

© ¹А.В. Лисенко, Ю.О. ¹Подчашинський, ¹Г.В. Скиба,
²О.О. Ремезова, 2009

УДК 550.428:553.494:004.43

¹Житомирський державний технологічний університет,
м. Житомир

²Інститут геологічних наук НАН України, м. Київ

АНАЛІЗ ГЕОХІМІЧНОЇ ЗОНАЛЬНОСТІ ТА ВМІСТУ РУДНИХ КОМПОНЕНТІВ ФЕДОРІВСЬКОЇ ТИТАНОНОСНОЇ ІНТРУЗІЇ ГАБРОЇДІВ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ

Вступ. Важливою проблемою сучасної титанової галузі України є залучення до розробки об'єктів нових типів, до яких належать корінні родовища титану, приурочені до розшарованих інтрузій габроїдів. Найбільші родовища титанових руд у світі, до того ж найякісніші, містяться саме у таких інтрузіях, що є комплексними об'єктами: окрім титану з них можна видобувати апатит, рідкісні елементи тощо. Однак геохімічні особливості цих родовищ ще не з'ясовані.

Вперше геохімічні особливості та геологічну будову розшарованих інтрузій різних частин світу описали в своїй фундаментальній праці Л. Уейджер та Г. Браун [5], які висвітили закономірності розподілу хімічних елементів залежно від процесів, що відбувались в магматичній камері, та від ступеня кристалізації масивів. Геохімічні особливості деяких розшарованих тіл у межах колишнього СРСР та рудних мінералів, що містяться в них, показані в роботі [10]. Останнім часом проведені масштабні дослідження подібних об'єктів на Балтійському щиті в межах міжнародної програми *GEODE*, в ПАР, Бразилії та інших країнах.

Найбільшу увагу дослідників серед титанових інтрузій України привертає Федорівське тіло, що має чашеподібну форму і за будовою поділяється на три пачки порід. Серед основних корінних формацій Федорівського родовища розрізняють структурні і текстурні відміни олівінового габро, габро-перидотитів та лейкократового габро. Нижній горизонт представлений габроїдами різного складу, середній – габро-перидотитами, верхній – олівіновим габро. Вмісні породи представлені крупнозернистими габро-анортозитами й анортозитами, які, згідно з геофізичними даними, простягаються на глибину 1–2 км. Будова Федорівського інтрузиву детально описана в роботах [1, 2, 4], у останній з яких виконано порівняння особливостей формування різних розшарованих інтрузій Коростенського плутону. Особливості хімічного складу рудних мінералів Федорівського інтрузивного тіла висвітлені в статті [3].

Метою нашого дослідження було встановлення геохімічної зональності Федорівського родовища та закономірностей коливання значень вмісту корисних компонентів.

Розрахунки та способи зображення геохімічної зональності Федорівського родовища титану. Геохімічна зональність рудних тіл має важливе теоретичне і практичне значення. Наявність інформації про закономірності вертикальної геохімічної зональності дозволяє впритул наблизитись до вирішення задач пошуку прихованих рудних тіл.

На даний момент існує декілька методів розрахунків геохімічної зональності рудних тіл. Серед них найбільш поширені методики С.В. Григоряна та О.П. Соловова [6, 7]. Для вивчення геохімічної зональності Федорівського родовища титану нами використано методику П.П. Сочеванова [8]. У дослідженнях використані дані щодо вмісту хімічних елементів по окремих свердловинах. Аналіз зразків був проведений спектральною лабораторією геолого-геохімічної експедиції смт. Нова Борова на спектрографах з великою дисперсією. Як показав внутрішній та зовнішній контроль, результати аналізу надійні та достовірні.

Були вибрані свердловини, розташовані вздовж одного геологічного розрізу й ухрест простягання інтрузивного тіла. Для вивчення геохімічної зональності вертикального розрізу проведено порівняння вмісту кожного хімічного елементу у двох різних горизонтальних площинах (верхньої та середньої пачки порід), у яких переважно сконцентроване зруденіння титану і фосфору. Деякі закономірності накопичення цих елементів і, відповідно, їх мінералів-носіїв, описані нами в попередніх роботах [4, 9]. У цьому дослідженні вміст елементу та зміна його значення з глибиною оцінені для кожного елементу окремо. Для цього побудовані графіки зміни вмісту елементів (мг/т) залежно від глибини (рис. 1). За одержаними графіками можна визначити зміну значення вмісту елементу по вертикалі та глибину фіксації найбільшого значення вмісту. Ці графіки є додатковим матеріалом до розрізів з ізолініями вмісту хімічних елементів, які зазвичай складають для таких родовищ.

На рис. 1, як приклад, наведені графіки зміни значення вмісту елементів з глибиною для декількох хімічних елементів (P, Ti, Zn, Cu) по чотирьох досліджуваних свердловинах (572, 573, 574, 575, лінія 57), верхня пачка відділена від середньої потовщеною лінією. Як видно, Ti є типовим елементом, що концентрується по краях поперечного геологічного розрізу Федорівського інтрузивного тіла (св. 572, 575) в межах рудного горизонту (середня пачка). Zn і Cu – типові елементи для надрудних горизонтів, характеризуються, в основному, одним максимумом. Криві, побудовані для P, є прикладом двоінтервального поширення елемента, оскільки мають в більшості випадків два максимуми – у надрудному (верхня пачка) і рудному (середня

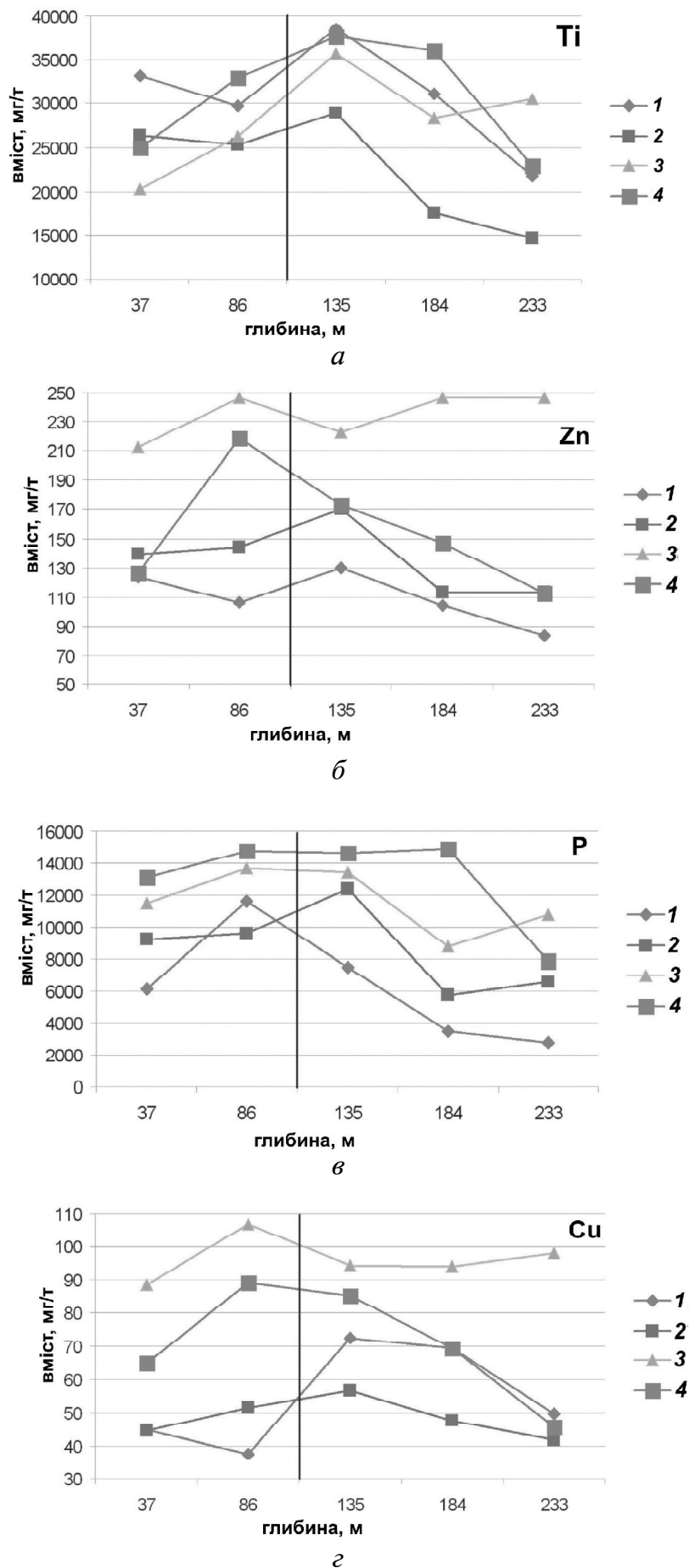


Рис. 1. Зміна значення вмісту хімічних елементів з глибиною для різних свердловин Федорівського інтрузиву: 1–4 свердловини (1 – 572, 2 – 573, 3 – 574, 4 – 575)



Рис. 2. Діаграма геохімічної зональності хімічних елементів по св. 575. Вміст елементів, мг/т: 1 – максимальний; 2 – середній; 3 – мінімальний

пачка) горизонтах. Таку поведінку цього елементу можна пояснити його великою рухомістю у магматичних камерах.

Для всіх елементів визначено максимальний і мінімальний вміст у межах певних горизонтів у вказаних свердловинах (наприклад, рис. 2 – св. 575). На основі проведених досліджень був складений ряд вертикальної геохімічної зональності по всіх свердловинах ухрест простягання рудного тіла.

Як видно з рис. 2, у надрудній зоні (верхня пачка) зафіксовані максимальні значення вмісту Cu і Zn. У межах рудних горизонтів (середня пачка) зафіксовані максимальні значення вмісту P, Co, Ti, Mn. Порівняння таких діаграм по інших свердловинах показало, що вміст Ti, P, Co, Mn збільшується до південно-східної частини геологічного розрізу (св. 575). Таким чином, встановлена геохімічна зональність дозволяє оцінити місце кожного елемента та їх взаємозв'язки робити висновки щодо відносного накопичення елемента на різних площинах досліджуваного розрізу.

Якщо порівняти ці дані з результатами хімічного аналізу рудних мінералів, то максимальний вміст двоокису титану характерний для титаномангнетитів середнього горизонту (17,62 % – св. 573; 19,68 % – св. 574). Ця ж закономірність спостерігається і для ільменіту (47,88 % – св. 573; 48,94 % – св. 575). До дна інтрузії зростає вміст цього компонента в олівінах. Таким чином відбувався перерозподіл хімічних елементів всередині магматичної камери серед мінералів. Можливо, існувало два фронти кристалізації – знизу вгору і згори донизу, як це зазначено в роботі [3].

Вміст Cu і Zn пов'язаний, ймовірно, з сульфідами, які містяться в габроїдах. За описами шліфів з Федорівського родовища, в породах відокремлюються вкраплення сульфідних мінералів, здебільшого округлої форми розміром від 0,05 до 0,2 мм. Найбільше сульфідів концентрується в нижній частині верхньої зони інтрузії. За результатами досліджень наведеними в роботі [10], краплеподібне виділення сульфідів свідчить про їх первинно-магматичне походження. Рудні мінерали належали до ранніх кумулатів інтрузії.

Опис закономірностей розподілу хімічних елементів за результатами вейвлет-аналізу. З метою встановлення особливостей розшарування хімічних елементів в інтрузиві нами було виконане вейвлет-перетворення сигналу $s(l)$ – функції зміни значення вмісту титану і фосфору за даними спектрального та хімічного аналізу в залежності від глибини l . Проби відібрано для спектрального аналізу через 4–5 м, для хімічного – через 2–2,5 м.

Безперервне вейвлет-перетворення цього сигналу [12, 13, 14] обчислене за формулою

$$C_{a,b} = W[s(l)] = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} s(l) \psi\left(\frac{l-b}{a}\right) dl,$$

де $C_{a,b}$ – коефіцієнти вейвлет-перетворення, W – операція обчислення вейвлет-перетворення, ψ – базисна функція, вид якої визначається типом вейвлету, що використовується для обчислення перетворення, a – номер спектрального коефіцієнту перетворення, b – зсув поточної точки для обчислення перетворення.

В результаті обчислень отримано спектрограми вейвлет-коефіцієнтів для вхідного сигналу, які відображаються у вигляді графіка (рис. 3).

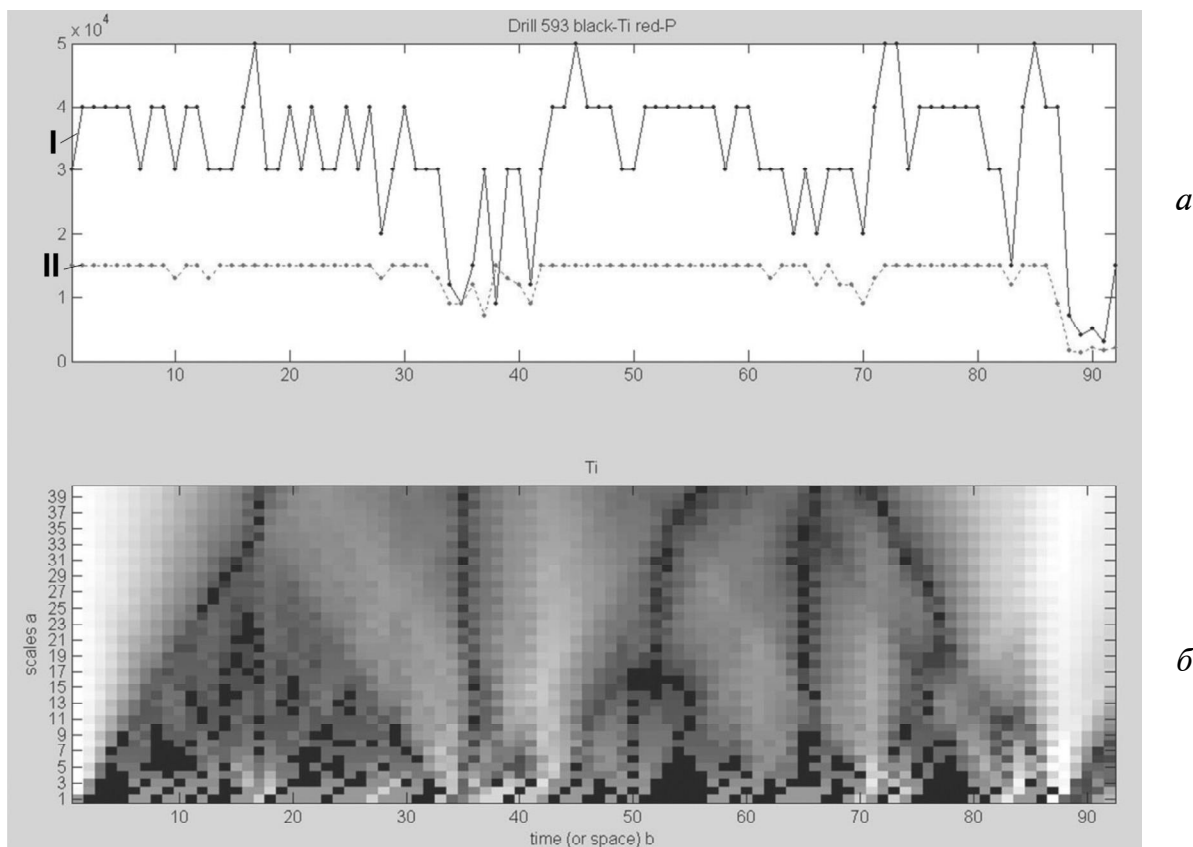


Рис. 3. Результати вейвлет-перетворення сигналу – функції зміни вмісту титану і фосфору за даними спектрального та хімічного аналізу (загальний вигляд для свердловини): *a* – по горизонталі – глибина свердловини, м; по вертикалі – вміст титану (I) та фосфору (II) в мг/т, *б* – вейвлет-спектрограма функції вмісту титану: по горизонталі – глибина свердловини, м; по вертикалі – номер спектрального коефіцієнту; яскравість елементів спектрограми відображає абсолютні значення спектральних коефіцієнтів

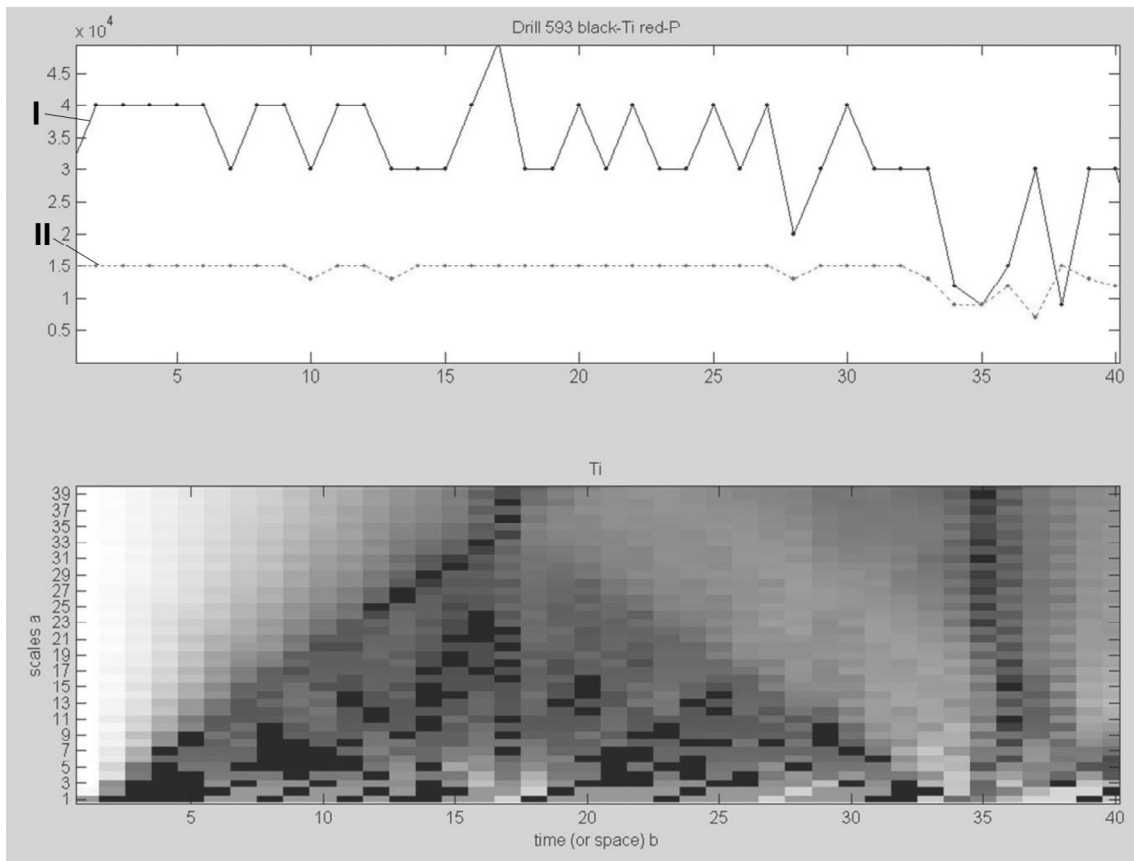


Рис. 4. Результати вейвлет-перетворення сигналу — функції зміни вмісту титану і фосфору за даними спектрального та хімічного аналізу (детальний вигляд фрагменту для свердловини). Умовні позначення як на рис. 3

Нами в результаті використання вейвлет-функцій Хаара отримані спектральні характеристики залежностей вейвлет-коефіцієнтів від номеру рядка аналізу в базі даних, тобто глибини відбору проби. Згідно з результатами раніше проведених досліджень, нами були виділені так звані “аномальні” ділянки в свердловинах, де відбувається перехід від однієї пачки порід до іншої. Взагалі ж, для всіх свердловин Федорівського родовища характерна наявність трьох чітко виражених ритмів, в межах яких спостерігаються більш дрібні (рис. 3, 4). Такі ритми виділяються і тоді, коли за польовим описом товщі виявлена монотонна товща порід. Тобто існує шаруватість прихована, яку можна виявити лише за допомогою спеціальних методів. Завдяки деталізації ритмів чітко виділяється верхня і нижня приконтантові зони в межах верхньої пачки на глибині відповідно 80 і 108 м. Вони відповідають зонам, виділеним у роботі [3]. При цьому можна передбачити наявність таких перехідних зон і в межах середнього горизонту, що може бути пов’язане з геохімічними особливостями рудних мінералів. Менш чіткими є ритми нижньої пачки, оскільки тут відбувалось накопичення кристалічного осаду, а вплив флюїдопотоків був інтенсивнішим. Це підтверджують зафіксовані в результаті петрографічних досліджень вторинні зміни – калішпатизація, серицитизація, хлоритизація тощо. Ймовірно, ці явища носили пульсаційний характер.

Найбільш інформативними даними для вейвлет-перетворення сигналу (функції зміни вмісту титану і фосфору) є результати хімічного аналізу, оскільки проби для нього відібрані через менші інтервали, ніж для спектрального. Для деталізації вмісту корисного компонента можна з урахуванням наведених закономірностей запропонувати двостадійну схему випробовування: спочатку відбирати проби через 2 м з наступним зменшенням інтервалу випробовування до 0,5 м.

За такою схемою випробовуваний Каменській масив габроїдів. Цей масив складається з двох генерацій габроїдів. Рання має в своїй будові амфіболізовані і гранітізовані габро, діабазы, діабазові порфірити та деякі інші відміни порід. Породи пізньої генерації за зовнішнім виглядом та геологічними особливостями подібні до порід Коростенського плутону. Це середньозернисті породи, серед яких за мінеральним складом виділяються різні відміни порід – від нормального габро до габроноритів і троктолітів. Масив має ознаки розшарування, але його будова не досліджена детально [11]. Нами в результаті вейвлет-перетворення функції зміни значення вмісту титану і фосфору теж виділені три пачки порід, що відповідають зміні умов кристалізації розплаву в магматичній камері (рис. 5).

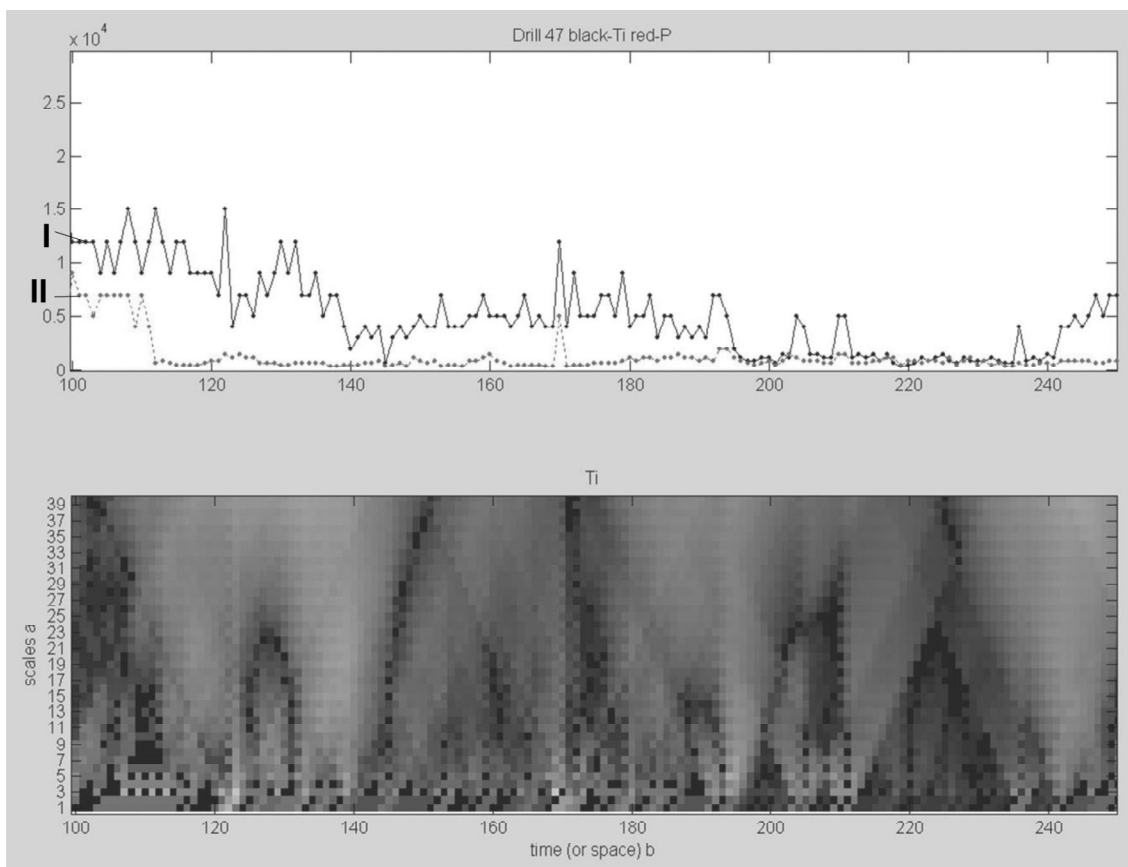


Рис. 5. Результати вейвлет-перетворення сигналу — функції зміни вмісту титану і фосфору за даними спектрального та хімічного аналізу (детальний вигляд фрагменту для свердловини). Умовні позначення як на рис. 3

В результаті проведених досліджень можна зробити такі **висновки**.

1. Для верхньої пачки характерні максимальні значення вмісту Cu і Zn, що пов'язане з виділенням сульфідів з магматичного розплаву. В межах рудних горизонтів (середня пачка) зафіксовані максимальні значення вмісту інших елементів: P, Co, Ti, Mn, вміст яких збільшується до південно-східної частини геологічного розрізу.
2. Дані вейвлет-перетворень сигналу (функції вмісту корисних компонентів в інтрузії) дозволяють виділяти в межах тіл не тільки пачки порід, але й окремі горизонти. Їх появу можна пояснити пульсаційним характером флюїдопотоків у магматичній камері.
3. Необхідно доопрацювати і удосконалити схему випробування для розшарованих інтрузій, які вміщують родовища корисних копалин. Випробування повинно бути двостадійним з деталізацією певних інтервалів, оскільки одержання відомостей щодо більш дрібних ритмів залежить від кроку сигналу.

1. Ремезова О.О. Проблеми дослідження розшарованих інтрузивних тіл Українського щита // Геолого-мінералогічний вісник. – 2005. – №1. – С. 61–67.
2. Ремезова О.О. До питання вивчення петрохімічних особливостей та генезису габроїдів Федорівського розшарованого тіла // Форум гірників – 2005: Матеріали міжнар. конф. (12–14 жовт. 2005 р.). – Дніпропетровськ, 2005. – Т. 4. – С. 27–33.
3. Шумлянський Л.В., Дюшен Ж.-К. Рудні мінерали Федорівського родовища фосфору та титану // Наукові праці інституту фундаментальних досліджень. – К.: Логос, 2005. – Вип. 9. – С. 65–83.
4. Галецький Л.С., Ремезова О.О. Титанові руди України // Геолог України. – 2007. – №3. – С. 51–61.
5. Уэйджер Л., Браун Г. Расслоенные изверженные породы. – М.: Мир, 1970. – 551 с.
6. Григорян С.В. Первичные геохимические ореолы гидротермальных месторождений, методы их изучения и практические исследования: автореф. дис. на соиск. ученой степени докт. наук. – М., 1971.
7. Соловов А.П., Гаранин А.В., Виль Л.С. Программа “062 МГУ”. Исследования зональности рудных месторождений (отыскание монотонных геохимических показателей зональности). – Алма-Ата, 1972.
8. Сочеванов Н.Н., Горелова Е.К. Расчеты и методы изображения геохимической зональности по центрам тяжести продуктивности элементов // Методы обработки цифровой информации при геохимических поисках. – М., 1975.
9. Криворучко А.О., Подчашинський Ю.О., Ремезова О.О. Дослідження просторового розподілу рудної мінералізації в масивах габро засобами інформаційно-комп'ютерної обробки відеозображень поверхні зразків порід // Геоінформатика. – 2006. – №3. – С. 76–80.
10. Вахрушев В.А. Рудные минералы изверженных пород. – Новосибирск: Наука, 1980. – 184 с.
11. Кононов Ю.В. Металлоносность габброидных пород Украинского щита. – К.: Наук. думка, 1985. – 156 с.

12. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в *MATLAB*. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
13. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет–преобразования. – СПб.: Издательство ВУС, 1999. – 212 с.
14. Чуи К. Введение в вейвлеты. – М.: Мир, 2001. – 356 с.