на глибинах у перші сотні метрів. Методика геологічної інтерпретації локальних аномалій поля сили тяжіння, що спричинені густинними неоднорідностями в геологічних середовищах малих об'ємів, передбачає застосування комп'ютерних технологій швидкого рішення прямих і обернених задач гравірозвідки великої розмірності. Наведено приклад інтерпретації аномального поля сили тяжіння на Староязівській дільниці підземної виплавки сірки та в північно-західній частині Головного покладу Язівського родовища Прикарпатського сірконосного басейну.

The interpretation of detailed precision gravimetric observations on sulfur deposits aimed at identifying and mapping areas of higher concentrations of native sulfur in the ore-bearing layer or zones of intensive underground melting that is subject to the problem of increasing the efficiency of operation of sulfur deposits. Experience of long-term research practices (1990–2006) of native sulfur deposits by gravity exploration before and after their operation by underground melting sulfur embodied in the gravimetric method prediction of natural and post man-made changes in the density structure of geological environments at depths of few hundred meters. Method of the geological interpretation of local anomalies gravity field that caused of the density heterogeneities in geological environments of small volumes involves the use of computer technology a quick solution of gravity direct and inverse problems of large dimension. An example of the anomalous gravity field interpretation within the Main deposit Yazivsk sulfur field of the Precarpathian basin was described.

В Україні всі запаси та прогнозні ресурси самородної сірки пов'язані з Прикарпатським сірконосним басейном, у межах якого відомо близько 20-ти родовищ. Перспектива щодо запасів сірки по окремих дільницях родовищ сягає 20–30 років за потужності по виробництву до 200 тис. т сірки і більше в рік. Самородна сірка добувалась Яворівським державним гірничохімічним підприємством “Сірка” (ЯДГХП) відкритим способом і методом підземної виплавки сірки (ПВС) [8] на Язівському й Немирівському родовищах.

Метод ПВС з використанням достатньо щільної мережі свердловин [9] є економічно та екологічно прийнятним, але інтенсивність виплавки на родовищах сірки нерівномірна [10, 18]. Відомі ділянки, де з одних свердловин вихід сірки становив 10–20 % балансових запасів, а зі свердловин, розміщених поряд – 200 % і навіть до 400 %, що зумовлене перерозподілом сірки в рудному пласті під час ПВС. Успішність реексплуатації родовища залежить від уточнення змін контуру покладів та структурно-морфологічних особливостей рудних тіл, мікрорельєфу покривлі й підшови

продуктивного горизонту, уточнення поділу його за різним ступенем ущільненості руд, виявлення водопроникних зон, а також від уточнення залишкових запасів самородної сірки. Для дорозвідки родовищ використовують комплекс методів розвідувальної геофізики: високоточну гравірозвідку й зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні (ЗСБ) [19].

Геофізична експедиція Прикарпатського державного підприємства (ПДП) “Спецгеологорозвідка” (м. Івано-Франківськ) разом з Івано-Франківським національним технічним уні-

верситетом нафти і газу та Карпатським відділенням інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України (м. Львів) на основі багаторічних досліджень (1995–2006 рр.) на родовищах Прикарпатського сірконосного басейну розробили методичку оцінки залишкових запасів і контролю за виплавою сірки в процесі їх експлуатації без додаткового буріння розвідувальних свердловин [19]. Методика передбачає використання геолого-геофізичних матеріалів попередніх етапів і залучення методів розвідувальної геофізики, серед яких високоточна гравірозвідка є найбільш інформативною.

Можливість оцінки стану родовища самородної сірки гравіметричною зйомкою ґрунтується на прямих залежності інтенсивності аномалій поля сили тяжіння від зміни об'ємної густини, яка відбувається внаслідок диференціації вмісту сірки й пористості сірконосних порід (природна диференціація порід продуктивного пласта), та від зміни густини з часом, яка є наслідком підземної гідротермальної виплавки сірки (техногенна диференціація). Тестовим моделюванням (В. Я. Біліченко, 1995 р.) показано, що для типового розрізу сірчанних родовищ Прикарпатського басейну підземна виплавка сірки може спричинити аномалії сили тяжіння інтенсивністю до $(-0,025 \text{--} -0,05) \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ під час виплавки сірки на локальних ділянках і до $-0,08 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ – під час виплавки зі всього пласта. Такі само результати отримано низкою модельних експериментів [13].

Геологічну ефективність певної методички інтерпретації геофізичних полів можна оцінити на імітаційних прикладах, що максимально наближені до реальних умов вирішення конкретних геологічних завдань. Методикою

імітаційного моделювання передбачено, як зазначав В. М. Страхов [21], не тільки випробовування комп'ютерних інтерпретаційних технологій, а передусім виявлення особливостей інтерпретаційного процесу в конкретних умовах та розвиток методів досліджень будови геологічного розрізу. Детальну імітаційну інтерпретацію гравітаційного поля, головним завданням якої було виявлення змін у густинній будові розрізу родовища після видобутку сірки методом ПВС, виконано за матеріалами Немирівського родовища сірки. Низкою варіантів комп'ютерного імітаційного моделювання підтверджено можливість достовірного виявлення локальних просторово-часових змін у розподілі густин гірських порід, що пов'язані із зонами інтенсивної виплавки сірки [3]. Методикою імітаційного гравітаційного моделювання викладено в роботах [3, 5].

Гравіметричний метод контролю передбачає *детальну високоточну зйомку поля сили тяжіння* після ПВС. Зйомка поля має бути не менше ніж трикратною й виконуватися за методикою, що відповідає принципу локальної точності [15]. Локальні аномалії, які зумовлені верхньою частиною геологічного розрізу до глибин рудоносного пласта включно, можна виділити зі спостереженого поля сили тяжіння трансформацією осереднення, радіус якого приблизно відповідає глибині залягання пласта. У трансформованому полі разом з техногенними аномаліями (наслідками видобутку сірки) локалізуються і ефекти природних джерел, що розміщені в геологічному розрізі над продуктивним пластом. Виконання фонові (до ПВС) гравітаційної зйомки суттєво підвищує достовірність виявлення й картування зон виплавки сірки, бо просте

визначення різниці між полями, спостереженими до й після ПВС, надає просторово-часові аномалії переважно техногенного походження. Крім того, високоточний гравіметричний моніторинг на ділянках родовищ, які вже виведені з експлуатації, може бути використаний і для прогнозу посттехногенних процесів, зокрема розвитку карстоутворень та провалів денної поверхні.

Порівняно з якісною інтерпретацією гравітаційне моделювання, тобто розв'язування прямих і обернених задач гравірозвідки (ОЗГ), дає змогу детально досліджувати та оконтурювати зони розуцілення як у плані, так і в розрізі родовища. Методикою такої кількісної інтерпретації просторово-часових аномалій поля сили тяжіння засновано на комп'ютерних технологіях уточнення й деталізації довільних за складністю та розмірами густинних моделей геологічних середовищ [3, 6].

Гравіметричний моніторинг підземної виплавки сірки вперше застосований на західній площі Шаварівської дільниці Немирівського родовища (1990–1992 рр.). Під час інтерпретації просторово-часових аномалій поля сили тяжіння, які визначено як різницю між спостереженим полем, зйомку якого виконано після ПВС, і фоновим полем, зйомку якого виконано до ПВС, отримано тривимірну модель змін у розподілі густин лише в межах рудного пласта [1]. За результатами моделювання найбільші розуцілення тяжіють до підвищеної частини пласта, а в заглиблених частинах пласта вони меншої інтенсивності або відсутні, що зумовлене погіршенням умов виплавки або стіканням розплавленої сірки в ці частини пласта [11].

Однак більшість дільниць ПВС відроблені без попередньої фонові граві-

таційної зйомки. Ми запропонували спосіб, який заснований на розв'язанні 3D ОЗГ. Він потребує ретельного й максимального врахування геологічних даних по розрізу, особливо по щільній мережі свердловин щодо геометрії товщ і густини порід, для відтворення детальної апріорної моделі геологічного середовища, що вміщує рудний пласт (модель до ПВС). Результатом інтерпретації поля сили тяжіння, спостереженого після ПВС, є уточнена й деталізована модель розподілу густин, де зони розуцілення, що відсутні в апріорній моделі рудного пласта, вірогідно, відобразатимуть інтенсивність виплавки сірки.

Нижче наведено інтерпретацію спостереженого поля сили тяжіння на Старо-язівській дільниці ПВС і в північно-західній частині Головного покладу Язівського родовища (2000–2006 рр.) у послідовності, що відповідає основним крокам методички кількісної інтерпретації геолого-гравіметричних матеріалів: аналіз геологічної ситуації в зіставленні з морфологією спостереженого поля сили тяжіння, створення апріорних моделей, виконання гравітаційного моделювання (розв'язання оберненої задачі) та геологічного аналізу результатів моделювання.

Геологічна характеристика розрізу сірчанних родовищ Прикарпатського басейну. Прикарпатський сірконосний басейн розміщений у смузі зчленування Західноєвропейської, південно-західної країни Східноєвропейської платформ і Передкарпатського прогину (рис. 1), яка є структурно-формаційною зоною розвитку сульфатних порід, де рудні поля розвинуті на перетині або розгалуженні розломів [17, 20].

У формуванні геологічного розрізу беруть участь відклади палеозойського,

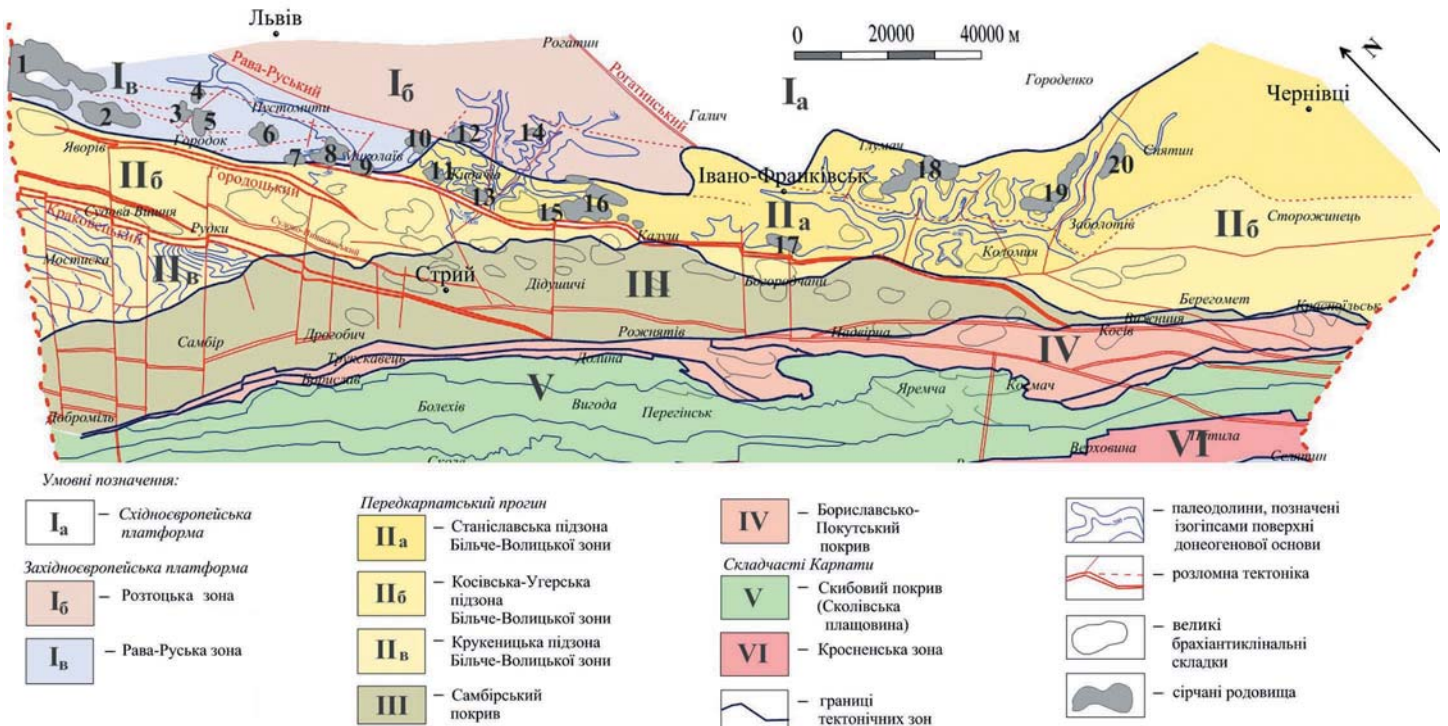


Рис. 1. Схема розміщення сірчанних родовищ Передкарпаття (на основі фрагмента тектонічної карти Українських Карпат, за ред. В. В. Глушка, С. С. Круглова, 1986 р.)

Сірчані родовища: 1 – Немирівське, 2 – Язівське, 3 – Молошковецьке, 4 – Лісновецьке, 5 – Речичанське, 6 – Любенське, 7 – Сорочанське, 8 – Гуменецьке, 9 – Вербізьке, 10 – Роздольське, 11 – Деменське, 12 – Тейсарівське, 13 – Жидачівське, 14 – Молодинецьке, 15 – Подорожнянське, 16 – Журавненське, 17 – Лисецьке, 18 – Тлумацьке, 19 – Загайпільське, 20 – Шевченківське

мезозойського, неогенового та четвертинного віку. Сірконосні пласти залягають у верхньомоласових товщах міоцену (N_1), що трансгресивно залягають на розмитій поверхні крейди (K_2). Міоценові відклади представлені тортонським (N_{1t}) і сарматським (N_{1sm}) ярусами.

Нижньотортонський підповерх (N_{1t}) об'єднує літотамнієві вапняки, піски та пісковики (нараївський горизонт – $N_{1t, nr}$) й глини, мергелі, піски та пісковики з прошарками туфів і туфопісковиків (баранівський горизонт – $N_{1t, br}$). Верхньотортонський підповерх (N_{1t_2}) – хемогенні сульфатно-карбонатні відклади (тираська світа – N_{1t_2s}): гіпсоангідрити й вторинні (метасамотичні) осірковані вапняки, з якими пов'язані всі сірчані родовища Прикарпаття (дністровський горизонт – $N_{1t_2s}^{dn}$), та вапняки (ратненський горизонт – $N_{1t_2s}^{rt}$); а також глини з перешаруванням пісковиків, алевролітів, туфів

та туфопісковиків (косівська світа – N_{1t_2ks}). Сарматський ярус – товща шаруватих глин (нижньосарматський підповерх – $N_{1t_2sm_1}$). Четвертинні відклади – це делювіальні й пролювіальні суглинки, флювіогляціальні піски та піщано-галькові товщі [20].

Староязівська дільниця ПВС на Головному покладі Язівського родовища самородної сірки. Схему спостереженого поля сили тяжіння після ПВС на Староязівській дільниці показано на рис. 2. Розмір площі – $600 \times 600 \text{ м}^2$; сітка спостережень – $10 \times 10 \text{ м}^2$; точність зйомки $\leq 0,02 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$. Локальні аномалії (рис. 3) виділено зі спостереженого поля за допомогою осереднення з радіусом вікна в 100 м, який відповідає глибинам залягання продуктивного пласта ($\approx 80\text{--}120 \text{ м}$). Більшість свердловин з високим видобутком самородної сірки розміщені в межах від'ємних локальних аномалій, які або зумовлені інтенсивним видобутком

сірки (техногенні аномалії), або є ефектами природних джерел.

Відповідно до геологічного завдання щодо виявлення

й оконтурення зон інтенсивної підземної виплавки сірки апіорна модель середовища має детально відображати будову ділянки родовища са-

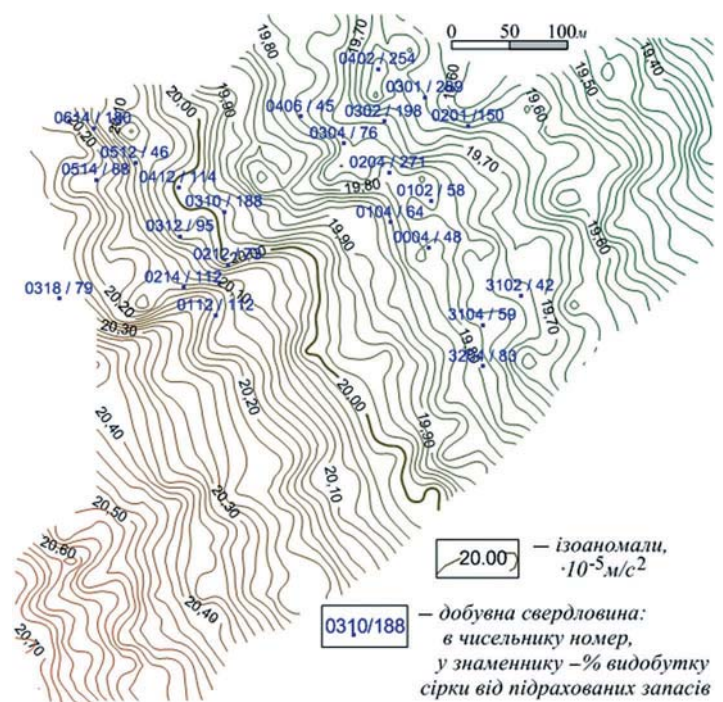


Рис. 2. Староязівська дільниця ПВС на Головному покладі Язівського родовища самородної сірки. Аномалії сили тяжіння в редукції Буге

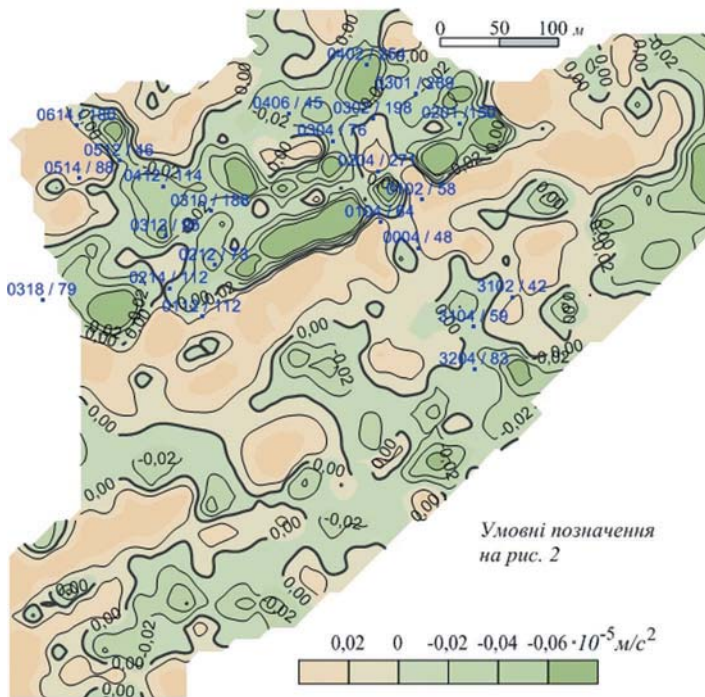


Рис. 3. Староязівська дільниця ПВС на Головному покладі Язівського родовища самородної сірки. Локальні аномалії поля сили тяжіння (глибина простереження 0–120 м)

мородної сірки до її експлуатації. Априорну тривимірну модель родовища, один з розрізів якої представлено на рис. 4, складено в межах найбільшого інтервалу глибин залягання продуктивної товщі (70–120 м – глибини визначено стосовно умовної площини приведення, за яку прийнято найменшу альтитуду, що в межах площі). Густину характеристику літологічних комплексів (таблиця), як і геометрію геологічних границь родовища, зокрема покрівлі й підшови кондиційної руди (рис. 5), відтворено за даними буріння й матеріалами геофізичних досліджень свердловин і лабораторних досліджень кернів з урахуванням досвіду щодо геолого-гравітаційного моделювання сірчанних родовищ у межах Передкарпатського басейну в попередні роки [11, 12, 13, 1].

Достовірність гравітаційного моделювання залежить від ступеня адекватності геологічним завданням обраної методики інтерпретації, також залежить і від точності та детальності априорних мо-

Таблиця. Густинна характеристика товщ априорної моделі розрізу

Вік порід	Породи	Глибини, м (абсолютні відмітки)	Інтервал густин, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$	Ефективна густина, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Q	Пісок, галечник, суглинок	–	2,00–2,30	2,10
N_1t_2sm-ks	Глини	< 85 (>164)	2,10–2,50	2,30
N_1t_2ks	Пісковик	69–93 (156–181)	2,20–2,60	2,40
$N_1t_2ts^{nr}$	Вапняк неосіркований	79–104 (146–171)	2,60–2,86	2,68
$N_1t_2ts^{dn}$	Вапняк осіркований	80–107 (143–170)	2,20–2,80	2,50
$N_1t_2ts^{dn}$	Кондиційна руда	80–115 (135–170)	2,20–2,60	2,40
$N_1t_2ts^{dn}$	Вапняк осіркований	81–115 (135–169)	2,20–2,80	2,60
$N_1t_2ts^{dn}$	Гіпсоангідрит	> 89 (<160 м)	2,40–2,98	2,75

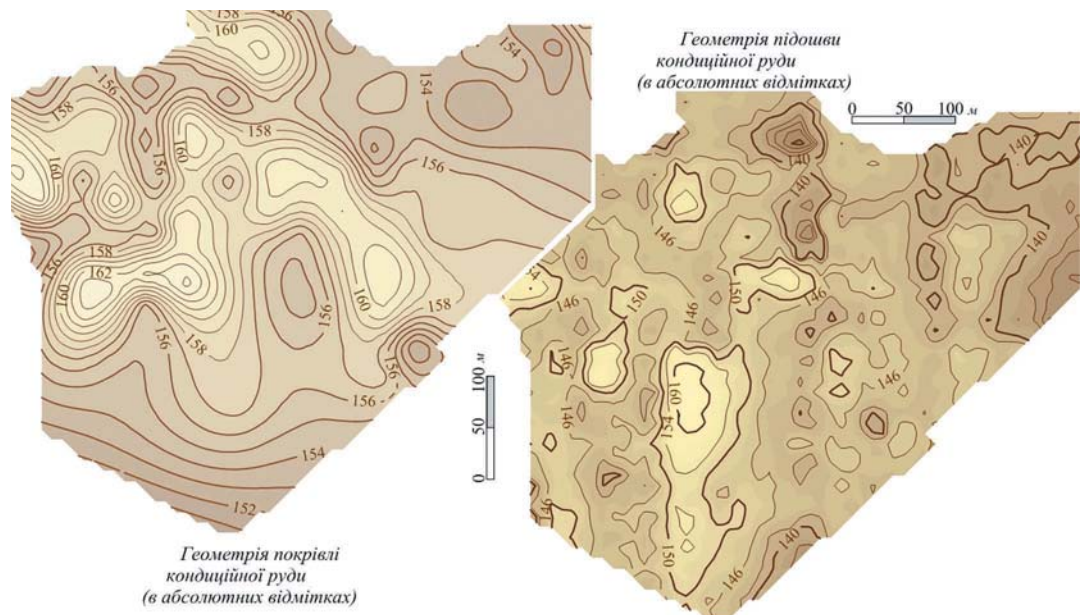
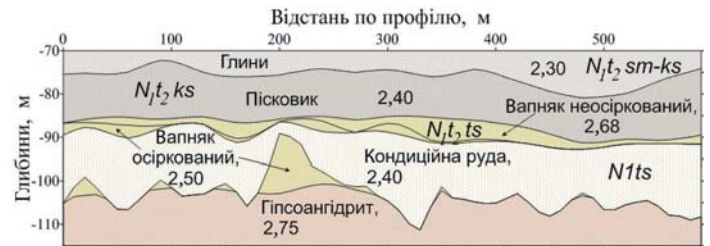


Рис. 5. Староязівська дільниця ПВС на Головному покладі Язівського родовища самородної сірки. Фрагмент априорної тривимірної моделі: геометрія покрівлі й підшови кондиційної руди (в абсолютних відмітках)



Дискретизація 3D моделі в плані –10·10 м², по осі z–3 м, 2,75 – априорні густини гірських порід, $\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

Рис. 4. Староязівська дільниця ПВС на Головному покладі Язівського родовища самородної сірки. Розріз априорної тривимірної моделі (профіль широтного напрямку)

дельних побудов, від апроксимаційної конструкції (способу дискретизації області геологічного середовища), від якості врахування впливу бокових зон, регіонального фону тощо. Утім доволіне за складністю геологічне середовище можна детально описати великою кількістю маленьких комірок, але практична цінність такої

апроксимації залежить від комп'ютерних технологій, які б забезпечували достатньо точно й швидко розв'язання прямих і обернених задач гравірозвідки на моделях дуже великої розмірності.

Комп'ютерні технології гравітаційного моделювання для опису густинних моделей мають використовувати щільну упаковку маленьких

комірок [7]. Для родовища самородної сірки це щільна упаковка прямокутних паралелепіпедів розмірами $10 \times 10 \times 1 \text{ м}^3$ (3D моделі) або прямокутних призм розмірами $10 \times 1 \text{ м}^2$ (у разі 2D моделей). Розміри комірок у плані (по профілю) визначено масштабом гравіметричної зйомки. Загальна кількість комірок для апроксимації 3D густинної моделі Староязівської дільниці ПВС родовища сірки становила $60 \times 60 \times 50$ комірок.

Бокові зони, що прилягають до тривимірної моделі, апроксимовані горизонтальним продовженням густинних границь, які виходять на грані моделі, на нескінченність. До того ж, для точнішого врахування впливу бокових зон передбачено побудову моделей ближніх бокових зон [3]. Регіональний фон (складова спостереженого поля, яка зумовлена будовою частини геологічного розрізу, що нижче області досліджень) наближено описано нахиленою площиною, що є найбільш оптимальною апроксимацією з геологічних міркувань [14]. Для зменшення впливу частини розрізу, що вище області досліджень, та похибок спостережень виконано згладжування поля за способом О. К. Маловічка [16], який для цього й призначений.

Задля дотримання високої достовірності результатів моделювання візуалізацію моделі і схеми спостереженого поля сили тяжіння виконано тільки в межах контуру ділянки, що покрита щільною мережею свердловин.

Інтерпретацію геолого-гравіметричних матеріалів проведено з використанням комп'ютерної системи "Complex Gravity" [2].

Геогустинну модель Староязівської дільниці ПВС Язівського родовища, яка є результатом розв'язання 3D оберненої задачі гравірозвідки, можна буде представити у вигляді розподілу густин

по зрізах через *один метр* та по геологічних поверхнях. На рис. 6 модель надано розподілом густин по окремих горизонтальних зрізах в інтервалі глибин 91–105 м, на рис. 7 – по покрівлі й підшві продуктивного пласта, а також розподілом середньозваженої (ефективної) густини по товщі пласта. Зони дефіциту мас (розущільнення) оконтурені ізоденсою $2,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Тривимірна геогустинна модель зіставлена з даними видобутку сірки. Зони дефіциту мас по покрівлі кондиційної руди (рис. 7а) займають більшу частину дільниці ПВС (північну, північно-західну та південно-східну ділянки) й переважно оточують експлуатаційні свердловини з високим видобутком сірки (понад 40 % від підрахованих запасів). Найбільший видобуток сірки зосереджений в її північній ділянці. З глибиною контури дефіциту мас змінюються й на глибинах 93–97 м (рис. 6) розпадаються на частини, але північна зона загалом зберігається. В інтервалі глибин 98–102 м виявлено зону дефіциту мас північно-східного простягання. Вона простежується до підшви кондиційної товщі й відділена від північної зони широкою смугою ущільнених порід. У південно-західній частині цієї смуги з 97 м виділяється ізометрична зона ущільнення з густиною від $2,6 \cdot 10^3$ до $2,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, яка з глибиною, не змінюючи форми, збільшується в плані. Ущільнена зона відображає наявну на цих глибинах товщу гіпсангідритів. Розподіл густини по підшві кондиційної руди (рис. 7в) у загальних рисах зберігає форму, характерну для нижньої частини горизонту на глибинах 99–102 м (рис. 6).

План розподілу ефективної густини (рис. 7б) дає загальне просторове уявлення про розподіл мас у рудному

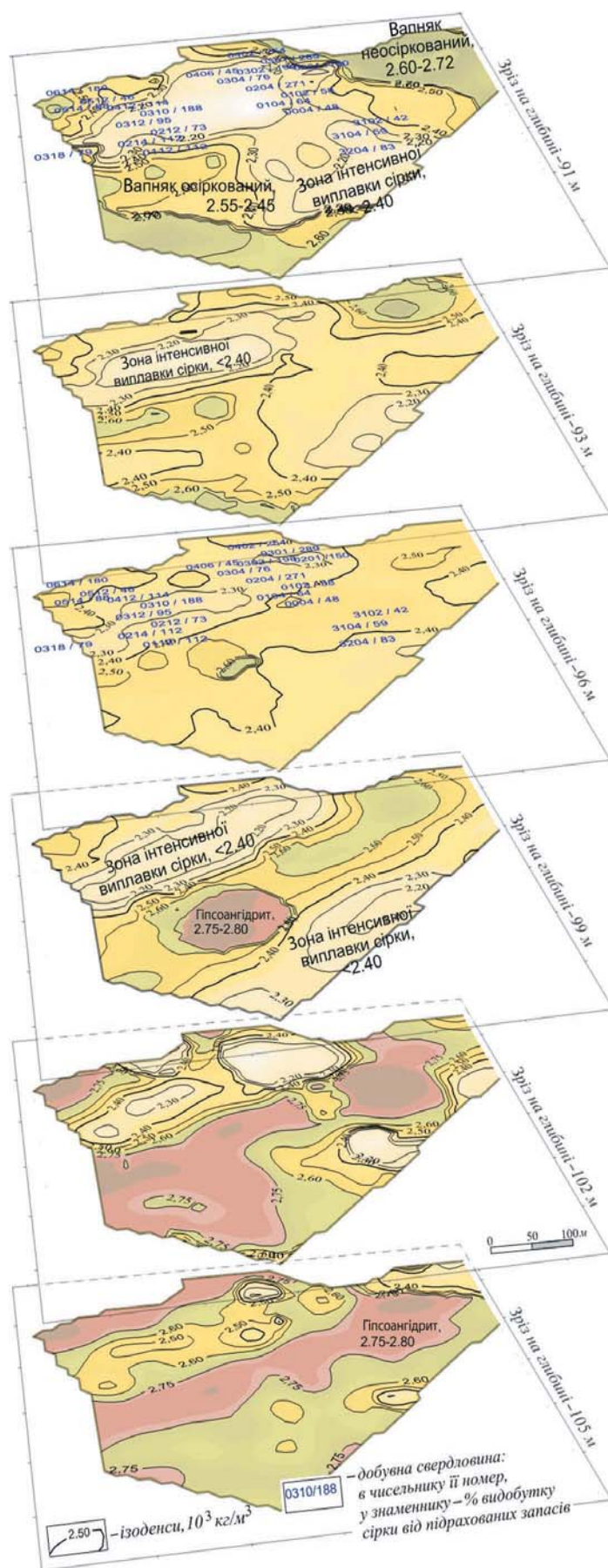


Рис. 6. Староязівська дільниця ПВС на Головному покладі Язівського родовища самородної сірки. Тривимірна густинна модель покладу сірки (інтервал глибин 91–105 м)

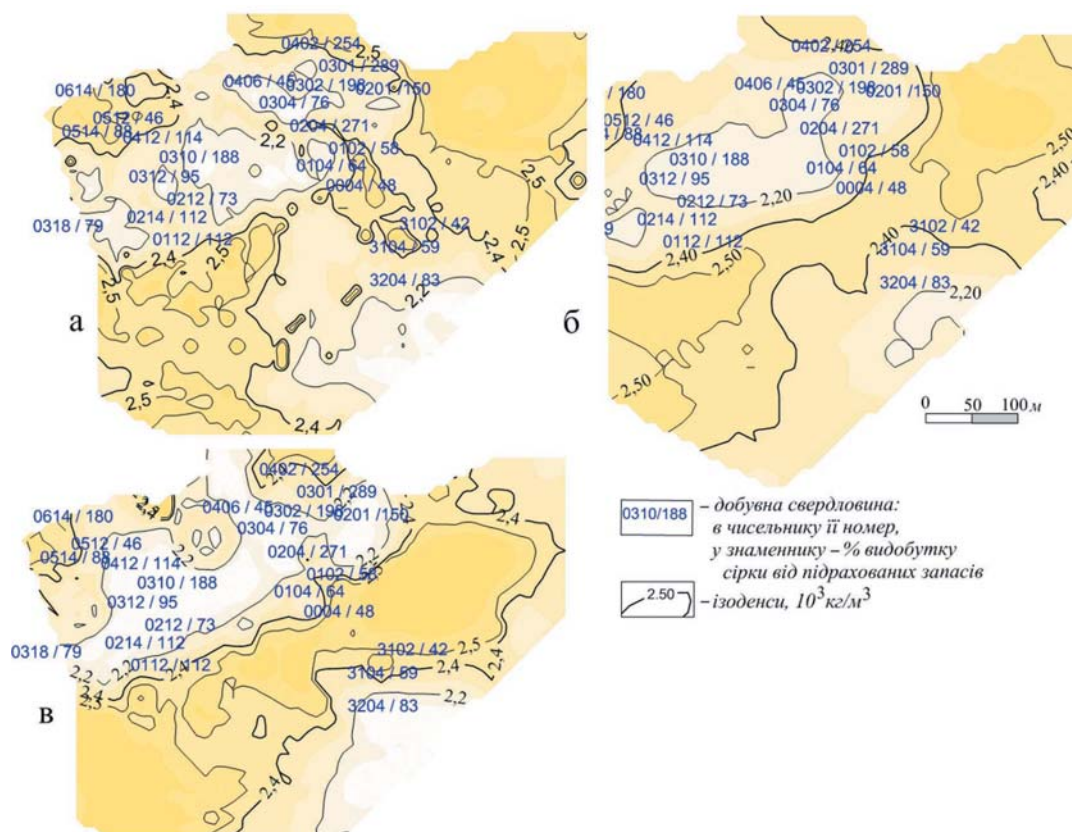


Рис. 7. Староязівська дільниця ПВС на Головному покладі Язівського родовища самородної сірки

План розподілу густини в межах товщі кондиційної руди: а – по покрівлі; б – ефективна (середньозважена) густина; в – по підшві

пласті в межах дільниці. На плані чіткіше виділяється північна зона розущільнення, яка охоплює всі свердловини з найбільшим видобутком сірки, і південно-східна, що розпадається на дві частини. Ця картина подібна до розподілу густини на зрізах глибин 93–98 м, що відповідає середнім глибинам залягання кондиційних руд (рис. 6).

Низка свердловин з порівняно високим видобутком сірки (№ 0102 і 0004 – 58, 48 %) розміщена за межами виявлених зон дефіциту густин на глибинах 94–100 м. Це варто пов'язувати з рельєфом поверхні, по якій відбулася виплавка сірки. За даними ПДП “Спецгеологорозвідка”, сірка виплавлялася з глибин 91–93 м. Свердловини з високим видобутком сірки (100 % і навіть до 290 %) розміщені в послабленій зоні, яка характеризується густинами $2,10\text{--}2,40 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ і простежується від покрівлі до пі-

дошви продуктивної товщі.

Тут доречно вказати, що загальне уявлення про ймовірний розподіл мас можуть надавати й трансформанти поля сили тяжіння,

що видно з порівняння розподілу локальних аномалій поля сили тяжіння (рис. 3) зі зрізами й планами тривимірної густинної моделі (рис. 6, 7).

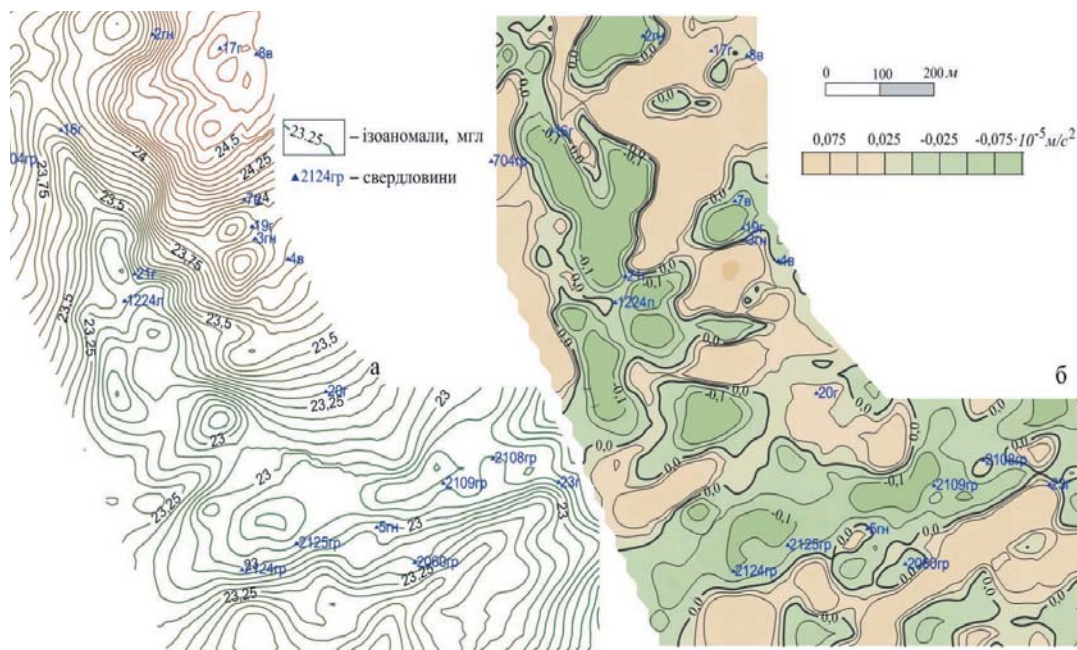


Рис. 8. Північно-західна частина Головного покладу Язівського родовища самородної сірки

Поле сили тяжіння в редукції Буге (а) і локальні аномалії (б) поля сили тяжіння (орієнтовна глибина простеження 0–120 м)

Одержані результати моделювання в комплексі з іншими геолого-геофізичними матеріалами було використано для геометризації технологічних типів руд і побудови прогнозних карт розподілу запасів за ступенем їх вилучення [19].

Північно-західна частина Головного покладу Язівського родовища. Прикладом застосування фонові високо-точної гравітаційної зйомки є дослідження, що виконані на північно-західній частині Головного покладу Язівського родовища самородної сірки під час підготовки її до видобутку сірки методом підземної виплавки. Площинні гравіметричні спостереження в комплексі із ЗСБ дали можливість на етапі планування ПВС урахувати виявлені природні геологічні чинники і, отже, зменшити буріння розвідувальних свердловин.

Схему спостереженого поля сили тяжіння на північно-західній частині Головного покладу Язівського родовища самородної сірки наведено на рис. 8а. Розмір площі – $1000 \times 1000 \text{ м}^2$; сітка спостережень – $20 \times 20 \text{ м}^2$; точність зйомки $\leq 0,02 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$.

Локальні аномалії (рис. 8б), що виділені зі спостереженого поля за допомогою трансформації з радіусом вікна осереднення в 150 м (відповідає глибинам залягання продуктивного пласта $\approx 145\text{--}165$ м), є ефектами природних джерел, розміщених до вказаних глибин.

Детальну тривимірну модель ділянки родовища самородної сірки, як і в попередньому разі, складено в межах інтервалу глибин залягання продуктивної товщі (60–115 м), визначеного стосовно умовної площини приведення (мінімальної альтитуду в межах площі). Геометрію границь родовища (покрівлі гіпсоангідриду, осіркованого й неосіркованого вапняку, руди, знову вапняку й пісковика) відтворено за даними розвідувального буріння та ЗСБ (рис. 9); густинну характеристику літологічних комплексів наведено в таблиці.

Загальна кількість комірок апроксимаційної конструкції для опису 3D густинної моделі ділянки родовища сірки становила $58 \times 54 \times 55$; розміри комірок – $20 \times 20 \times 1$ м³, що визначено масштабом гравіметричної зйомки й детальністю досліджень по глибині.

Актуальні результати гравітаційного моделювання північно-західної частини Головного покладу Язівського родовища (розв'язання 3D оберненої задачі гравірозвідки) представлено в межах товщі кондиційної руди за варіантами: розподілом густин по покрівлі (рис. 10а) і по підшві (рис. 10в), а також розподілом середньозваженої густини по пласту (рис. 10б). Зони дефіциту мас (розущільнення) оконтурені ізоденсою $2,50 \cdot 10^3$ кг/м³.

Загалом відзначається певна кореляція між мікрорельєфом покрівлі (підшви) осіркованого вапняку (рис. 9) і морфологією зон розущільнення (зон високого вмісту

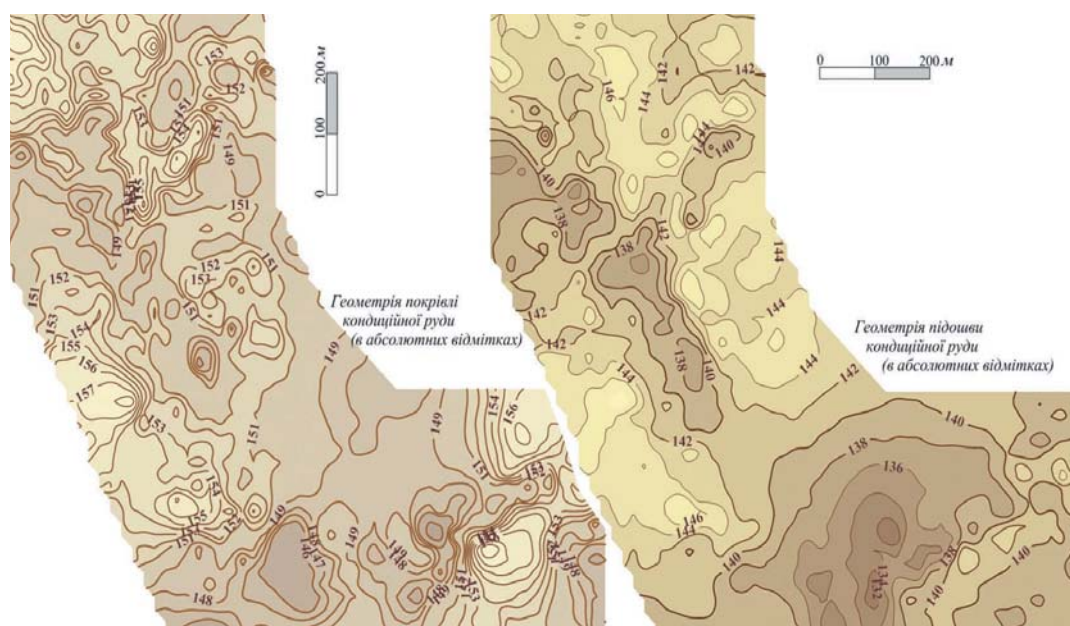


Рис. 9. Північно-західна частина Головного покладу Язівського родовища самородної сірки. Фрагмент апріорної тривимірної моделі: геометрія покрівлі й підшви кондиційної руди (в абсолютних відмітках)

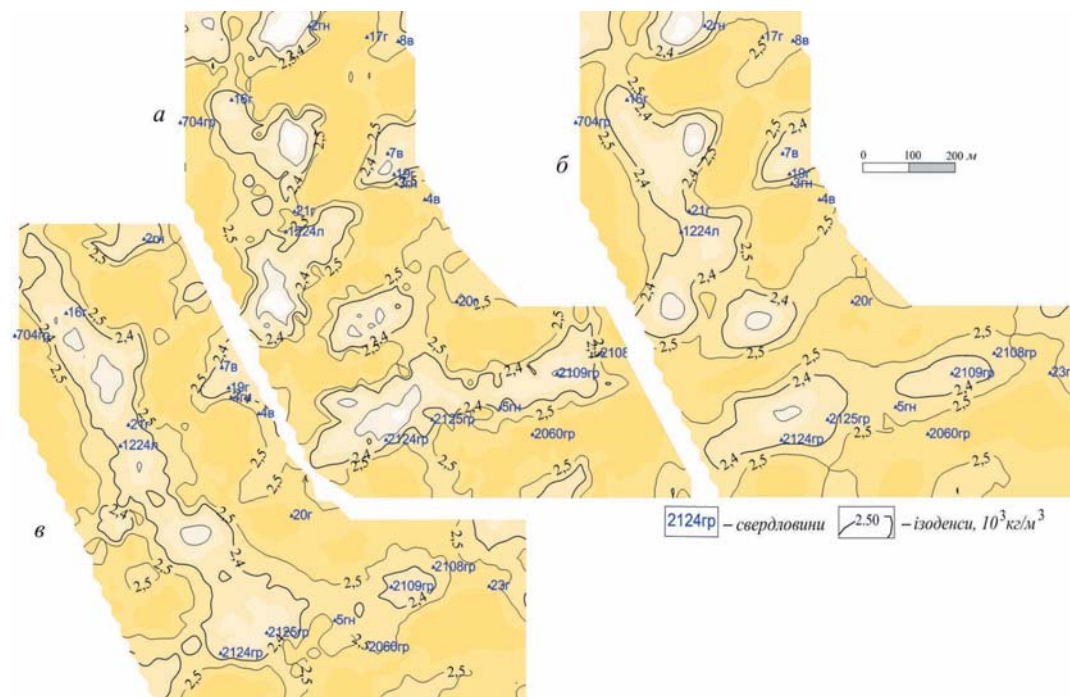


Рис. 10. Північно-західна частина Головного покладу Язівського родовища самородної сірки. План розподілу густини в межах товщі кондиційної руди: а – по покрівлі; б – ефективна (середньозважена) густина; в – по підшві

сірки) відповідно під покрівлею і над підшвою (рис. 10а, 10в). Розподіл густин у межах осіркованих вапняків в значній мірі відрізняється від їх розподілу в неосіркованих вапняках. Якщо в межах останніх зони розущільнення картуються в вигляді окремих плям, то в межах рудного пласта розущільнення охо-

плюють близько половини всієї площі досліджень. Найбільше за площею розущільнення простягається через всю діляницю в напрямку свердловин 16г (на півночі), 2124 гр. і 2125 гр. (на півдні); друга за розмірами зона розущільнення має напрямок, близький до субширотного, й розміщена між свердловина-

ми 2124 гр.–2108 гр. Обидві зони в плані тяжіють до лінійних зон пониження мікрорельєфу поверхні осіркованих вапняків.

Менше розущільнення осіркованих вапняків по підшві (рис. 10в) порівняно з розподілом середньозваженої густини та з розподілом густин по покрівлі на заході

ділянки (рис. 10а і 10б) цілком закономірно, бо в цій частині площі залягають літотамнієві вапняки, густина яких менша, ніж у гіпсоангідритах, що залягають на сході й північному сході. Тут значно виразніше виділяється й субмеридіальна зона розуцільнення, яка в плані тяжіє до лінійних заглиблень залягання вапняків. Можливо, ці розуцільнення пов'язані із зоною контакту літотамнієвих вапняків і гіпсоангідритів. Наявність субширотної ослабленої зони, що пронизує карбонати, може бути причетна до втрат теплоносія під час виплавки сірки на близькорозміщеній Староязівській дільниці ПВС [19].

Одержана тривимірна картина мікрорельєфу покрівлі вапняків і порід, що їх підстеляють (дані ЗСБ), а також 3D модель розподілу густини в товщі карбонатів, зокрема і в рудному пласті, актуальні на площах, де розвідувальне буріння проведено по рідкій сітці, бо разом з тематичними дослідженнями дають достатній матеріал для прогнозного підрахунку виводуваних запасів сірки.

З аналізу результатів гравітаційного моделювання контурів підвищеного вмісту самородної сірки або зон її інтенсивної виплавки впливає, що високоточна гравітаційна розвідка може забезпечити геологічний контроль за процесом підземної виплавки сірки, а також за посттехногенним станом сірчанних родовищ. За даними гравірознавчої експлуатаційної свердловини з виводком сірки у 40 % і більше від підрахованих запасів розміщені в межах зон дефіциту мас. Власне диференціація густин у межах тривимірних геогустинних моделей сірконосної товщі свідчить про суттєво нерівномірний вивідок сірки методом ПВС.

Отже, матеріали багаторічних гравіметричних досліджень ПДП “Спецгеологорозвідка” та ІФНТУНГ підтверджують, що високоточна гравітаційна розвідка на дільницях ПВС на родовищах Прикарпатського сірчаного басейну є ефективною й важливою частиною в комплексі геолого-геофізичних методів контролю за процесом підземної виплавки самородної сірки та єдиним способом оцінки її залишкових запасів після ПВС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Анікеев С. Г., Кузьменко Е. Д., Станкін О. В. Особливості гравітаційного моніторингу на прикладі вирішення задач контролю експлуатації сірчанних родовищ/Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ. 1995. Вип. 32. С. 39–49.
2. Анікеев С. Г. Комп'ютерна система рішення прямих та обернених задач гравірознавчої для 2D/3D моделей складнобудованих середовищ/Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Розвідувальна і промислова геологія. Івано-Франківськ, 1997. Вип. 34. С. 57–63.
3. Анікеев С. Г. Методика інтерпретації гравіметричних матеріалів при довільній будові геологічних середовищ: Автореф. дис. ... канд. геол. наук. Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. 242 с.
4. Анікеев С. Г. Про імітаційне моделювання в гравірознавчій//Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики//Зб. наукових праць. Київ, 2007. С. 292–298.
5. Анікеев С. Г. Про методику моделювання складнобудованих середовищ в гравірознавчій//Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики//Зб. наукових праць. Київ, 2008. С. 67–72.
6. Анікеев С. Г. Про методику гравіметричного моніторингу змін в будові геологічного середовища//Геодинаміка, № 1. (7). Львів, 2008. С. 141–146.
7. Анікеев С. Г., Степанюк В. П. Гравірознавчі та магніторозвідка. Навчальний посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. 242 с.
8. Аренс В. Ж. Разработка месторождений серы методом подземной выплавки. Москва: Недра, 1973. 263 с.

9. Аренс В. Ж., Полуканов В. Ф., Курапов Ю. Ф. Плотность скважин при детальной и эксплуатационной разведке Предкарпатских серных месторождений под их разработку методом ПВС//В кн.: Бесшахтная добыча горнохимического сырья. Москва: Недра, 1969. С. 25–36.

10. Костровская А. И., Озерко Н. Г. Пористость и кавернозность серных руд в связи с извлечением серы//В кн.: Галогенные формации Украины и связанные с ними полезные ископаемые. Киев: Наукова думка, 1971. С. 207–209.

11. Кузьменко Э. Д. и др. Состояние и перспективы геофизической изученности серных месторождений при подготовке их к подземной выплавке. Обзор. Инф. сер. Сера и серная промышленность. М.: НИИТЭХИМ, 1988. 59 с.

12. Кузьменко Э. Д., Анікеев С. Г., Меньшиков В. В. Плотностная характеристика разреза по результатам детальных гравірознавчих работ на Немировском месторождении серы//Проблемы производства серы: Сб. науч. тр.: ДСП/ВНИПИСера. М.: НИИТЭХИМ, 1988. С. 104–108.

13. Кузьменко Э. Д., Анікеев С. Г. Информативность поля силы тяжести в задачах мониторинга месторождений серы (результаты моделирования)//Модели и алгоритмы многоуровневого управления эколого-экономическими системами региона/Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины, Киев, 1994. С. 64–70.

14. Маловичко А. К. Основы курс гравірознавчої. Ч. 1. Пермь, 1966. 326 с.

15. Маловичко А. К., Костицын В. И., Тарунина О. Л. Детальная гравірознавчі на нефть и газ. М.: Недра, 1979. 192 с.

16. Маловичко А. К., Костицын В. И. Гравірознавчі. М.: Недра, 1992. 357 с.

17. Полуканов В. Ф. Основные выводы о характере размещения Предкарпатских залежей самородной серы//В кн.: Строение и закономерности размещения серных месторождений СССР. Киев: Наукова думка, 1979. С. 217–223.

18. Резниченко Л. Б., Бевза Ю. В. Об использовании общегеологических особенностей сероносных толщ для удешевления строительства рудников подземной выплавки серы//В кн.: Тектоника и полезные ископаемые запада Украинской ССР. Часть II. Киев: Наукова думка, 1973. С. 134–135.

19. Рижик Є. І., Шуровський О. Д., Мачкур О. В. Звіт про геологорозвідувальні роботи “Розвідка північно-західної частини Головного покладу Язівського родовища самородної сірки з метою підготовки її до експлуатації підземною виплавою”. Геолого-геофізична експедиція ПДП “Спецгеологорозвідка”, Міністерство промислової політики України, Івано-Франківськ, 2003. 305 с.

20. Соколов А. С. Основные закономерности строения и размещения месторождений серы//В кн.: Закономерности образования и размещения серы как теоретическая основа их прогноза и поисков. Киев: Наукова думка, 1980. С. 10–23.

21. Страхов В. Н. Современное состояние и перспективы развития теории интерпретации гравитационных и магнитных аномалий//Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Труды международной конференции. Воронеж, 1998. С. 4–35.