

Пошукова геохімія

УДК 550.42:546.4./7:631.4(477)

Геохімічні пошуки за вторинними сольовими ореолами на території Українського щита

Крюченко Н. О.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М. П. Семененка НАН України, Київ

Встановлені основні закономірності міграції різних форм хімічних елементів у поверхневих відкладах. Встановлено, що збільшення вмісту сульфатів в хімічному складі води приводить до збільшення вмісту комплексу «важкий метал – сульфат», при цьому вміст іонів металів Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} зменшується. Створено математичну модель утворення сольових ореолів розсіяння та проведено визначення прогнозної кількісної оцінки локальних рудопроявів.

Вступ. Розвиток мінерально–сировинної бази України в умовах переходу до пошуків корисних копалин глибокого залягання, що перекриті потужними товщами осадових порід, потребує значного збільшення об'ємів бурових робіт та зростання витрат.

Територія України характеризується високим антропогенным навантаженням, яке спричиняє формування фонових полів підвищеного вмісту хімічних елементів та аномалій, що не пов'язані з рудними об'єктами. Це перешкоджає ефективному застосуванню традиційних геохімічних пошуків. Тому особливого значення набуває розбраковка природних і техногенних аномалій та їх прогнозна оцінка.

Вдосконалення та розвиток геохімічних пошуків потребують застосування нових методів та наукових методологічних підходів. В нашій роботі вперше проведено математичне моделювання умов утворення сольових ореолів розсіяння хімічних елементів з метою визначення їх зв'язку з рудними об'єктами, що дозволило перейти від якісного геохімічного прогнозування до кількісного, тобто розробити наукові основи визначення перспективності рудопрояву.

Методи дослідження. Комплекс аналітичних методів: хімічний, спектральний, атомної абсорбції, іон–селективний та інші. Математичне моделювання геохімічних процесів: аналітичне і чисельне. Для задач моделювання запропоновані комплексний ітераційний чисельно–аналітичний метод. Для визначення основних форм міграції хімічних елементів використано термодинамічні розрахунки.

Визначення основних форм міграції та концентрації хімічних елементів для різних

територій Українського щита (УЩ). Методи фізико–хімічної термодинаміки і гідродинаміки в геохімії дозволяють створювати принципові кількісні моделі гідрохімічних систем, що у свою чергу сприяє науково–обґрутованому прогнозуванню гідрохімічних явищ. Ці методи в даний час достатньо швидко входять в комплекс геохімічних досліджень і стають необхідною їх частиною.

Під термодинамічною системою розуміють сукупність взаємодіючих фаз і становлячих їх компонентів, які можуть знаходитися в рівновазі один з одним. Класична фізико–хімічна термодинаміка має справу з рівноважними, оборотними і ізольованими системами. При термодинамічній рівновазі градієнти концентрацій, температур і тиску в системі відсутні. І, навпаки, якщо рівновага не встановилася, то це означає, що в системі є градієнти.

Будь–який нерівноважний стан за допомогою різних фізико–хімічних процесів прагне мимовільно перейти в рівноважний стан. Ці процеси мають термодинамічні і кінетичні параметри. Термодинамічні параметри дозволяють вирішувати питання про вірогідність протікання реакції в даних конкретних умовах, про вірогідний напрям її мимовільного протікання, описують енергетичні зміни, що відбуваються в результаті реакції. Вони є функціями тільки початкового і кінцевого станів реакційної системи і не залежать від механізму даного процесу.

Для зіставлення результатів в термодинаміці використовують стандартний стан, під яким розуміють параметри і стани речовин при їх активностях, рівних одиниці, $P = 0,1$ МПа і $T = 25^\circ C$ [1].

В своїх дослідженнях ми розглядаємо гетерогенні системи — з міжфазовими взаємодіями («вода—порода»), хоча гомогенні взаємодії (взаємодії між різними компонентами підземних вод) в моїх дослідженнях також мають місце. Концепція локальних і часткових рівноваг в гідрохімічних системах дозволяє використовувати арсенал методів рівноважної фізико-хімічної термодинаміки для інтерпретації і прогнозування вірогідних гідрохімічних процесів.

З використанням методів термодинамічного аналізу і математичного моделювання автором розраховані індикаторні форми для різних типів ґрунтів розчинів залежно від pH середовища (табл. 1) [2].

форм при трьох значеннях температури — 15, 25, 35 °C і різних pH — 6, 7, 8 [2].

За результатами розрахунків побудовано табл. 2 та зроблено висновок, що поверхнева температура не впливає на стійкість рухомих форм при міграції елементів у ґрутовому розчині.

Оскільки значення pH ґрутових розчинів в ґрунтах, що зустрічаються на території УЩ, змінюється від 3 до 10, був прорахований можливий вміст різних форм міграції (у відсотках від суми молярних концентрацій всіх можливих форм) компонентів при температурі 25 °C.

На рис. 1 – 3 представлена індикаторні форми для різних типів ґрунтів залежно від pH середовища. За результатами досліджень було зроблено наступні висновки: Гідрокарбонат (див.

Таблиця 1

Основні форми міграції хімічних елементів в ґрутових розчинах різних типів ґрунтів

pH	Форми міграції						
	Гідрокарбонат	Кальцій	Мідь	Залізо	Марганець	Свинець	Цинк
3,0–5,0	CO ₂ (95)	Ca ²⁺ (98)	Cu ²⁺ (98)	Fe ²⁺ (98)	Mn ²⁺ (98)	Pb ²⁺ (92)	Zn ²⁺ (97)
6	HCO ³⁻ (32)	Ca ²⁺ (98)	Cu ²⁺ (95)	Fe ²⁺ (95)	Mn ²⁺ (96)	Pb ²⁺ (67)	Zn ²⁺ (95)
	CO ₂ (68)					PbHCO ³⁺ (14)	
						PbCO ₃ (14)	
7	CO ₂ (18)	Ca ²⁺ (97)	Cu ²⁺ (35)	Fe ²⁺ (91)	Mn ²⁺ (91)	Pb ²⁺ (14)	Zn ²⁺ (85)
	HCO ³⁻ (82)		Cu(OH) ₂ (61)			PbCO ₃ (75)	
8	CO ₂ (2)	Ca ²⁺ (97)	Cu(OH) ₂ (98)	Fe ²⁺ (83)	MnCO ₃ (21)	PbCO ₃ (94)	ZnCO ₃ (33)
	HCO ³⁻ (96)				Mn ²⁺ (73)		Zn ²⁺ (48)
9	HCO ³⁻ (91)	Ca ²⁺ (93)	Cu(OH) ₂ (99)	FeCO ₃ (34)	Mn ²⁺ (27)	Pb(CO ₃) ₂₋ (11)	ZnCO ₃ (25)
				Fe ²⁺ (46)	MnCO ₃ (71)	PbCO ₃ (86)	Zn(CO ₃) ₂₋ (27)
							Zn(OH) ₂ (40)
10	CO ₃ ²⁻ (30)	CaCO ₃ (25)	Cu(OH) ₂ (99)	Fe ²⁺ (12)	MnCO ₃ (93)	Pb(CO ₃) ₂₋ (38)	Zn(CO ₃) ₂₋ (19)
	HCO ³⁻ (55)	Ca ²⁺ (73)		FeCO ₃ (56)		PbCO ₃ (50)	Zn(OH) ₂ (75)

Примітка. В дужках вказані % суми молярних концентрацій.

Тип ґрутового розчину, pH: 3 – 6 – дерново-глеєва, алювіально-болотяна мурова глеева, дерново-підзолиста, дерново-середньопід-золосиста супіщана на кварцових пісках; 7 – 8 – чернозем звичайний, чернозем середньосуглиннистий, лугово-болот-няна, дерново-карбонатна на крейдових породах, чернозем звичайний малогумусний на лессах, чернозем звичайний на елювії піскуватих сланців; 9 – чернозем південний на лессах лугово-каштанова, каштаново-солонцевата; 10 – солонці (засолені ґрунти).

Оскільки польові роботи по відбору поверхневих відкладів проводяться в літній час, виникає питання: чи впливає температура на комплексоутворення елементів? Для цього нділянці мідного рудпрояву відібрани проби ґрунту з поверхневого горизонту, в яких був визначений сумарний склад ґрутового розчину (pH 7,0), мг/л: Ca²⁺ – 23,5; Na⁺ – 7,1; K⁺ – 2,8; Mn²⁺ – 0,09; Fe²⁺ – 0,39; Cl⁻ – 0,71; SO₄²⁻ – 12,0; HCO₃⁻ – 61,0; Cu²⁺ – 0,03; Zn²⁺ – 0,09; Pb²⁺ – 0,009. Після чого за програмою PHREEQC розраховані форми міграції компонентів – неорганічні форми (у відсотках від суми молярних концентрацій всіх

рис.1 а) – до pH 4 основною індикаторною формою є CO₂, при pH 6,4 міститься однакова кількість CO₂ і (по 50 %), при pH 6,5 – 10 стає основною формою (> 50 %). Мідь (див. рис. 1 б) – при pH 3 – 6 основна стійка форма – Cu²⁺ (100 %), при pH 6,5 міститься однакова кількість Cu²⁺ і Cu(OH)₂ (по 50 %), при pH 7 вміст Cu²⁺ зменшується до 38 %, тоді як Cu(OH)₂ збільшується до 60 %. При pH 8 Cu(OH)₂ стає основною формою (100 %).

При збільшенні pH до 9 – 10 (деякі черноземи і засолені ґрунти), індикаторними формами можуть служити карбонатні і, рідше, гідроксильні форми.

Таблиця 2

Залежність комплексоутворення від температури, % суми молярних концентрацій
(1 — 15, 2 — 25, 3 — 35 °C)

Компонент	рН 6			рН 7			рН 8		
	T, °C								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Гідрокарбонат</i>									
CO ₂	71,35	68,06	65,9	19,89	17,51	16,14	2,4	2,06	1,87
HCO ³⁻	28,47	31,71	33,83	79,57	81,83	83,1	96,27	96,29	96,13
<i>Кальцій</i>									
Ca ²⁺	98,31	98,11	97,92	97,89	97,6	97,32	97,41	96,95	96,44
CaSO ₄	1,44	1,56	1,68	1,4	1,52	1,64	1,39	1,5	1,62
<i>Мідь</i>									
Cu ²⁺	96,02	95,93	95,87	35,35	35,42	35,48	0,57	0,58	0,58
Cu(OH) ₂	1,68	1,67	1,66	61,05	60,96	60,86	98,92	98,92	98,92
<i>Залізо</i>									
Fe ²⁺	96,52	96,03	95,62	92,21	91,62	90,98	85,38	82,99	79,88
FeHCO ₃ ⁺	2,3	2,54	2,69	6,07	6,19	6,22	6,78	6,57	6,3
FeSO ₄	1,15	1,37	1,6	1,08	1,28	1,49	0,99	1,15	1,31
FeCO ₃	0,02	0,03	0,03	0,52	0,66	0,79	5,77	7,03	8,02
FeOH ⁺	0,01	0,03	0,05	0,12	0,25	0,51	1,08	2,27	4,49
<i>Марганець</i>									
Mn ²⁺	96,76	96,28	95,85	91,82	91,09	90,35	76,56	73,14	70,21
MnHCO ₃ ⁺	2,05	2,27	2,4	5,39	5,48	5,5	5,42	5,16	4,93
MnSO ₄	1,14	1,37	1,62	1,06	1,27	1,49	0,88	1,01	1,16
MnCO ₃	0,07	0,09	0,11	1,71	2,18	2,61	17,12	20,51	23,35
<i>Свинець</i>									
Pb ²⁺	71,52	67,75	64,8	17,3	14,37	12,44	1,9	1,53	1,3
PbHCO ₃ ⁺	13,48	14,17	14,4	9,01	7,67	6,72	1,19	0,96	0,81
PbCO ₃	10,5	13,87	16,8	69,94	74,82	78,11	92,54	93,55	94,11
PbSO ₄	3,25	3,03	2,86	0,77	0,01	0,54	0,08	0	0
PbOH ⁺	1,22	1,15	1,1	2,91	0,02	2,08	3,19	2,57	2,17
<i>Сульфат</i>									
SO ₄ ²⁻	93,03	92,39	91,83	93,19	92,63	92	93,27	92,71	92,15
CaSO ₄	6,77	7,34	7,91	6,59	7,15	7,7	6,52	7,06	7,6
NaSO ₄ ⁻	0,11	0,12	0,13	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12
<i>Цинк</i>									
Zn ²⁺	95,28	94,77	94,34	86,78	85,19	83,37	53,37	47,7	42,33
ZnHCO ₃ ⁺	2,85	3,15	3,33	7,18	7,22	7,15	5,32	4,74	4,19
ZnSO ₄	1,67	1,77	1,87	1,49	1,56	1,62	0,91	0,87	0
ZnCO ₃	0,16	0,22	0,28	4,04	5,1	6,03	29,91	33,49	35,26
ZnOH ⁺	0,04	0,09	0,19	0,38	0,81	1,64	2,31	4,51	8,32
Zn(OH) ₂	0	0	0	0,09	0,81	0,09	5,52	4,92	4,35
Zn(CO ₃) ₂ ²⁻	0	0	0	0,03	0,05	0,07	2,67	3,77	4,73

Утворення різних форм в значній мірі залежить від фізико-хімічних параметрів системи "грунт - розчин" і, перш за все, від pH грунту.

Оскільки прості катіонні і аніонні форми хімічних елементів мають найбільше значення для пошуків, доцільно, проводячи аналітичні дослідження, використовувати іон-селективний метод для визначення (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) і аніонів (F^- , Cl^-). Перевага його в тому, що визначення стійких рухомих форм можна проводити і в польових умовах.

Були проведені експериментальні дослідження зміни pH для використання експресного методу визначення металів. Наприклад для експресного визначення Cu^{2+} необхідно, щоб pH було 3 – 6, для визначення Mn^{2+} pH повинен бути до 7, та інше (див. табл. 1).

Дослідження полягали в наступному: 2 г ґрунту розчиняли у 20 мл дистильованої води, після чого по одній краплі додавали 0,1 н HCl (об'єм однієї краплі – 0,05 мл). Результати досліджень наведені у табл. 3.

Таблиця 3
Результати досліджень pH розчину
при зміні лужності

Додавання крапель 0,1 н HCl		pH розчину					
кількість	об'єм, мл	7,89	7,75	7,7	7,4	7	6,8
1	0,05	7,39	7,15	6,92	6,76	5,77	5,58
2	0,1	6,78	6,79	6,47	6,3	4,25	4,04
3	0,15	6,55	6,52	6,06	5,99	3,4	3,4
4	0,2	6,39	6,21	5,7	5,6	3,14	3,12
5	0,25	6,2	6,01	4,94	5,06	2,95	2,96
6	0,3	6,01	5,7	3,83	3,88	2,77	2,75
7	0,35	5,72	5,36	3,15	3,25	2,66	2,72
8	0,4	5,36	4,41	2,99	2,96	2,59	2,65
9	0,45	4,76	3,8	2,5	2,79	2,55	2,56
10	0,5	4,2	3,34	2,5	2,65	2,46	-
11	0,55	3,65	3,01	-	2,5	-	-
12	0,6	3,2	2,89	-	2,56	-	-
13	0,65	3,16	2,8	-	2,5	-	-
14	0,7	2,96	2,57	-	-	-	-
15	0,75	2,85	2,57	-	-	-	-
16	0,8	2,75	2,51	-	-	-	-
17	0,85	2,73	2,2	-	-	-	-
18	0,9	2,63	2,2	-	-	-	-
19	0,95	2,35	2,2	-	-	-	-
20	1		2,2	-	-	-	-

Примітка. «–» – pH розчину такий самий, як попередній

Тобто, при необхідності визначити Cu^{2+} експресним методом, необхідно довести pH розчину до 6 (див. табл. 1). Наприклад, при початковому pH 7,89 у розчин необхідно додати 6 крапель 0,1 н HCl (об'єм 0,30 мл).

Це дозволить значно підвищити ефективність геохімічних пошуків і одночасно зменшити вартість пошукових робіт.

Так як при встановленні локальних ділянок для прогнозуrudопроявів важливо мати критерії розбраковки природних та техногенних аномалій.

Зі всіх природних об'єктів ґрунти урбанізованих територій, як своєрідна буферна система, яка акумулює будь-які хімічні елементи, найбільш точно характеризують антропогенне навантаження та особливості джерел забруднення. Вони відображають процеси забруднення як в минулі, так і в теперішні часи.

Як правило, концентрація елементів більше в тонкозернистих глинистих фракціях ґрунтів, в яких відмічено до 60–80 % загального вмісту мікроелементів, що пов'язано з їх високою сорбційною здатністю [3].

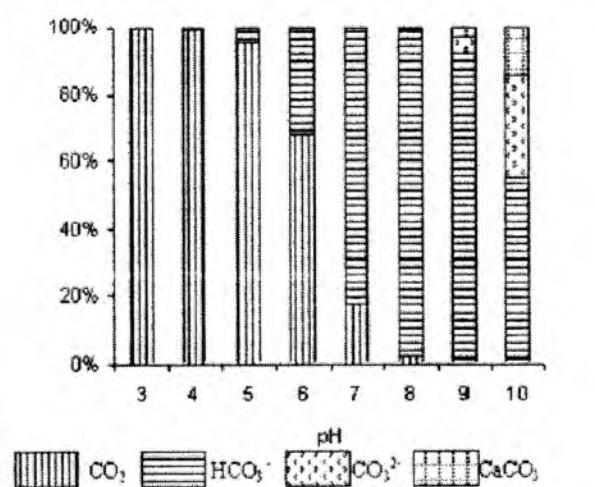
Враховуючи це, при оцінці техногенного забруднення необхідно використовувати разом з ґрутовими кларками і кларками осадових порід місцевий або регіональний фон.

Таблиця 4
Хімічний склад ґрутового розчину

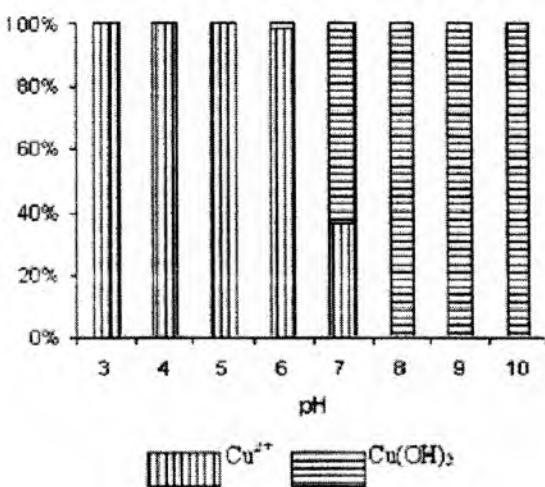
Хімічний елемент	Грутовий розчин, мг/л	
	умовно «чистий»	«техногенно забруднений»
Ca^{2+}	106	160
Mg^{2+}	24	66
Na^+	30	18
HCO_3^-	494	61
SO_4^{2-}	20	560
Cl^-	13	55,4
Mn^{2+}	0,025	7
Fe^{2+}	1,5	0,65
Cd^{2+}	0,001	0,025
Cu^{2+}	0,025	8,7
Zn^{2+}	0,0025	4,6
Pb^{2+}	0,005	0,028

При перетворенні мікроорганізмами органічної речовини частина мікроелементів швидко втрачає з ним зв'язок (літій, стронцій), а важкі метали, навпаки, її зберігають, утворюючи металоорганічні сполуки. Все це приводить до різноманітності форм знаходження елементів в ґрунтах, вивчення яких необхідне при виявленні і оцінці техногенного забруднення.

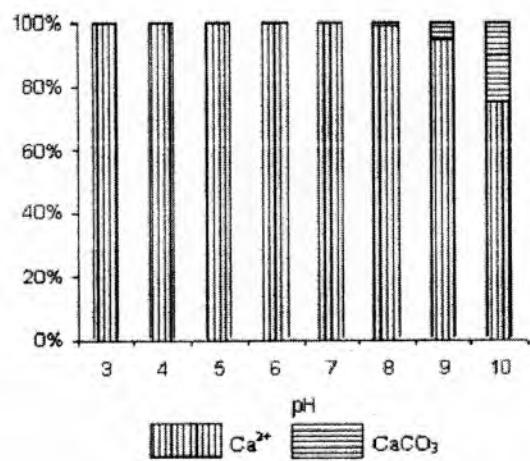
Роль гумусу і глинистих мінералів в ґрутовому покриві полягає в їх іоннообмінній здатності. Гумус може утворювати метало-органічні комплекси, особливо при високих значеннях pH.



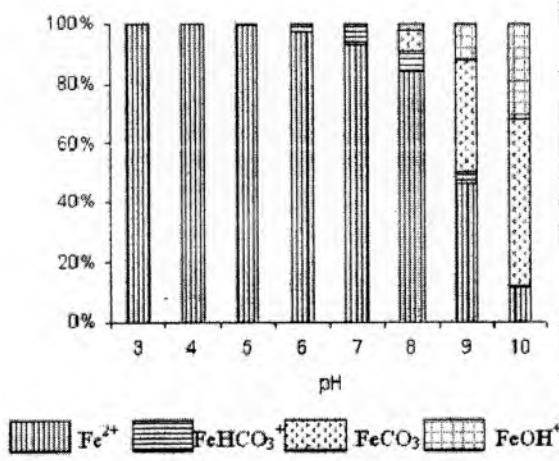
а



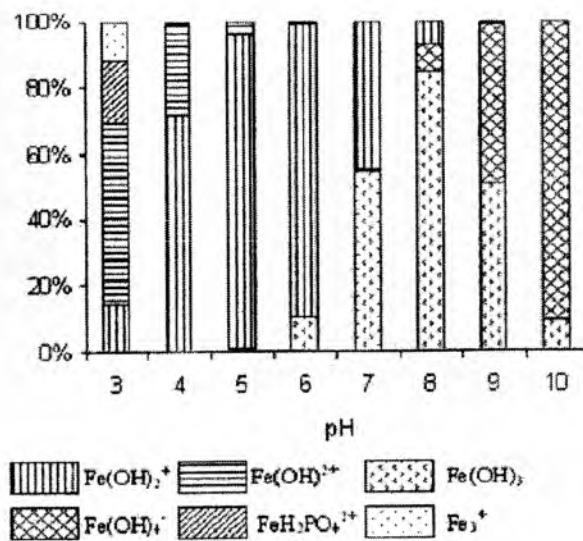
б



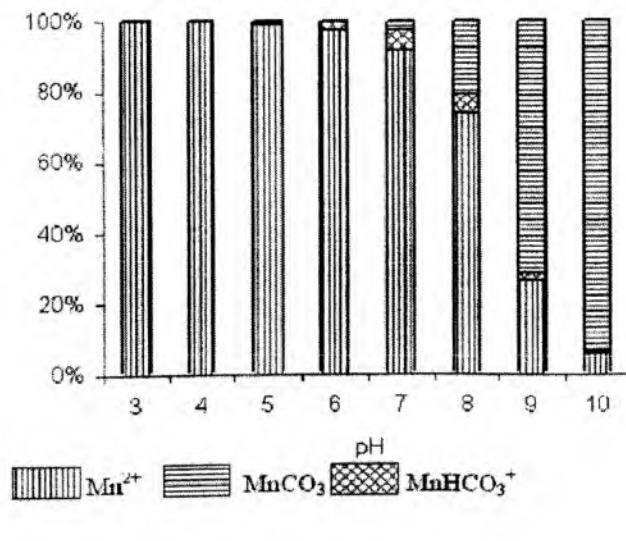
в



г

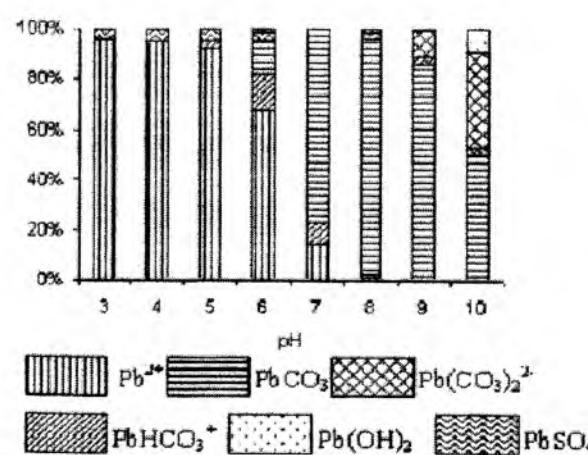


д

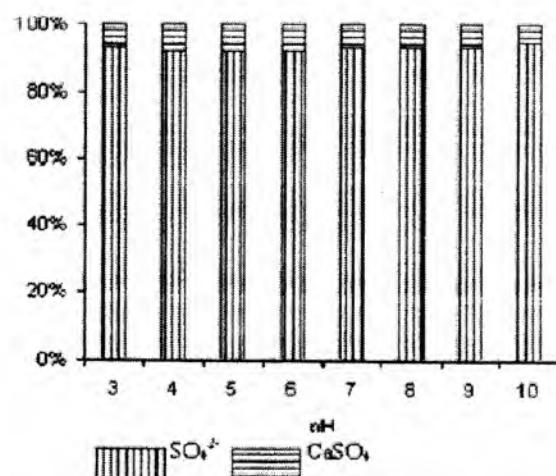


е

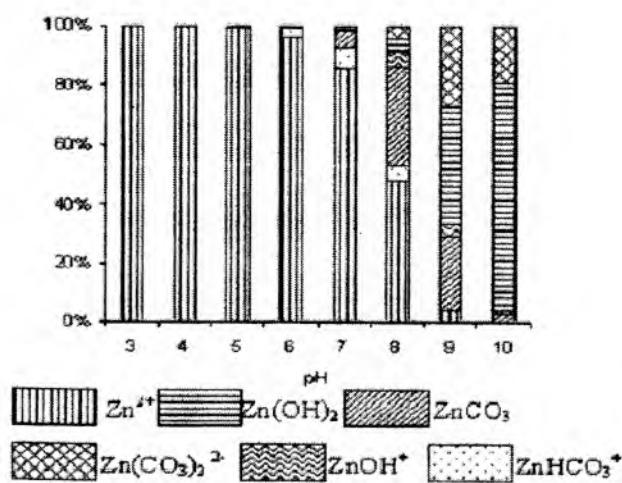
Рис. 1. Розподіл рухомих форм у ґрунтових розчинах при різних pH: а – вуглевислоти, б – міді, в – кальцію, г – заліза (ІІ), д – заліза (ІІІ), е – марганцю



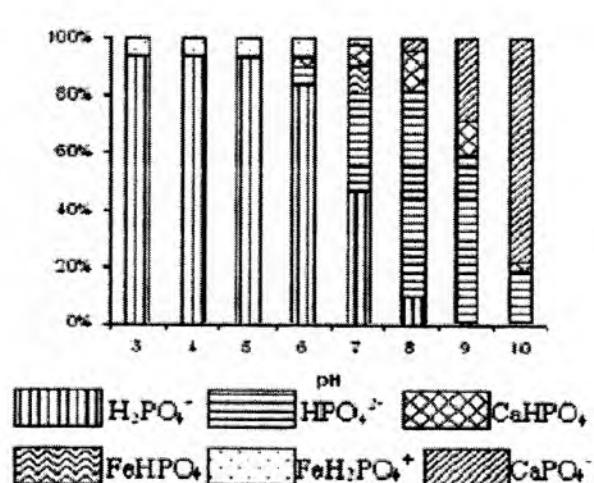
а



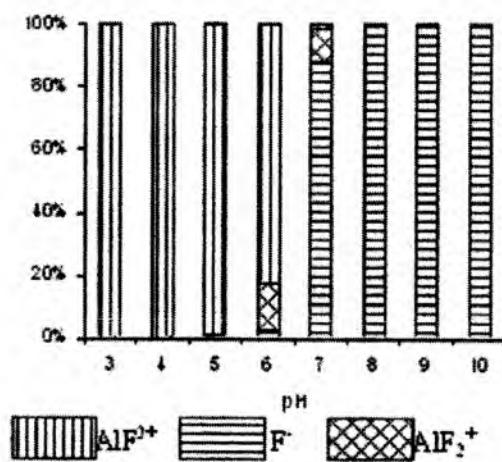
б



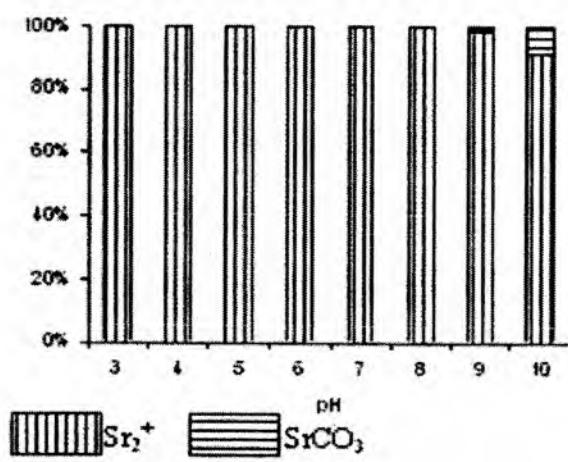
в



г



е



д

Рис. 2. Розподіл рухомих форм у ґрунтових розчинах при різних pH: а – алюмінію, б – бору, в – кадмію, г – барію, д – кремнію

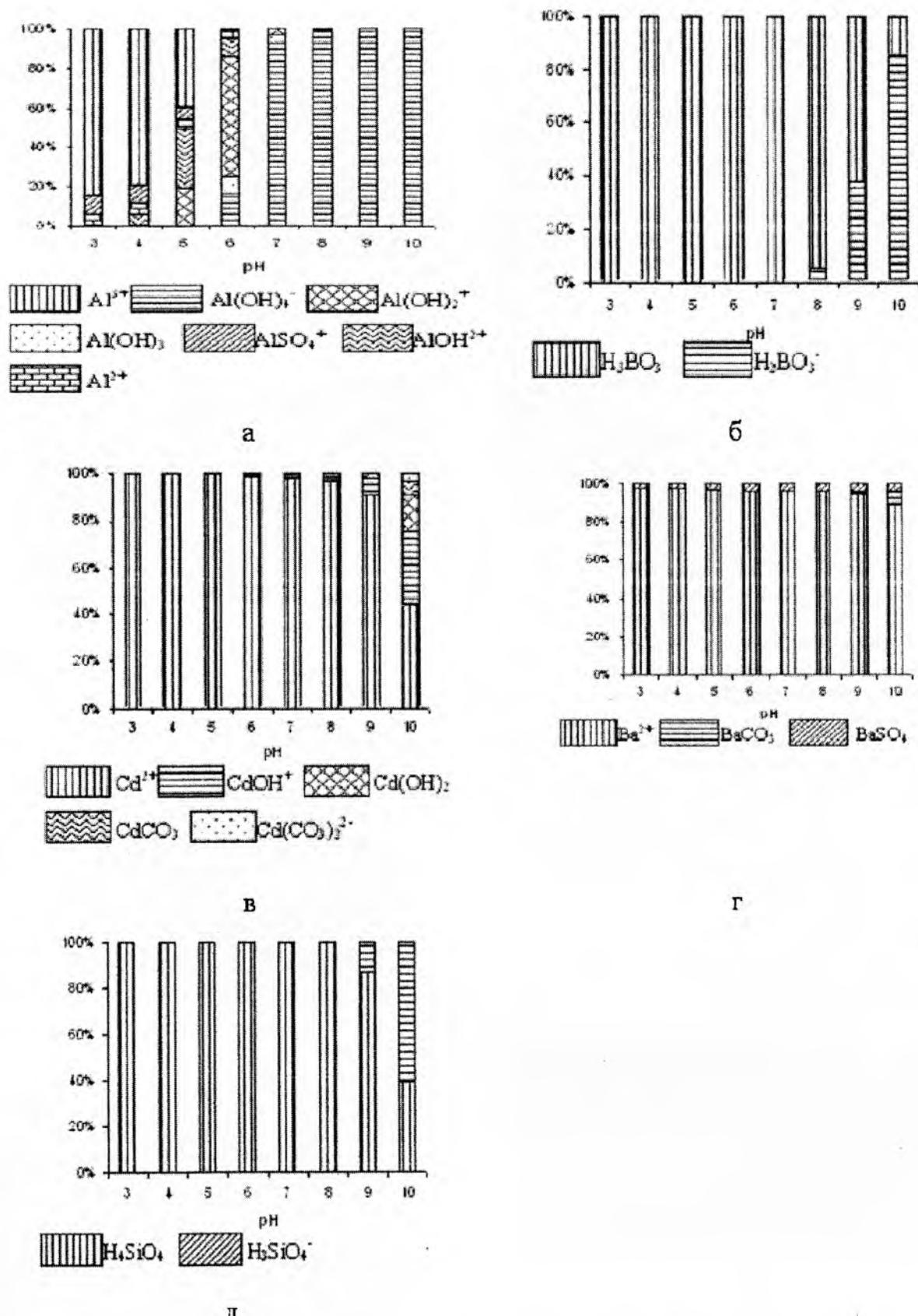


Рис. 3. Розподіл рухомих форм у ґрунтових розчинах при різних pH: а – алюмінію, б – бору, в – кадмію, г – барію, д – кремнію

Велику роль в перерозподілі мікроелементів грає біологічний круговорот, при якому захоплені рослинами мікроелементи повертаються в ґрунт з продуктами опаду. При розкладанні опаду частина легкорухомих елементів, таких, як карбонати лужних і лужноземельних металів, сульфати, фосфати і гуминові комплекси заліза і марганцю, вилуговують з ґрунтового профілю атмосферними водами, а плохі — і нерозчинні комплекси металів, такі, як гидроокисли і ін., залишаються в ґрунті. При цьому йде біогенне збагачення гумусу миш'яком, берилієм, кадмієм, кобальтом, германієм, золотом, свинцем, марганцем, никелем, скандієм, сріблом, оловом, ураном і цинком.

При ґрунтотвірних процесах виникають металоорганічні сполуки, які слабо розчиняються у воді і добре — в кислотах і лугах. При цьому серед специфічних гумусних сполук найважливіше значення мають дві їх групи — фульзові і гуминові кислоти. Фульвати легко вимиваються з ґрунту, тоді як гуминові сполуки погано або зовсім нерозчинні у воді, але добре — в лужних розчинах. В зоді гумінових кислот, наприклад, концентруються ванадій, цинк, кобальт, марганець і хром. Тобто, при проведенні досліджень необхідно визначати не тільки валову кількість металів в ґрунтах, але і їх кількість в металоорганічних сполуках шляхом кислотно-лужних витяжок.

Були проведені розрахунки форм міграції хімічних елементів в ґрунтових розчинах з умовно «чистих» (фонових) ділянок та техногенно забруднених [4, 5]. Для розрахунків було взято проби ґрунтового розчину з території м. Києва, що підлягає техногенному навантаженню, та умовно «чиста» ділянка (рН ґрунтового розчину — 7).

Хімічний склад ґрунтового розчину приведено у табл. 4.

Було побудовано графіки розподілу форм міграції металів (рис. 4–8).

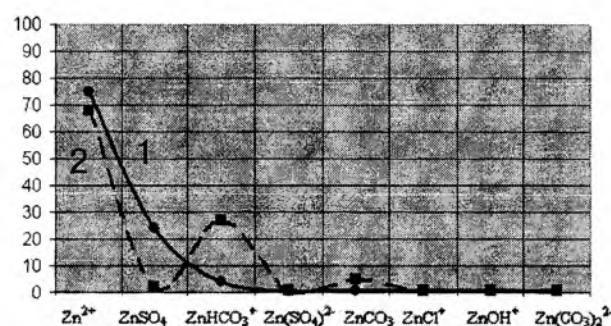


Рис. 4. Розподіл рухомих форм цинку у ґрунтових розчинах. Вісь ординат — % суми молярних концентрацій. Тут і на рис. 5–8: 1 — ґрунтовий розчин на техногенно забрудненої території, 2 — умовно чистий ґрунтовий розчин

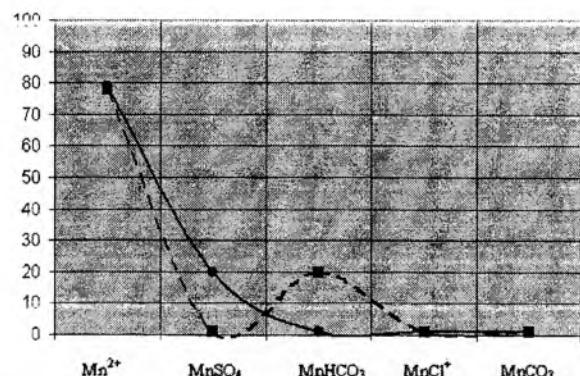


Рис. 5. Розподіл рухомих форм марганцю у ґрунтових розчинах

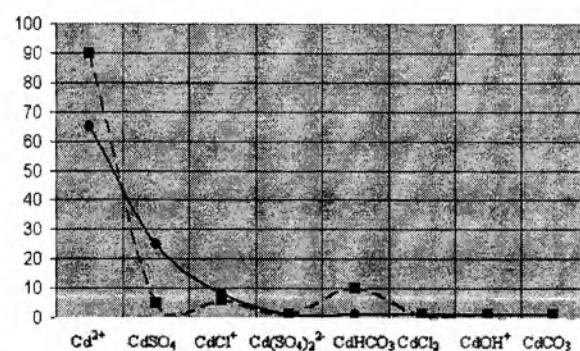


Рис. 6. Розподіл рухомих форм кадмію у ґрунтових розчинах

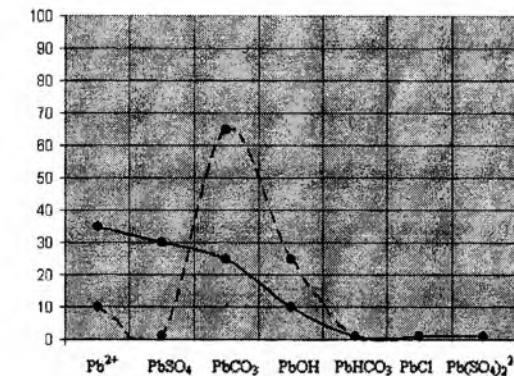


Рис. 7. Розподіл рухомих форм свинцю у ґрунтових розчинах

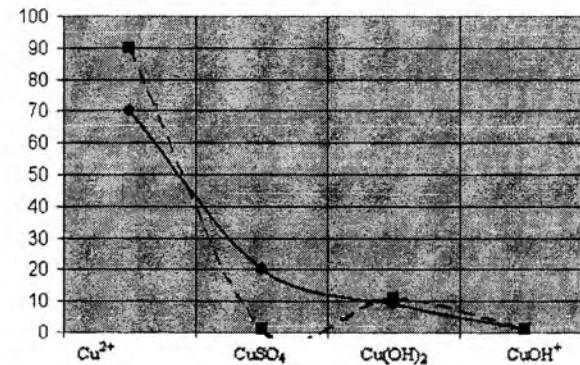


Рис. 8. Розподіл рухомих форм міді у ґрунтових розчинах

У різних розчинах відмінні значення мають $ZnSO_4$ (в умовно чистому ґрутовому розчині його концентрація складає 0–2%, тоді як у техногенно забрудненому близько 25%) та $ZnHCO_3^+$ (тут навпаки, в умовно чистому ґрутовому розчині його концентрація складає близько 30%, тоді як у техногенно забрудненому 4%).

Щодо розподілу марганцю (рис. 5) відмінність у формах мають $MnSO_4$ (в умовно чистому ґрутовому розчині його концентрація складає 20%, тоді як у техногенно забрудненому 0%) та $MnHCO_3^+$ (тут навпаки, в умовно чистому ґрутовому розчині його концентрація складає 20%, тоді як у техногенно забрудненому 0%).

При порівнянні розподілу різних форм кадмію (рис. 6) відмінність у формах мають Cd^{2+} (в умовно чистому ґрутовому розчині його концентрація складає 90%).

Тоді як у техногенно забрудненому близько 65%) $CdSO_4$ (в умовно чистому ґрутовому розчині його концентрація складає 2%, тоді як у техногенно забрудненому близько 30%) та $CdHCO_3$ (незначна відмінність).

Свинець, як відомо може бути індикатором техногенного забруднення. Тому при порівнянні розподілу його різних форм у різних умовах (рис. 7) маємо: форми Pb^{2+} , $PbSO_4$ – переважають в умовно чистому ґрутовому розчині, а $PbCO_3$ та $PbOH$ – у техногенно забрудненому.

При розгляді розподілу різних форм міді в різних умовах (рис. 8) ми бачимо його східність з кадмієм (див. рис. 6).

Загалом, дослідження дозволили встановити: збільшення вмісту сульфатів в хімічному складу води приводить до збільшення вмісту комплексу «важкий метал – сульфат», при цьому вміст іонів металів Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} зменшується.

За графіками (див. рис. 4–8) можна визначити показні коефіцієнти за формами міграції металів (табл. 5).

Таблиця 5

Приклади розрахунків показних коефіцієнтів за формами міграції металів

Zn	Mn	Cd	Pb	Cu
$ZnHCO_3$	$MnHCO_3$	$CdHCO_3$	$PbHCO_3$	$Cu(OH)_2$
$ZnSO_4$	$MnSO_4$	$CdSO_4$	$PbSO_4$	$CuSO_4$
Грутовий розчин техногенно забрудненої ділянки				
$\frac{3,02}{23,56} = 0,12$	$\frac{2,36}{19,68} = 0,11$	$\frac{0,69}{26,31} = 0,02$	$\frac{9,41}{27,89} = 0,33$	$\frac{6,93}{20,72} = 0,33$
Грутовий розчин умовно «чистої» ділянки				
$\frac{26,18}{1,09} = 24,02$	$\frac{21,02}{0,94} = 22,36$	$\frac{8,46}{1,73} = 4,89$	$\frac{24,68}{0,39} = 63,2$	$\frac{9,68}{1,24} = 7,8$

Тобто, можна припустити, що коли відношення $MeHCO_3 / MeSO_4 < 1$, грутовий розчин відноситься до техногенно забруднених ділянок, а при $MeHCO_3 / MeSO_4 > 1$ грутовий розчин можна віднести до умовно «чистої» ділянки.

Тобто, при наявності техногенного забруднення ґрунтів вторинний ореол розподілу забруднюючого елементу буде мати вигляд (рис. 9).

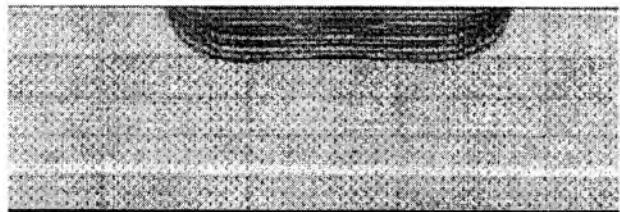


Рис. 9. Морфологія вторинного сольового ореолу розсіювання при техногенному забрудненні ґрунтів

Математична модель утворення вторинних сольових ореолів розсіювання. Так як метою дослідження було визначення вторинних сольових ореолів розсіювання над локальнимиrudoproyavami необхідно було відтворити механізм утворення ореолів.

Механізм утворення ореолів іrudnih тіл. Як відомо, накопичення руд відбувається двояким шляхом: з використанням порожнистого простору, при переважаючому відкладах в тріщинах і в результаті метасоматичного заміщення. Ці два типи відкладів виявляються як самостійно, так і звичайно в поєданні один з одним. Первінні ореоли в обох випадках утворюються шляхом метасоматичного заміщення, закономірно поєднуючись зrudnimi тілами. Рудне тіло і первінний геохімічний ореол складають єдине ціле. Розміри ореолів, так само як іrudnih тіл, залежать від морфогенетичного типу родовищ і конкретних геологічних умов.

Сприятлива для рудоутворення зона земної кори – 5–7 км, умовно може бути підрозділена на три області: область мобілізації металів; область руху розчинів; областьrudokoncentracij [6, 7].

Областьrudokoncentracij, що включає і ореольний простір, можна підрозділити на три зони: зону введення розчинів; дренажну зону, зону виведення. Переміщення металів в областіrudokoncentracij, особливо в її робочій зоні, включаючи і валовий рух rudoутворюючого розчину, здійснюється в результаті поєдання багатьох як взаємозв'язаних, так і незалежних процесів.

Провідною формою перенесення металів є конвективний рух. Стійкі провідники тріщин і пор, хоча і характеризуються змінними в широкому діапазоні значень пористістю і проникністю, є стабільною частиною робочої зони. В той же час в процесахrud – i ореолоутворення не менше значення має також і мобільна система провідників, що складається з тріщин і пор, зникаючих, виникаючих або міняючих місце і характер в ході цих процесів. До

стабільної системи можна застосовувати ті моделі і формули, які звичайно використовуються при розрахунках конвективного масопереносу в капілярно-пористих середовищах.

Вертикальна зональність рудних тіл і ореолів пов'язана із зміною внутрішньої рівноваги рудоутворючого розчину. Перенесення металів в рудоутворюючих розчинах здійснюється у вигляді комплексних сполук, що характеризуються високою розчинністю і стійкістю, а також іншими властивостями, різко відрізняючими їх від колоїдних і простих іонних сполук, на яких звичайно будуються різні термодинамічні розрахунки і робляться висновки..

Зональна послідовність рудовідкладення залишається однаковою в широкому інтервалі температур, тиску і геологічних умов у зв'язку з тим, що осідаючі метали знаходяться в розчині у вигляді комплексів з дуже близькими термодинамічними властивостями. На поверхні від рудного тіла утворюються ореоли розсіювання, на які діють багато факторів, в тому числі кількість річних опадів та pH ґрунтового розчину.

Пошуки рудних родовищ за геохімічними даними стають все більш складними. Переход від пошуків відкритих та неглибоко розташованих рудних тіл до пошуків схованого зруденіння ставить підвищені вимоги до критеріїв виявлення та інтерпретації геохімічних аномалій. Ідентифікація таких критеріїв необхідна практично на всіх стадіях геолого-розвідувальних робіт.

Основи моделювання. Ускладнення пошукових задач призводить до збільшення числа ознак навколорудного середовища, до необхідності врахування різного роду взаємозв'язків цих ознак, просторових закономірностей їх розподілу. Тому доцільно використовувати методи математичного моделювання аномалій вторинних сольових ореолів для визначення перспективності конкретного геологічного об'єкту.

На поточний час використання математичних методів для оцінки перспективності геологічних об'єктів за наявності еталонів родовищ, які описані заданою низкою ознак, головним чином зводиться до застосування методів статистичного моделювання [8]. Їх суть полягає в обчисленні ступеню різниці між об'єктом, що вивчається, та кожним еталоном з наявною низкою описів родовищ різних типів за заданою системою ознак. Мінімальна різниця між об'єктом, що вивчається, та одним з еталонів надає можливість стверджувати про "подібність" даної території до навколорудного середовища певного типу зруденіння за заданою системою ознак.

Виникає ціла низка причин, які обмежують доцільність використання статистичних методів для пошукових цілей. По-перше, досягнення

необхідної надійності результатів статистичного моделювання вимагає розширення класифікаційних ознак для різного типу еталонів і відповідно великих масивів експериментальних даних. По-друге, статистичні методи не надають якісного розуміння взаємодії тих чи інших фізико-хімічних процесів, які відбуваються в навколорудному просторі.

Тому для пошукових цілей доцільно використовувати не статистичні моделі, які кількісно відображають найбільш часто поширені випадки, а детерміновані моделі, які відображають функціональні зв'язки між елементами геохімічної системи на основі фундаментальних законів, що описують поведінку речовини та енергії.

Динаміка геохімічних процесів досліджується на, основі теорії фільтрації, зокрема теорії масообміну при фільтрації і дифузії розчинів в пористих і тріщинуватих середовищах [1]. В існуючих теоріях фільтрації традиційно приймається, що рідина рухається через пористе середовище з швидкістю, яка визначається витратою, віднесеною до одиниці перетину потоку. При цьому, природно, не враховується специфічна структура потоку фільтрації рідини, пов'язана з існуванням в пористому середовищі проточних і застійних зон.

Визначимо спочатку мету та об'єкт математичного моделювання. Мета дослідження полягає у визначені наявності рудного тіла з орієнтовним прогнозом типу, масштабу та розташування на основі обмеженої низки експериментальних даних на основі моделювання геохімічних процесів.

Об'єктом дослідження будемо вважати геохімічне поле, тобто такий різновид геологічних полів, де як ознаки розглядаються показники хімічного складу даного об'єкту. Звичайно хімічний склад надається у вигляді сукупності концентрацій хімічних елементів у даній фазі земної речовини. Сучасний склад геохімічного поля є лише тимчасовою стадією процесів перегрупування хімічних елементів, яка відбувається шляхом міграції. О. Е. Ферсман визначав міграцію як комплекс процесів, які призводять до просторового переміщення хімічного елемента, зі зміною його місця в даній дільниці, з накопиченням або розсіюванням на інших ділянках.

Отримання загальногеологічної інформації щодо морфологічних особливостей будови навколорудного простору за геохімічними даними є обов'язковим і достатньо складним етапом досліджень для побудови пошукових критеріїв. Для виявлення просторових закономірностей розподілу концентрацій хімічних елементів найбільш доцільним є використання методів

математичного дослідження багатовимірного скалярного поля. Застосування відповідного математичного апарату надає можливість отримати найбільш повний опис явищ, які мають непервне розповсюдження у просторі. Постановка задачі математичного моделювання геохімічної міграції викладена була викладена у статті.

Мета чисельного моделювання полягала у встановленні залежності параметрів рудного тіла від параметрів вторинного сольового ореолу.

Для вирішення цієї задачі була розроблена наступна методика: над рудним об'єктом будувався проектний розріз осадової товщі (потужність шарів, коефіцієнт фільтрації, коефіцієнт дифузії осадових порід), а також задавалися діаметр рудного тіла, концентрація рудного елемента на його поверхні та фонова концентрація цього елемента. Окрім того для побудови залежності параметрів рудного тіла від параметрів вторинного сольового ореолу вводилося поняття інтегрального вмісту елемента по площині рудного тіла (рис. 10) та по площині вторинного сольового ореолу (одиниці виміру $m^2 \cdot mg/kg$). Для побудови

залежності параметрів рудного тіла від параметрів вторинного сольового ореолу вводили поняття інтегрального вмісту елемента по площах рудного тіла та вторинного сольового ореолу.

При проведенні моделювання змінюючи діаметр рудного тіла (м) та вміст рудного елемента на поверхні рудного тіла (mg/kg) отримували розрахункові дані — максимальне значення елемента у сольовому ореолі (mg/kg), інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу ($m^2 \cdot mg/kg$) та інтегральний вміст елемента по площині рудного тіла ($m^2 \cdot mg/kg$).

Було проведено розрахунки на ділянках: Пержанска (рудопрояв рідкісноземельно-флюоритового зруденіння), Жданівська (мафіт-ультрамафітовий масив), Селищеанська (скарнові-вольфрамове зруденіння), Східнолиповенська (рудопрояв хрому), Полохівська (рудопрояв петалітів).

Для кожного рудопрояву проведено по 16 обчислювальних експериментів (4 значення діаметру рудного тіла та чотири значення концентрації на його поверхні).

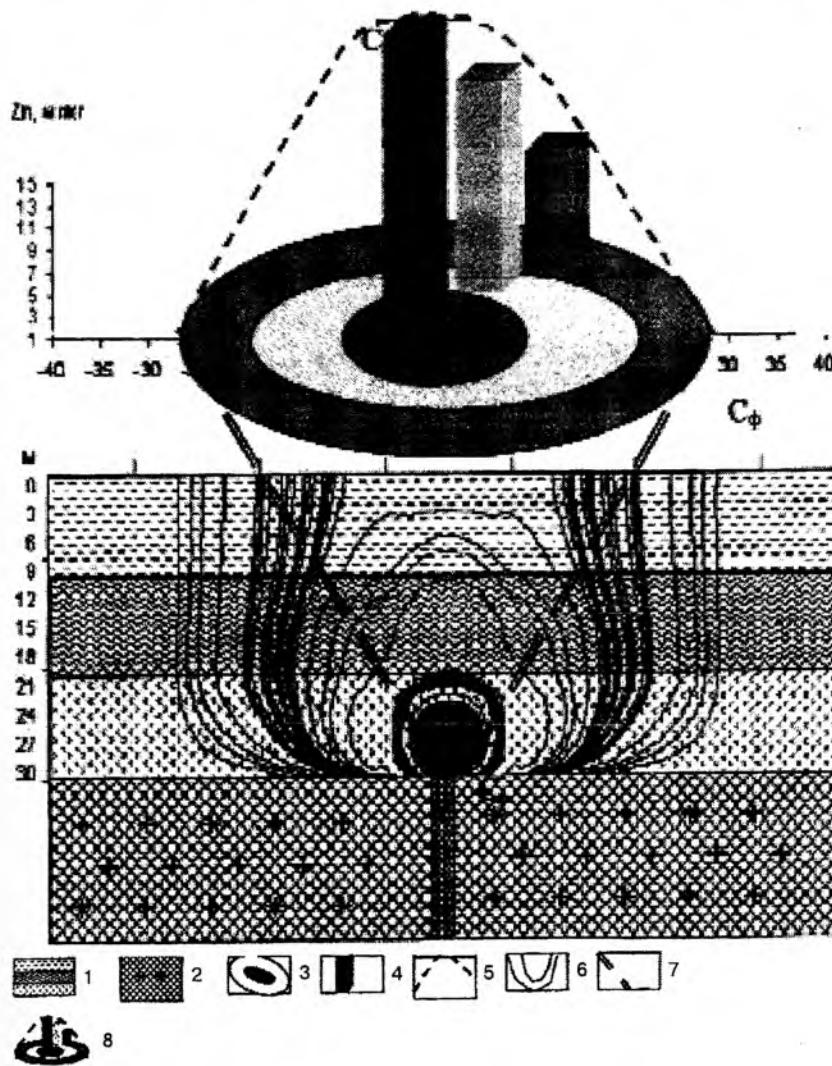


Рис. 10. Схема розрахунку інтегрального вмісту елемента у вторинному сольовому ореолі. 1 – осадові породи, 2 – кристалічні породи, 3 – вторинний сольовий ореол, 4 – вміст елемента у вторинному сольовому ореолі на m^2 , 5 – графік вмісту елемента на площині одиниці поверхні вторинного сольового ореолу, 6 – ізолінії концентрації елемента в розрізі осадових порід, 7 – площинний зв'язок розподілу елемента на рудному тілі та у вторинному сольовому ореолі, 8 – інтегральний вміст елемента у вторинному сольовому ореолі. C_a – аномальна концентрація елемента у вторинному сольовому ореолі (mg/kg), C_f – фонова концентрація елемента у вторинному сольовому ореолі (mg/kg), C_r – концентрація елемента на поверхні рудного тіла, mg/kg .

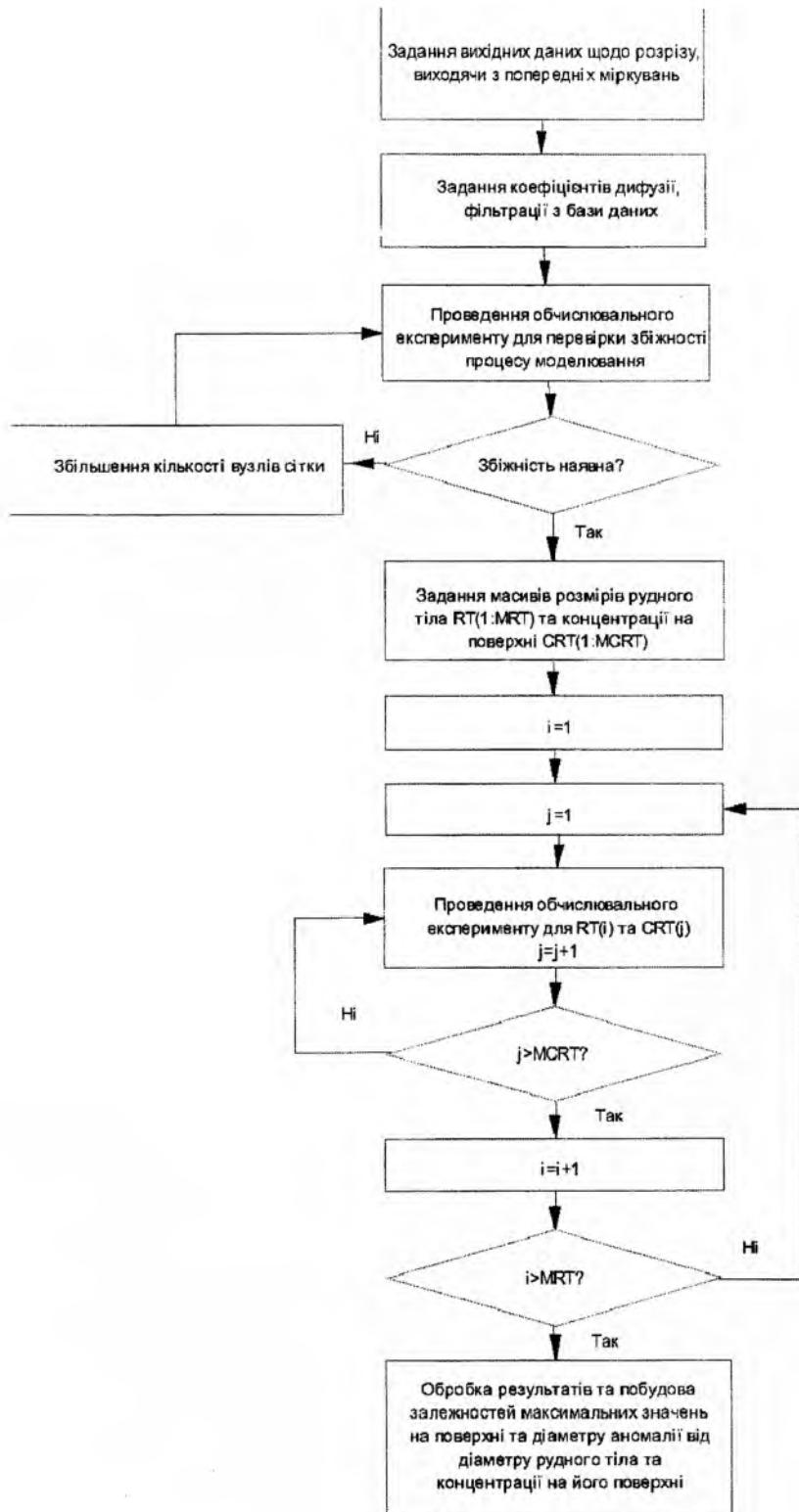


Рис. 11. Схема проведення серії обчислювальних експериментів для вирішення пошукових задач геохімії

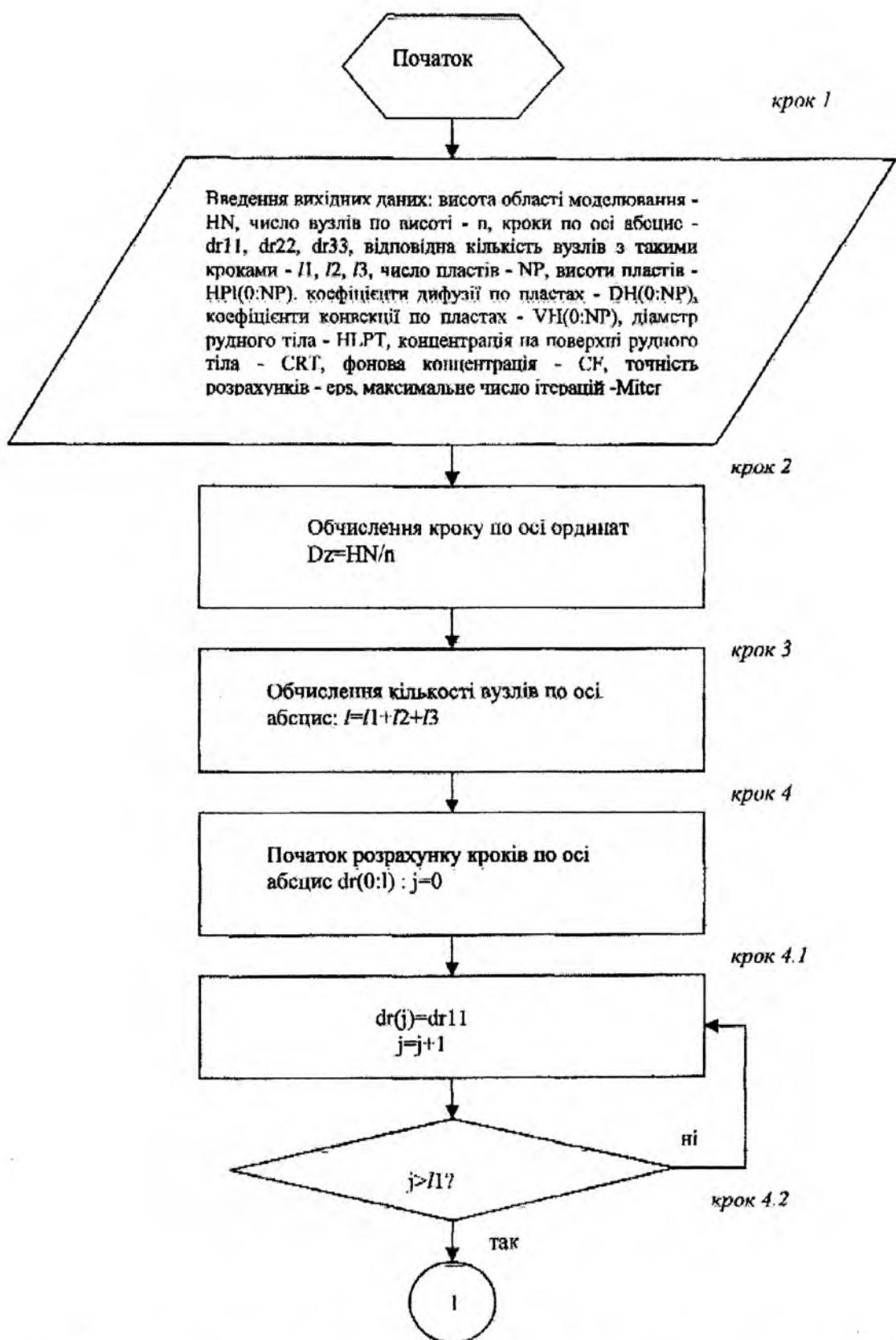
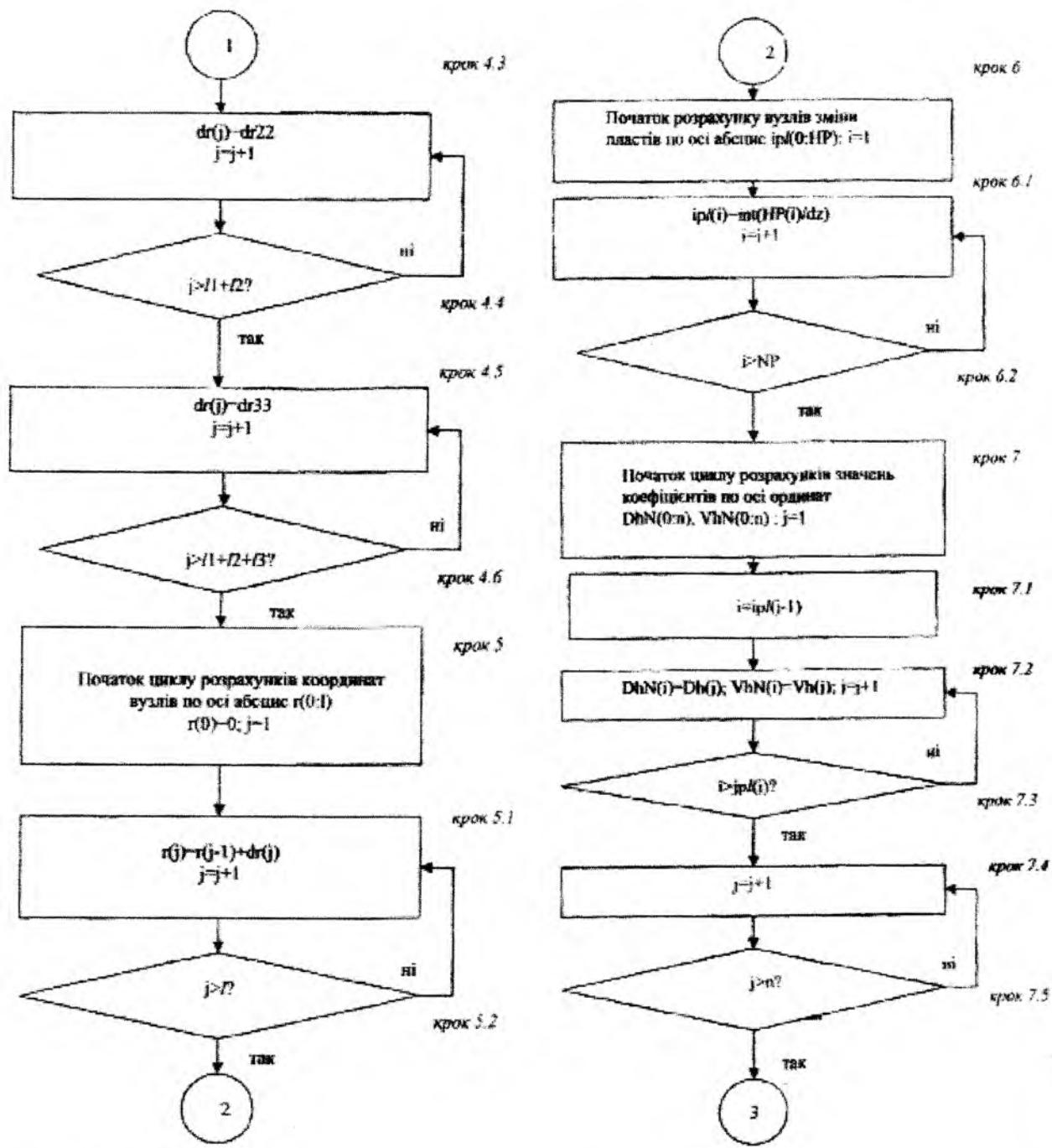


Рис. 12. Блок-схема проведення обчислювального експерименту для конкретного діаметру рудного тіла та концентрації рудного компоненту на ньому



Продовження рис. 12

Для рудного тіла інтегральний вміст елемента по площі рудного тіла визначається за наступною формулою:

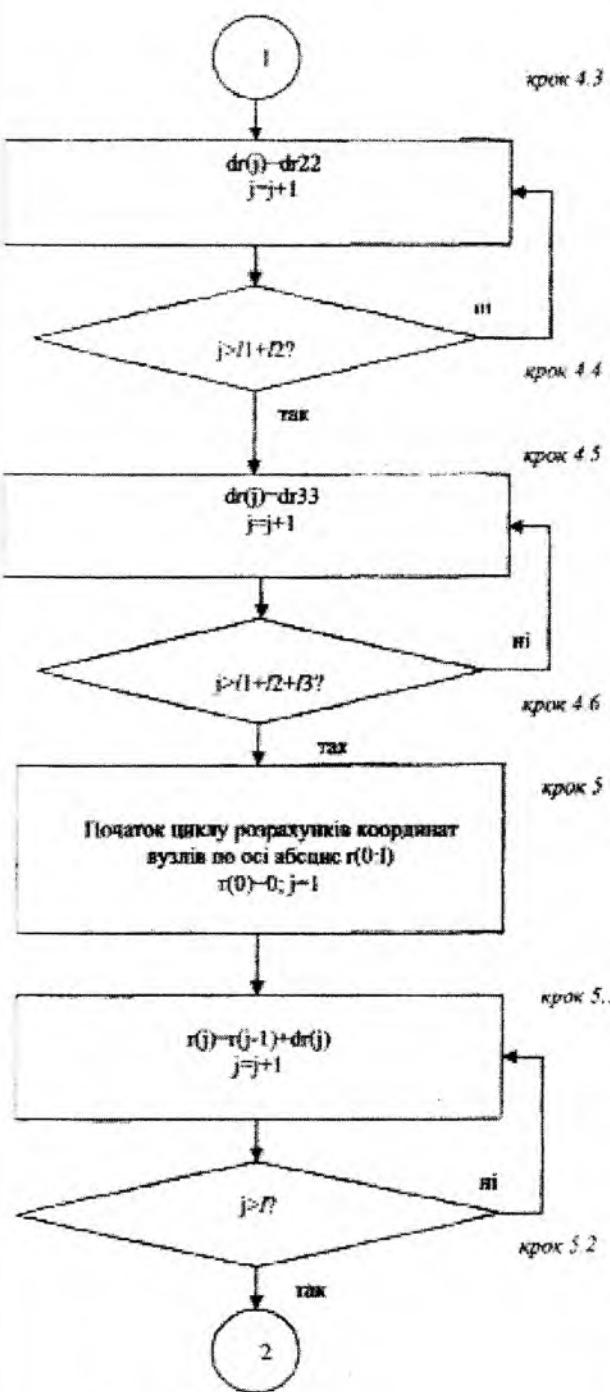
$$CS_p = (C_p - C_\phi) \cdot (\pi \cdot d_p^2 / 4)$$

де CS_p – інтегральний вміст елемента на поверхні рудного тіла ($\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$), d_p – діаметр рудного тіла (м), C_p – концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг), C_ϕ – фонова концентрація (середній вміст елемента в породах різного типу, мг/кг).

Для визначення інтегрального розрахункового вмісту елемента в сольовому ореолі ($\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$) визначають інтеграл по поверхні (при проведенні обчислювальних експериментів):

$$CS_a'' = \int_{S_a} (C_a(s) - C_\phi) \cdot ds,$$

де S_a – площа аномалії вторинного сольового ореолу (м^2), C_a – концентрація елемента в точці s вторинного сольового ореолу (мг/кг).



Продовження рис. 12

В геохімічних дослідженнях приблизне значення інтегрального вмісту елемента у вторинному сольовому ореолі визначається як сума по результатах проведеного геохімічного опробування:

$$CS_a^\phi = \sum_{i=1}^N (C_a^\phi(i) - C_\phi) \cdot L_n \cdot L_m,$$

де CS_a^ϕ – інтегральний фактичний вміст елемента по площі аномалії сольового ореолу

($m^3 \cdot mg/kg$), N – кількість точок геохімічного опробування, C – концентрація в точці i (mg/kg), L_n – відстань між профілями (м), L_m – відстань між точками (м).

Проведення серії обчислювальних експериментів. Для проведення обчислювальних експериментів з ціллю моделювання вторинного сольового ореолу необхідно було виробити однотипну схему.

Схема проведення серії обчислювальних експериментів для вирішення пошукових задач геохімії наведена на рис.11. Блок-схема проведення обчислювального експерименту для конкретного діаметру рудного тіла та концентрації рудного компоненту на ньому наведена на рис. 12.

Проведення обчислювального експерименту для конкретного діаметру рудного тіла та концентрації рудного компоненту на ньому (рис. 2) полягає у наступних кроках:

Крок 1. Введення вихідних даних.

Крок 2. Для обчислення кроку по осі ординат висоту області моделювання (HN) ділимо на число вузлів по осі ординат (n): $dz = HN/n$

Крок 3. Для визначення кількості вузлів по осі абсцис (l) підсумовуємо кількість кроків (l1, l2, l3) з різною довжиною кроків (при видаленні від рудного тіла крок стає більшим – l1 – мінімальний, l2 – більше, і так далі).

Крок 4. Початок циклу розрахунку кроків по осі абсцис dr від 0 до 1 (0:l). Крок 4.1 dr (j) – j – змінна. Маємо 0 вузлів, перша крапка $j = j + 1$.

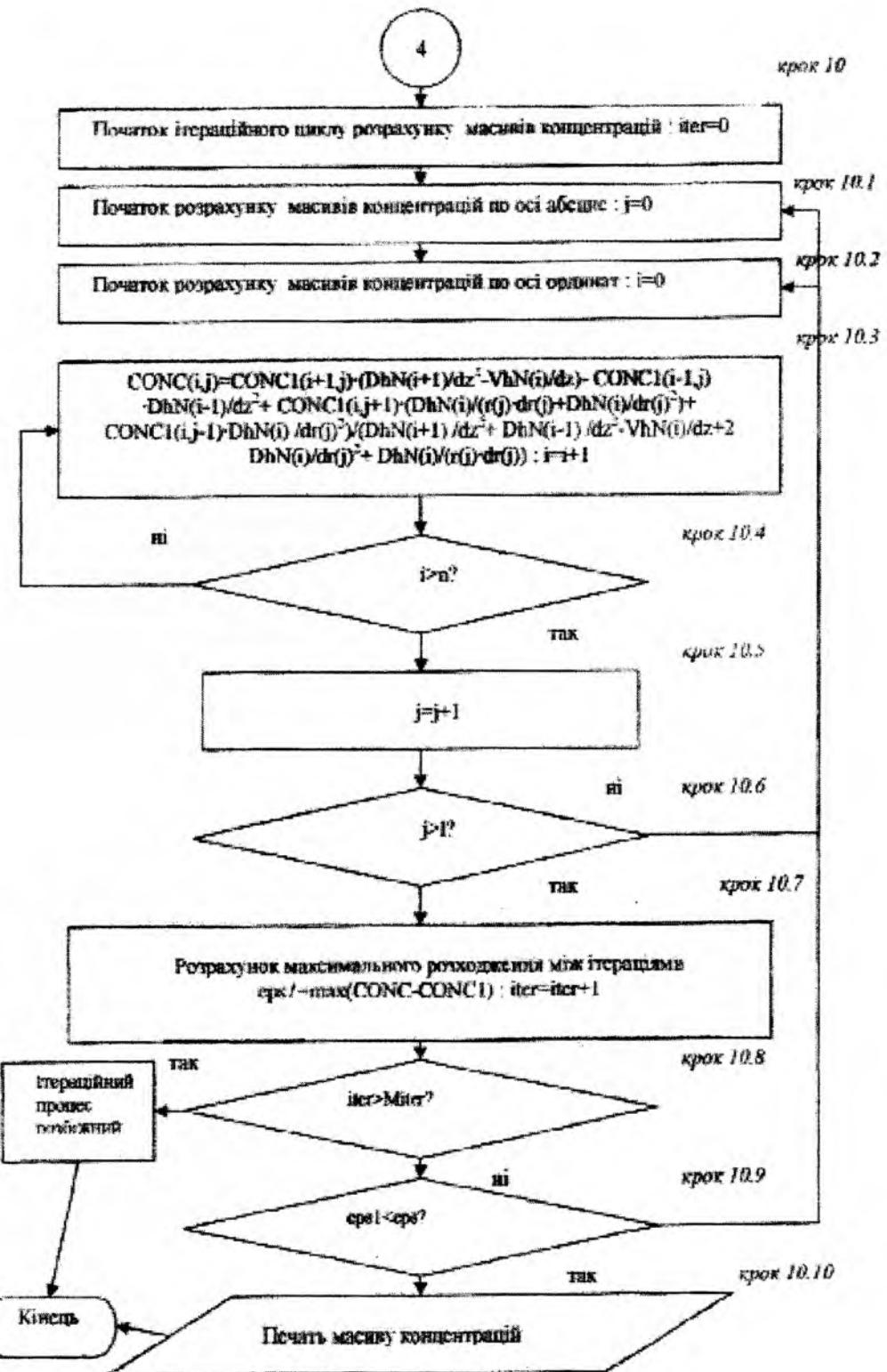
Крок 4.1 – 4.2 зациклені – від 0 до l1 міняється j. Крок 4.3 – 4.4 j міняється від $j + 1$ до $l1 + l2$.

Приклад: Якщо d (діаметр рудного тіла) – 0,5 см, то беремо крок dr(0) – 0,1 м. Для розрахунків – поблизу рудного тіла беремо 30 кроків, потім кроки робимо більше і на достатньому видаленні від рудного тіла закінчуємо кроки на відстані, де вміст елемента є фоновим.

Кроки 4.5, 4.6 – зациклені: j міняється від l1 до $l1 + l2$. Розраховуємо від 0 до 1 все dr (рис. 13).

Крок 5. Початок циклу розрахунків координат вузлів по осі ординат. Приклад – приймемо за «0» – центр рудного тіла, який змінюється від 0 до l (0:l); початок розрахунку $r(0) = 0$, $r(1) = r(0) + dr$. Кроки 5.1 – 5.2 зациклені. Крок 5.1: $r(j)$, j – номер вузла. Проводимо розрахунок – попередній радіус $r(j-1) + dr(j)$; $j = j + 1$ (вважаємо від 0 до l). Крок 5.2. Кінцеве значення $j > l$? Якщо так – проводимо розрахунок далі, немас – повертаємося до кроку 5.1

Крок 6. Початок розрахунку вузлів зміни пластів по осі ординат ipl(0:HP), початок $i = 1$ (рис.14).



Закінчення рис. 12

Зная висоти пластів (H), необхідно отримати номер вузла, де відбувається зміна пласта (ipl). Зміни від 0 до числа пластів (i – індекс циклу). Крок 6.1 ipl(i) – початок розрахунків нового пласта (i – змінна, від 0 до

кількості пластів). Крок 6.2. Якщо i > NP (числа пластів), то виходимо з циклу, якщо немає – повертаємося до кроку 6.1.

Крок 7. цикл. Початок циклу розрахунків значень коефіцієнтів по осі ординат (по висоті

пластів). будуємо масиви для коефіцієнтів від 0 до n. Задаємо перший коефіцієнт від ipl(0) до ipl(1), потім інший від ipl(1) до ipl(2), і так далі. Задаємо DhN (коефіцієнт дифузії); VhN (коефіцієнт конвекції) від 0 до n (числа вузлів, приблизно їх кількість – 80–100), j – змінна, яка відповідає числу пластів.

Крок 7.1. i = ipl(j-1): від 0 вузла (ipl(0)) до 1 вузла (ipl(1)) задаємо коефіцієнти, потім від 1 до 2 вузла і так далі. Крок 7.2. Значення j – від 0 до числа пластів, i – від 0 до n вузлів (приблизно 80 вузлів). Крок 7.3. Якщо розрахунки більші за 1, то переходимо до слідуючого пласта. Крок 7.4 Розраховуємо j=j+1 (від 0 до числа пластів). Крок 7.5. Чи закінчилися пласти – j>n? Якщо так, переходимо до наступного кроку. Крок 8. Двовимірний масив. Початок циклу – завдання початкових умов для масивів концентрацій. Крок 8.2 i=0. Крок 8.3. Завдання фонових концентрацій. Кроки 8.4, 8.5, 8.6 – виконуємо умови.

Крок 9. Початок циклу завдання концентрацій на поверхні рудного тіла. Крок 9.1 Завдання концентрацій від 0 до подальших значень. Крок 9.2 Скільки вузлів потрапляє на рудне тіло?

Крок 10. Початок ітераційного циклу розрахунку масиву концентрацій. Якщо число ітерацій перевищить максимально задане, то видається повідомлення, що ітераційний процес розходиться, тобто кінець роботи програми; або різниця між двома ітераціями стане менше заданого числа точності (eps) то процес зійшовся і кінець розрахунку. Заносимо масив концентрацій у файл. Крохи 10.1, 10.2 – для кожного вузла проводимо розрахунок. Крок 10.3. Виводимо з рівняння методом кінцевих різниць у вузлах сітки. Крохи 10.4, 10.5, 10.6 – проводимо розрахунки. Крок 10.7. Розрахунок максимальної розбіжності між ітераціями. Завдання нового значення концентрацій. Крохи 10.8, 10.9 – розрахунок циклу. Крок 10.10. Занесення розрахунків по масиву концентрацій у файл. Крок 10.11. Кінець.

При комп'ютерній обробці даних розв'язок рівняння (3) проводиться за методом кінцевих різниць і реалізований в середовищі Liberty BASIC v4.03. Графічне відображення отриманих результатів реалізовано в середовищі SURFER7. Тому для проведення обчислювальних експериментів необхідно встановити на ПК ці дві програми.

Папка з програмою Raschet, входним (input.txt) та вихідними файлами (output.txt, conc.txt, conc1.txt) називається Solution. Спочатку необхідно сформувати текстовий файл input.txt з вихідними даними. Цей файл має чітко визначену структуру, представлену нижче

Вхідний файл для початку розрахунків

Кількість вузлів по радіальній осі – 80

Кількість вузлів по вертикальні осі – 60
Розмір області по вертикальній осі, м – 20
Кроки по радіальній осі, м – 0.25; 1,0; 20
Кількість кроків по радіальній осі – 32; 18; 10
Кількість пластів – 4

Висоти пластів, м – 0; 5,0; 12,0; 17,0; 20,0
Коефіцієнт дифузії по пластах по висоті, м²/добу – 0; 5 . 10 – 8; 3 . 10 – 7; 8 . 10 – 5; 2 . 10 – 8

Коефіцієнт фільтрації по пластах по висоті, м/добу – 0; 0,01; 2,0, 30,0; 0,03
Діаметр рудного тіла, м – 1

Концентрація на поверхні рудного тіла, мг/кг – 300000

Фонова концентрація у вторинному ореолі, мг/кг – 20

Аномальна концентрація у вторинному ореолі, мг/кг – 50

Точність – 0,00001

Максимальна кількість ітерацій – 1000

Потім запускається програма Liberty BASIC v4.03. Далі необхідно відкрити програму розрахунків з допомогою пункту File з головного меню і почати розрахунки.

Результати серії обчислювальних експериментів зафіксовані в таблицях. Графічне відображення отриманих результатів реалізовано в середовищі SURFER7. В результаті чого були побудовані ізолінії концентрацій рудного елемента по всьому геохімічному полю.

Моделювання сольових ореолів при локальному прогнозуванні та пошуках корисних копалин. Оскільки сольові ореоли розсіяння хімічних елементів фіксуються у осадових породах чи ґрунтах необхідно мати інформацію про розріз осадової товщі. Зараз вся територія України картована і розріз осадової товщі на будь-який ділянці можливо знати по картам.

Також, існує інформація різних дослідників про вміст хімічних елементів у кристалічному фундаменті та в породах осадового чохла (вміст валових та рухомих форм).

Для спрощення проведення моделювання за даними попередніх дослідників було зроблено районування УЦ (рис. 15) за типовими геологічними колонками [9, 10] (рис.16).

При складанні вхідного файла для математичного моделювання необхідно дані коефіцієнта фільтрації та коефіцієнта дифузії. В таблиці 6 приведені розрахунки, які визначено в лабораторії відділу пошукової та екологічної геохімії для території УЦ, а також коефіцієнти дифузії.

Математичне моделювання було проведено на ділянках: Жданівський масив, Східно-Липовенський рудопрояв, Селищанський рудопрояв, Полохівський пудопрояв, Пержанський рудопрояв.

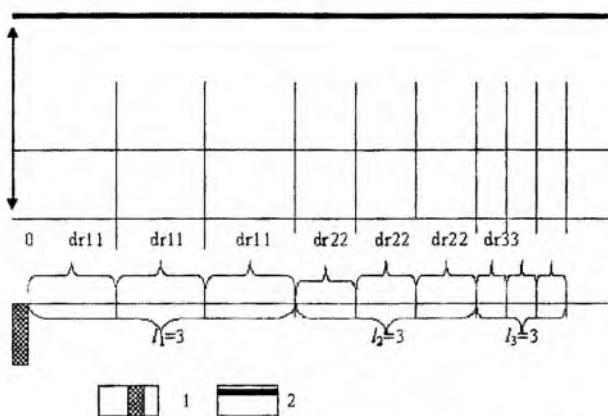


Рис. 13. Приклад розрахунку вузлів по осі абсцис (різні відстані від від рудного тіла). 1 – рудне тіло, 2 – земна поверхня

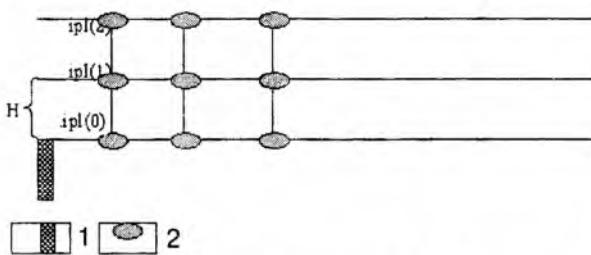


Рис. 14. Приклад розрахунку по осі ординат. 1 – рудне тіло, 2 – вузли перетину

На кожній ділянці було проведено 16 експериментів. Діаметр рудного тіла (м) та концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг) – величини, що змінювалися; розрахункові величини – інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу ($m^2 \cdot mg/kg$), інтегральний вміст елемента по площині рудного тіла ($m^2 \cdot mg/kg$), максимальне значення у вторинному сольовому ореолі (мг/кг).

При проведенні моделювання необхідно враховувати і тип ґрунту (коли його потужність перевищує 0,5 м).

Наприклад, район 1 (північ УЩ) – приблизно 20,0 м пісків різнозернистих, суглинків (нижче кристалічні породи). Ґрунти представлені дерново-підзолистими глеюватими і глайовими (див. рис. 16); pH ґрунтів 4 – 4,3; ґрунти малопотужні. З таблиці 6 визначаємо параметри осадової товщі вводимо у програму.

При проведенні моделювання: 1 пласт осадових порід – піски разнозернисті (Кф – 12,0 м/добу, Kd – 5 · 10⁻⁶ м²/добу).

Кожний з експериментів обробляється наступним чином: будувалися ізолінії концентрацій по всьому геохімічному полю; будувався графік концентрацій на поверхні. Потім результати 16 експериментів оброблялися в комплексі.

Жданівська ділянка. Геологічна будова Жданівського мафіт-ультрамафітового масиву та

геохімічні дослідження, проведені на цій ділянці описані у статті [14]. Було визначено кореляційний зв'язок Ni – F – Со у первинних та вторинних ореолах та встановлено, що елементом – індикатором ультрабазитів є Ni.

При моделюванні утворення вторинного сольового ореолу в програму LIBERTY BASIC було введено вхідні дані: розріз осадової товщі – пісок середньозернистий (потужність пласта 9,0 м, Кф (коєфіцієнт фільтрації) – 5,0 м/добу), глини з прошарками пісків (потужність пласта 9,5 м, Кф – 1,0 м/добу), глини строкаті ділянками запісані (потужність пласта 9,0 м, Кф – 0,5 м/добу).

Тобто, модельна товща має 3 пласти, різної потужності з різними коєфіцієнтами фільтрації та дифузії. Попередніми роботами встановлено, що фоновий вміст Ni у вторинному сольовому ореолі – 1,2 мг/кг, аномальний – 5,2 мг/кг; діаметр рудного тіла – 5,0 м, концентрація рудного елемента на його поверхні – 1000,0 мг/кг.

При моделюванні робиться припущення, що глибина залягання рудного тіла 27,5 м, а вміст Ni на поверхні рудного тіла змінний, мг/кг: у першому випадку 1000,0; у другому – 5000,0; у третьому – 10000,0; у четвертому – 15000,0.

Змінюючи діаметр рудного тіла для кожного з випадків, м: 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; проводимо низку розрахунків, в результаті чого одержуємо – макросимальний вміст Ni у сольовому ореолі ($m^2 \cdot mg/kg$), інтегральний вміст Ni по площині рудного тіла ($m^2 \cdot mg/kg$) та інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу ($m^2 \cdot mg/kg$). Результати серії обчислювальних експериментів (16 експериментів) наведені в табл. 7.

Результати моделювання вторинного сольового ореолу при діаметрі рудного тіла – 1 м, концентрації на поверхні рудного тіла (Ni, мг/кг): а – 1000,0; б – 5000,0; в – 10000,0; г – 15000,0 приведені на рис. 17 (всі ореоли відкриті, тут переважає капілярний підйом).

При концентрації рудного тіла 1000,0 мг/кг (див. рис. 17 а) максимальний вміст у вторинному ореолі – 1,4 мг/кг, тобто перевищення над фоновим мінімальним – 0,2 мг/кг, при концентрації рудного тіла 5000,0 мг/кг (див. рис. 17 б) максимальний вміст у вторинному ореолі – 2,3 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 1,1 мг/кг, при концентрації рудного тіла 10000,0 мг/кг (див. рис. 17 в) максимальний вміст у вторинному ореолі – 3,4 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 2,2 мг/кг; при концентрації рудного тіла 15000,0 мг/кг (див. рис. 17 г) максимальний вміст у вторинному ореолі – 4,5 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 3,3 мг/кг.

На рис. 17 в і г показано, що при концентрації рудного елемента на поверхні рудного тіла 10000,0 та 15000,0 мг/кг у товщі глин

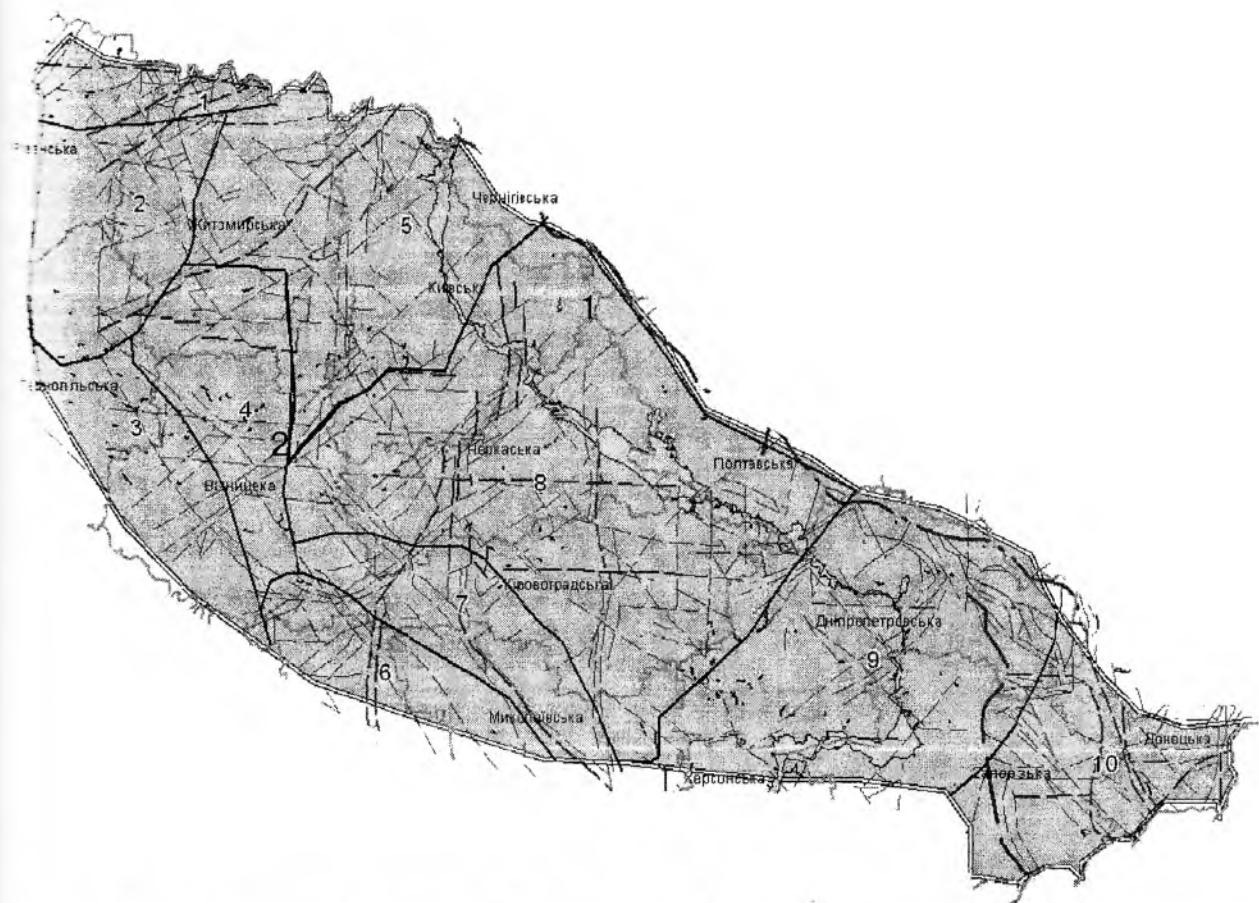


Рис. 15. Районування території УЦ за геологічними колонками. 1 – граници між адміністративними областями, 2 – граници між різними схематичними геологічними колонками

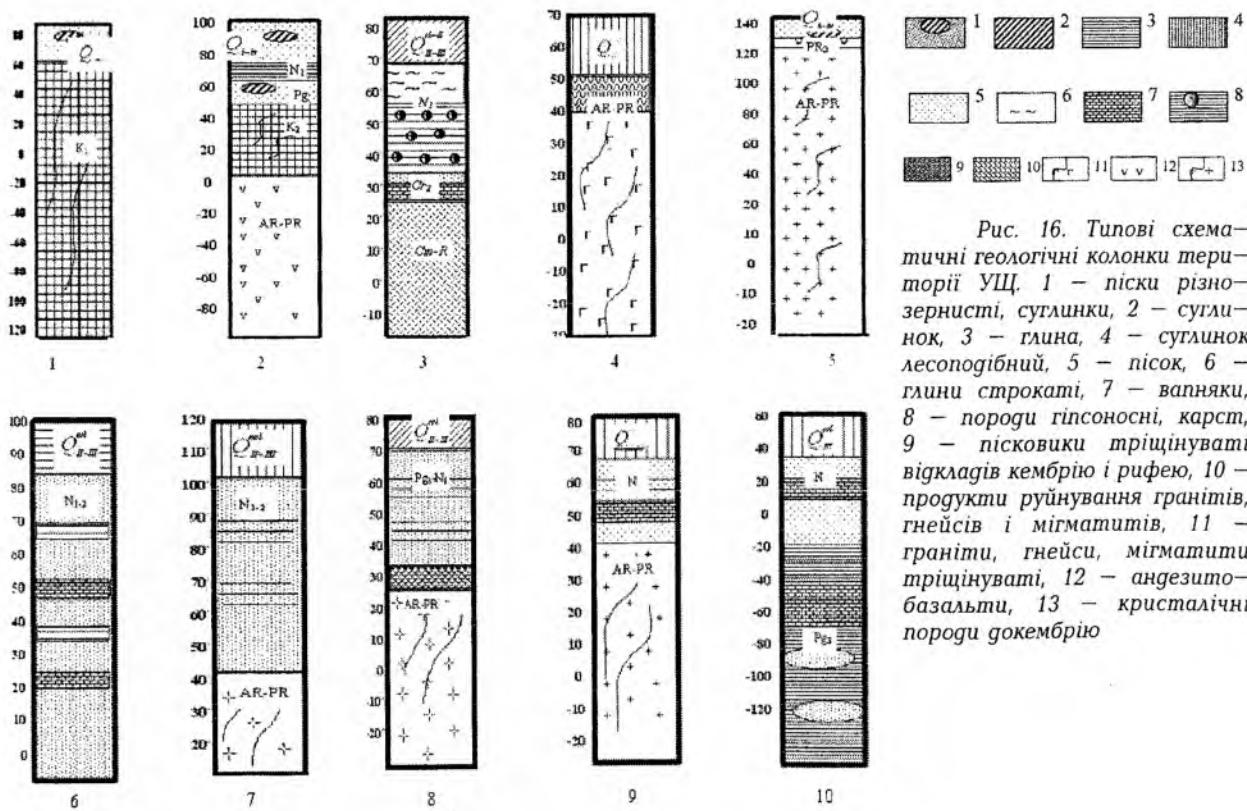


Рис. 16. Типові схематичні геологічні колонки території УЦ. 1 – піски різно-зернисті, сутлиники, 2 – суглинок, 3 – глина, 4 – суглинок лесоподібний, 5 – пісок, 6 – глини строкаті, 7 – вапняки, 8 – породи гіпсоносні, карст, 9 – пісковики тріщінуваті відкладів кембрію і рифею, 10 – продукти руйнування гранітів, гнейсів і мігматитів, 11 – граніти, гнейси, мігматити тріщінуваті, 12 – андезитобазальти, 13 – кристалічні породи докембрію

Таблиця 6

Параметри осадових порід для виконання пошукового моделювання для території УЩ

Літологія порід	Кф, м/добу [9, 11, 13 та ін.]	Кф, м/добу (за експериментальними даними УЩ)	Kd, м ² /добу [9, 11, 13 та ін.]
Пісок:			
Пилуватий	0,01 – 1	0,03	3·10 ⁻⁷
Дрібнозернистий	1,0 – 5,0	3	5·10 ⁻⁶
Середньозернистий	5,0 – 20,0	12	1·10 ⁻⁶
Крупнозернистий	2,0 – 50	25	1·10 ⁻⁷
Супісъ	0,1 – 1,2	0,7	5·10 ⁻⁸
Суглинок			
легкий суглинок	0,4 - 1,5	1,2	4·10 ⁻⁷
важкий суглинок	0,05 - 0,25	0,1	8·10 ⁻⁸
моренний суглинок (материнська основа)	0,01 – 0,05	0,03	2·10 ⁻⁸
Валняки	20,0 – 150,0	80	8·10 ⁻⁵
Глина	0,01 - 0,04	0,02	1·10 ⁻⁸
Водно-льодникові відклади – гравій, пісок, пилуваті і глинисті частинки	2,2-12,2	7	8·10 ⁻⁶
Аргиліти, алевроліти	0,11 – 0,48	0,3	3·10 ⁻⁸
Галечник			
середній	100,0 - 500,0	300	1·10 ⁻⁴
дрібний	35,0 – 107,0	70	1·10 ⁻⁵
крупний, без наповнювача	500,0 – 1000,0	700	1·10 ⁻³
Тріщінуваті криталічні породи	30,0 – 40,0	40	5·10 ⁻⁵

Таблиця 7

Результати розрахунків по 16 експериментах (Жданівська ділянка)

№ експеримента	Інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу, м ² ·мг/кг	Інтегральний вміст елемента по площині рудного тіла, м ² ·мг/кг	Максимальне значення вмісту елемента у сольовому ореолі, мг/кг	Діаметр рудного тіла, м	Вміст елемента на поверхні рудного тіла, мг/кг
1	1562	784,1	1,4	1	1000
2	1671,1	3136,2	1,9	2	1000
3	9392,9	19601,5	5,2	5	1000
4	38423,3	78405,8	16,7	10	1000
5	2497,9	3924,1	2,3	1	5000
6	8355,4	15696,2	4,8	2	5000
7	46964,9	98101,5	21,2	5	5000
8	192118,5	392405,8	78,7	10	5000
9	4995,9	7849,1	3,4	1	10000
10	16710,9	31396,2	8,4	2	10000
11	93930	196226,5	41,2	5	10000
12	384237,4	784905,8	156,3	10	10000
13	7493,8	11774,1	4,5	1	15000
14	25066,4	47096,2	12	2	15000
15	140895,1	294351,5	61,2	5	15000
16	576356,4	1177405,8	233,8	10	15000

з прошарками пісків та у піску середньозернистому (де Кф вищий, за глини) має вплив дифузія, внаслідок чого діаметр вторинного сольового ореолу має істотно більший розмір.

Результати моделювання вторинного сольового ореолу при діаметрі рудного тіла – 2,0 м і концентрації на поверхні рудного тіла (Ni, мг/кг): а – 1000,0; б – 5000,0; в – 10000,0; г – 15000,0 приведені на рис. 18.

При концентрації рудного тіла 1000 мг/кг (див. рис. 18 а) максимальний вміст у вторинному ореолі – 1,9 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 0,7 мг/кг; при концентрації рудного тіла 5000 мг/кг (див. рис. 18 б) максимальний вміст у вторинному ореолі – 4,8 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 3,6 мг/кг; при концентрації рудного тіла 10000 мг/кг (див. рис. 18 в) максимальний вміст у вторинному ореолі – 8,4

кг, тобто перевищення над фоновим – 7,6 мг/кг; при концентрації рудного тіла 15000 мг/кг (див. рис. 18 г) максимальний вміст у вторинному ореолі – 12,0 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 10,8 мг/кг.

Розповсюдження рудного елемента в різних осадових товщах при діаметрі рудного тіла 2,0 м аналогічно, коли діаметр рудного тіла складає 1,0 м.

Результати моделювання вторинного сольового ореолу при діаметрі рудного тіла – 5,0 м і концентрації на поверхні рудного тіла (Ni , мг/кг): а – 1000,0; б – 5000,0; в – 10000,0; г – 15000,0 приведені на рис. 19.

При концентрації рудного тіла 1000,0 мг/кг (див. рис. 19 а) максимальний вміст у вторинному ореолі – 5,2 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 4,0 мг/кг; при концентрації рудного тіла 5000,0 мг/кг (див. рис. 19 б) максимальний вміст у вторинному ореолі – 21,2 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 20,0 мг/кг; при концентрації рудного тіла 10000,0 мг/кг (див. рис. 19 в) максимальний вміст у вторинному ореолі –

41,2 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 40,0 мг/кг; при концентрації рудного тіла 15000,0 мг/кг (див. рис. 19 г) максимальний вміст у вторинному ореолі – 61,2 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 60,0 мг/кг.

Розповсюдження рудного елемента в різних осадових товщах при діаметрі рудного тіла 5 м (рис. 19): при концентрації рудного елемента на поверхні рудного тіла, мг/кг: 5000,0 (див. рис. 19 б), 10000,0 (див. рис. 19 в), 15000,0 (див. рис. 19 г) має істотний вплив на діаметр вторинного сольового ореолу. Тобто, в породах з пішаною складовою дифузія стає більшою, що і має вплив.

Результати моделювання вторинного сольового ореолу при діаметрі рудного тіла – 10 м і концентрації на поверхні рудного тіла (Ni , мг/кг): а – 1000,0; б – 5000,0; в – 10000,0; г – 15000,0 приведені на рис. 20.

При концентрації рудного тіла 1000 мг/кг (див. рис. 20 а) максимальний вміст у вторинному ореолі – 16,7 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 15,5 мг/кг; при концентрації рудного

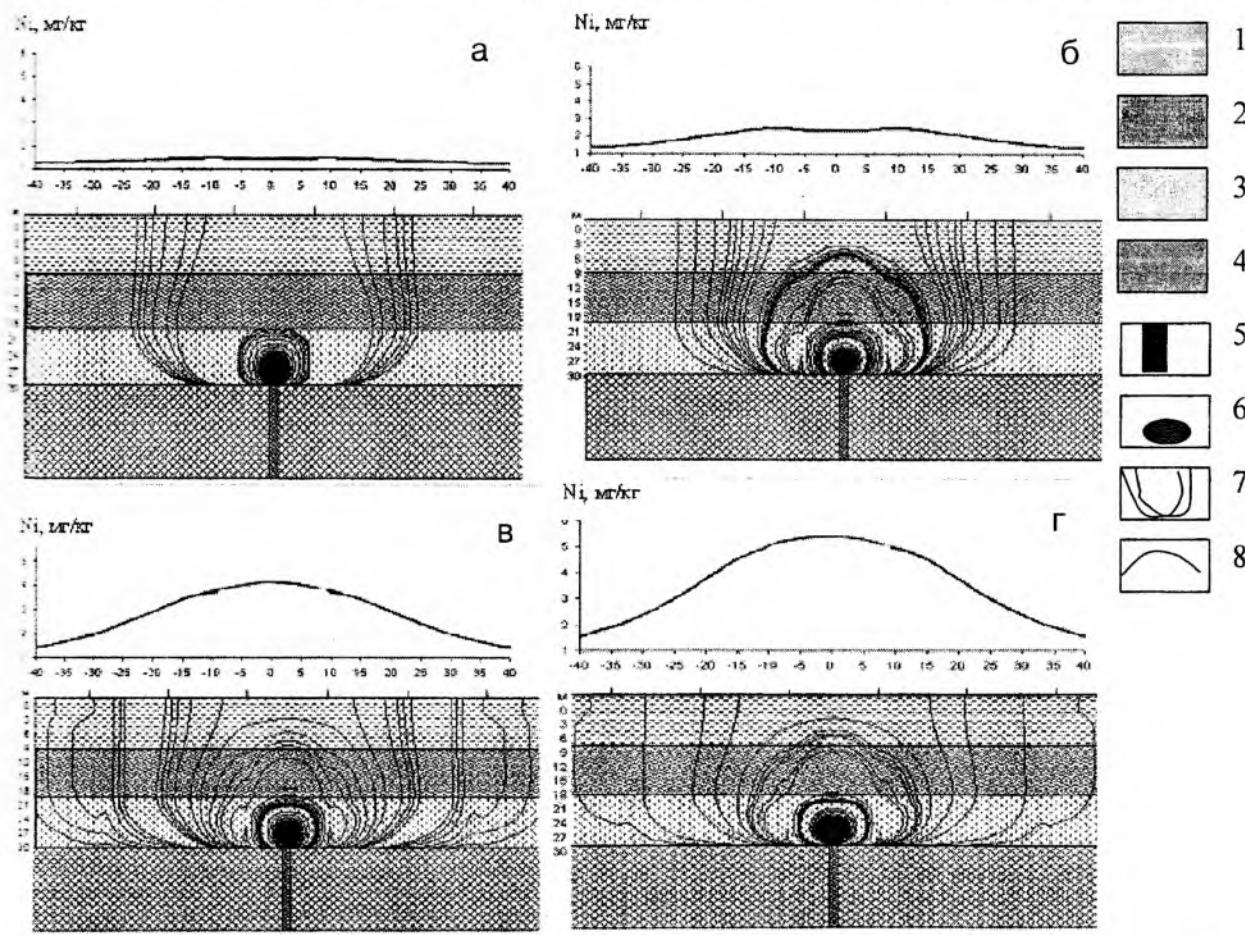


Рис. 17. Моделювання вторинного сольового ореолу на Жданівській ділянці, діаметр рудного тіла – 1м. Концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг): а – 1000,0; б – 5000,0; в – 10000,0; г – 15000,0. 1 – пісок середньозернистий, 2 – глини з прошарками пісків, 3 – глини строкаті ділянками запісочені, 4 – кора вивітрювання, 5 – рудне тіло, 6 – максимальний вміст на поверхні рудного тіла, 7 – ізолінії концентрату Ni у вторинному ореолі, 8 – вміст рухомих форм Ni у вторинному сольовому ореолі (вісь абсцис – метри на поверхні, вісь ординат – вміст елемента, мг/кг)

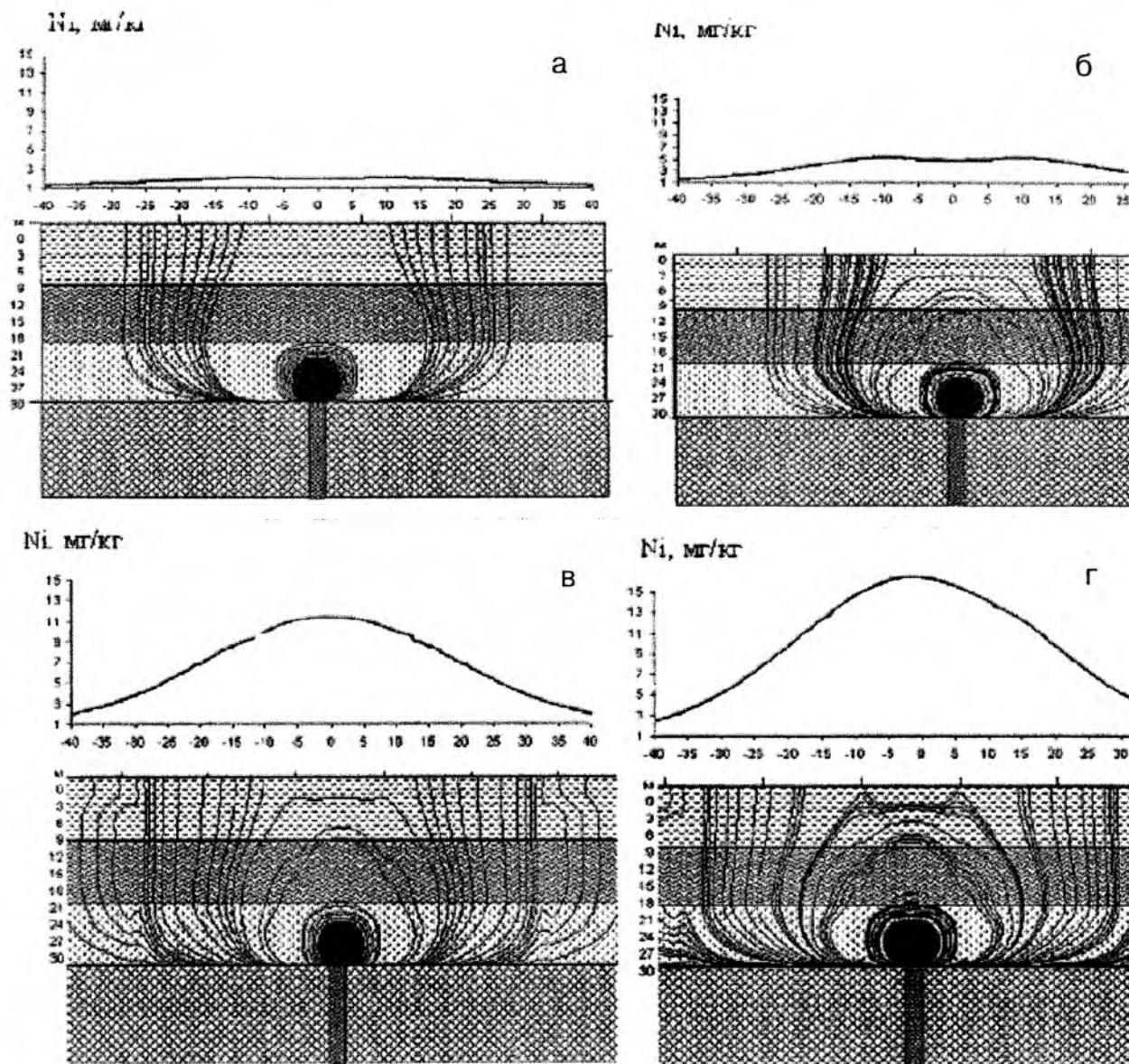


Рис. 18. Моделювання вторинного сольового ореолу на Жданівській ділянці, діаметр рудного тіла – 2 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг): а – 1000,0; б – 5000,0; в – 10000,0; г – 15000,0. Умовні позначення, як на рис. 17.

тіла 5000 мг/кг (див. рис. 20 б) максимальний вміст у вторинному ореолі – 78,7 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 77,5 мг/кг; при концентрації рудного тіла 10000 мг/кг (див. рис. 20 в) максимальний вміст у вторинному ореолі – 156,3 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 155,1 мг/кг. при концентрації рудного тіла 15000 мг/кг (див. рис. 20 г) максимальний вміст у вторинному ореолі – 233,8 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 232,6 мг/кг.

Можна зробити висновок, що розповсюдження рудного елемента в різних осадових товщах при діаметрі рудного тіла 10,0 м: при будь-якій концентрації елемента в породах з піщаною складовою дифузія стає більшою, за

рахунок чого збільшується діаметр вторинного сольового ореолу.

Для визначення основних залежностей при моделюванні використовуються результати розрахунків (див. табл. 7), які дозволяють отримати кількісні параметри рудного тіла за відомими параметрами вторинного сольового ореолу.

Апроксимації залежностей були побудовані засобами MS Excel. На графіках наведено формулі апроксимації та її достовірність (R^2).

Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площі аномалії сольового ореолу (CS_{m}) від інтегрального вмісту елемента по площі рудного тіла (CS_b) наведена на рис. 21.

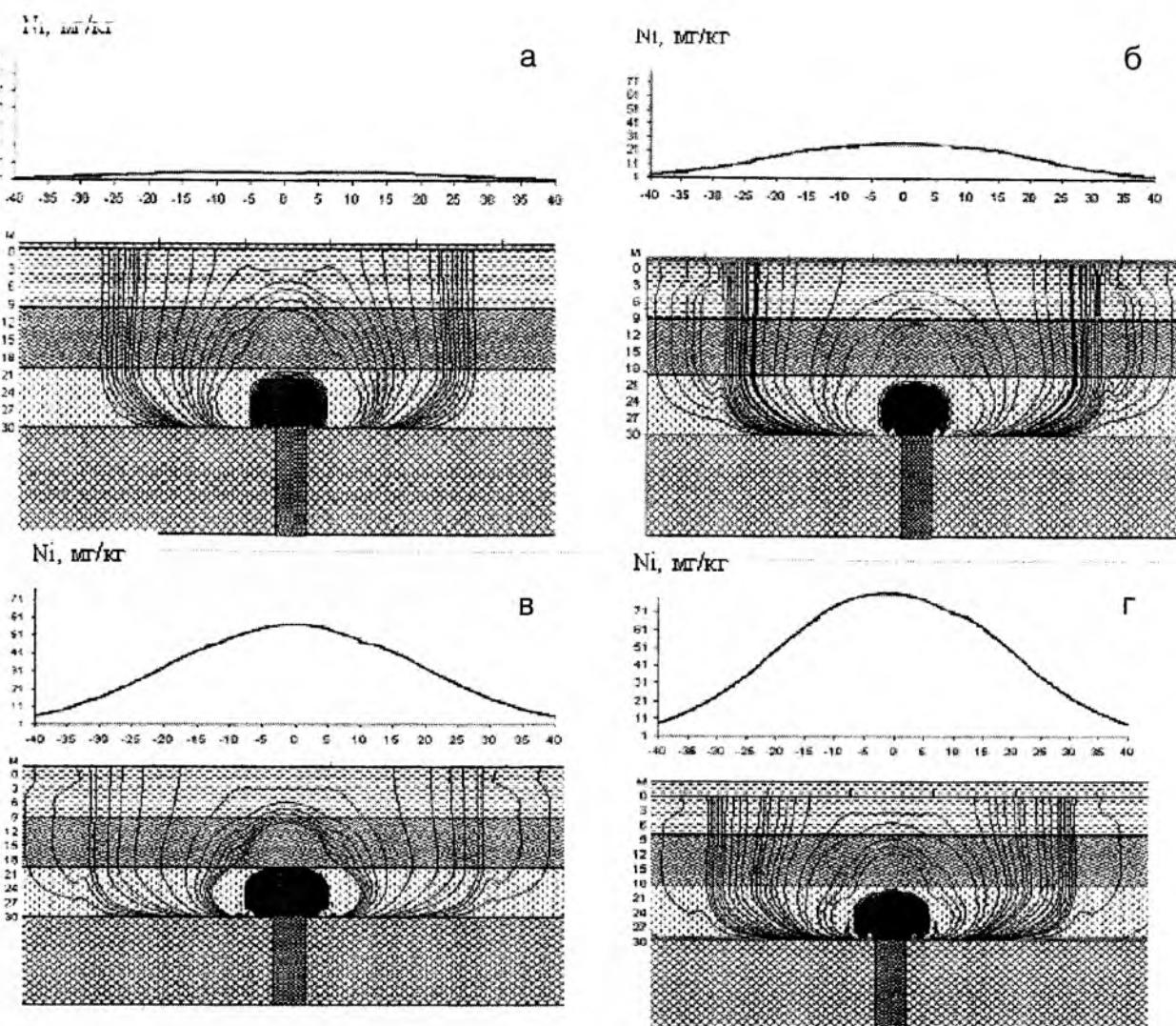


Рис. 19. Моделювання вторинного сольового ореолу на Жданівській ділянці, діаметр рудного тіла — 5,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг): а — 1000,0; б — 5000,0; в — 10000,0; г — 15000,0. Умовні позначення, як на рис. 17.

Залежність має лінійний характер, тобто $y = ax - b$, де $y = CS_a^m$ ($\text{м}^2 \cdot \text{мг/кг}$), а $x = CS_a$ ($\text{м}^2 \cdot \text{мг/кг}$).

Для визначення зв'язку вмісту рудного елемента на поверхні рудного тіла C_p від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі C_a^{\max} при різних діаметрах рудного тіла були побудовані графічні залежності (рис. 22).

Тобто, маючи лінійні рівняння для різних діаметрів рудного тіла при різних концентраціях рудного елемента на поверхні рудного тіла:

$$y = 4615,3x - 5538,3$$

(для діаметра рудного тіла 1,0 м);

$$y = 1382,7x - 1659,2$$

(для діаметра рудного тіла 2,0 м);

$$y = 249,99x - 299,97$$

(для діаметра рудного тіла 5,0 м);

$$y = 64,482x - 77,367$$

(для діаметра рудного тіла 10,0 м).

Для практичних цілей пошукової геохімії були побудовані залежності коефіцієнтів лінійних рівнянь (рис. 23) від діаметру рудного тіла.

Сумарна залежність вмісту рудного елемента на поверхні рудного тіла від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі та діаметру рудного тіла виглядає наступним чином:

$$C_p = d_p^{-1,86} \cdot (4800,3 \cdot C_a^{\max} - 5792,2),$$

де C_a^{\max} — максимальне значення у сольовому ореолі.

Припускаючи, що кількість точок геохімічного опробування достатня для отримання точного наближення фактичного інтегрального вмісту до розрахункового інтегрального вмісту, використовується залежність:

$$CS_p = 2,047 \cdot CS_a^{\phi} - 696,48.$$

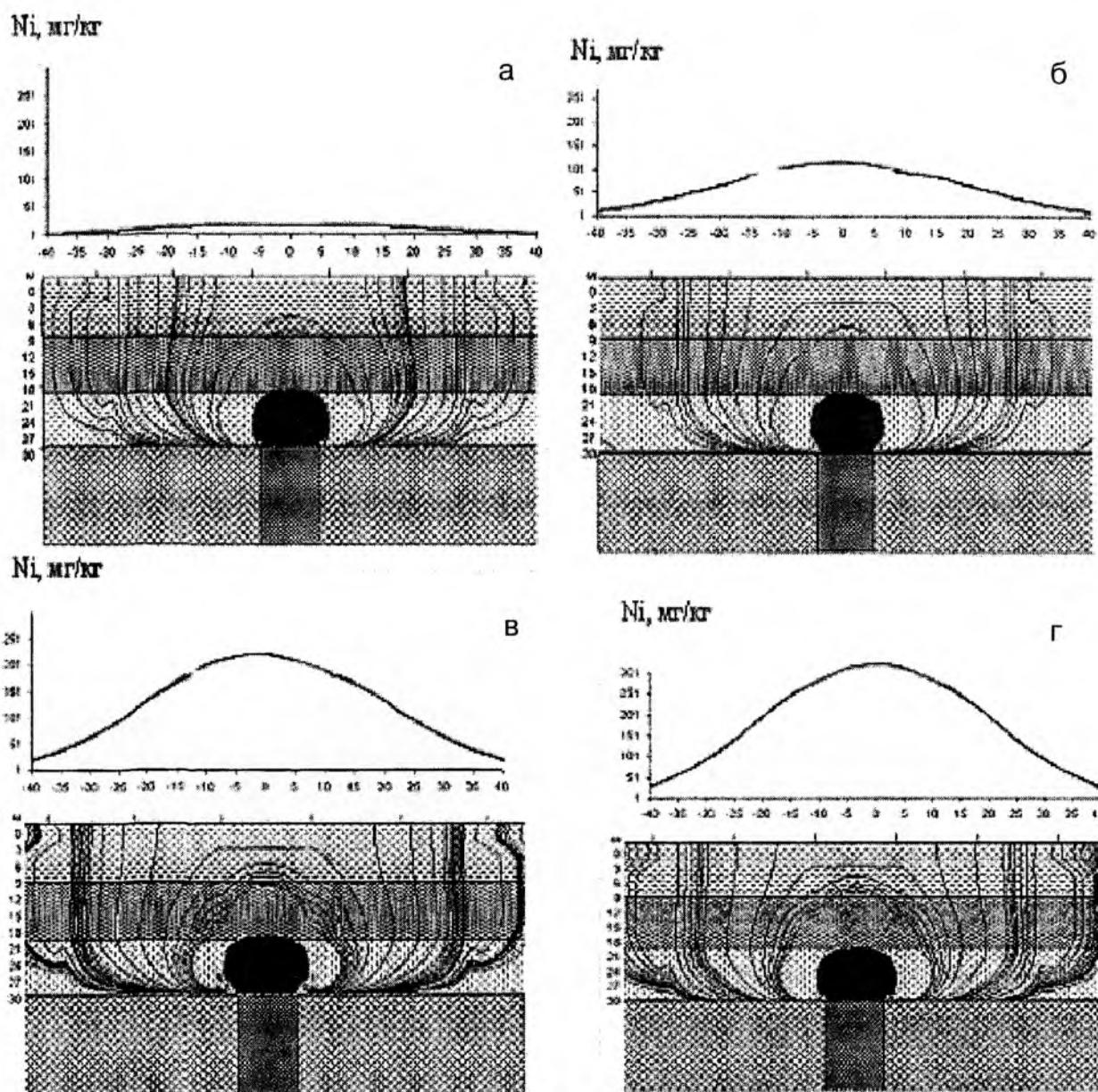


Рис. 20. Моделювання вторинного сольового ореолу на Жданівській ділянці, діаметр рудного тіла – 10,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг): а – 1000,0; б – 5000,0; в – 10000,0; г – 15000,0. Умовні позначення, як на рис. 17.

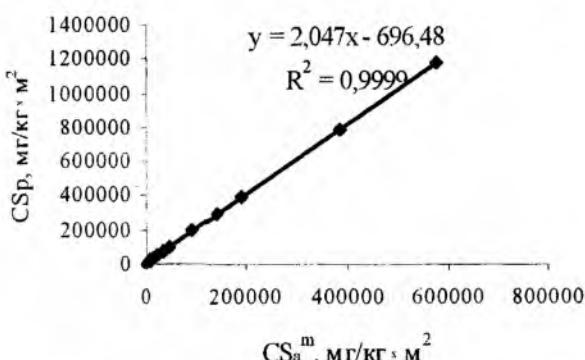


Рис.21. Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площі аномалії сольового ореолу (CS_p^m) від інтегрального вмісту елемента по площі рудного тіла (CS_p)

Отримуємо систему нелінійних рівнянь, враховуючи визначення:

$$\begin{cases} C_p = d_p^{-1,86} \cdot (4800,3 \cdot C_a^{\max} - 5792,2), \\ CS_p = (C_p - C_{\phi}) \cdot (\pi \cdot d_p^2 / 4), \end{cases}$$

Тобто, отримуємо формулу:

$$CS_p = (\pi \cdot d_p^2 / 4) \cdot (d_p^{-1,86} \cdot (4800,3 \cdot C_a^{\max} - 5792,2))$$

Це нелінійне рівняння вирішується чисельними методами. Але якщо знахтувати СФ, оскільки воно значно менше ніж C_p , то система вирішується аналітичними методами.

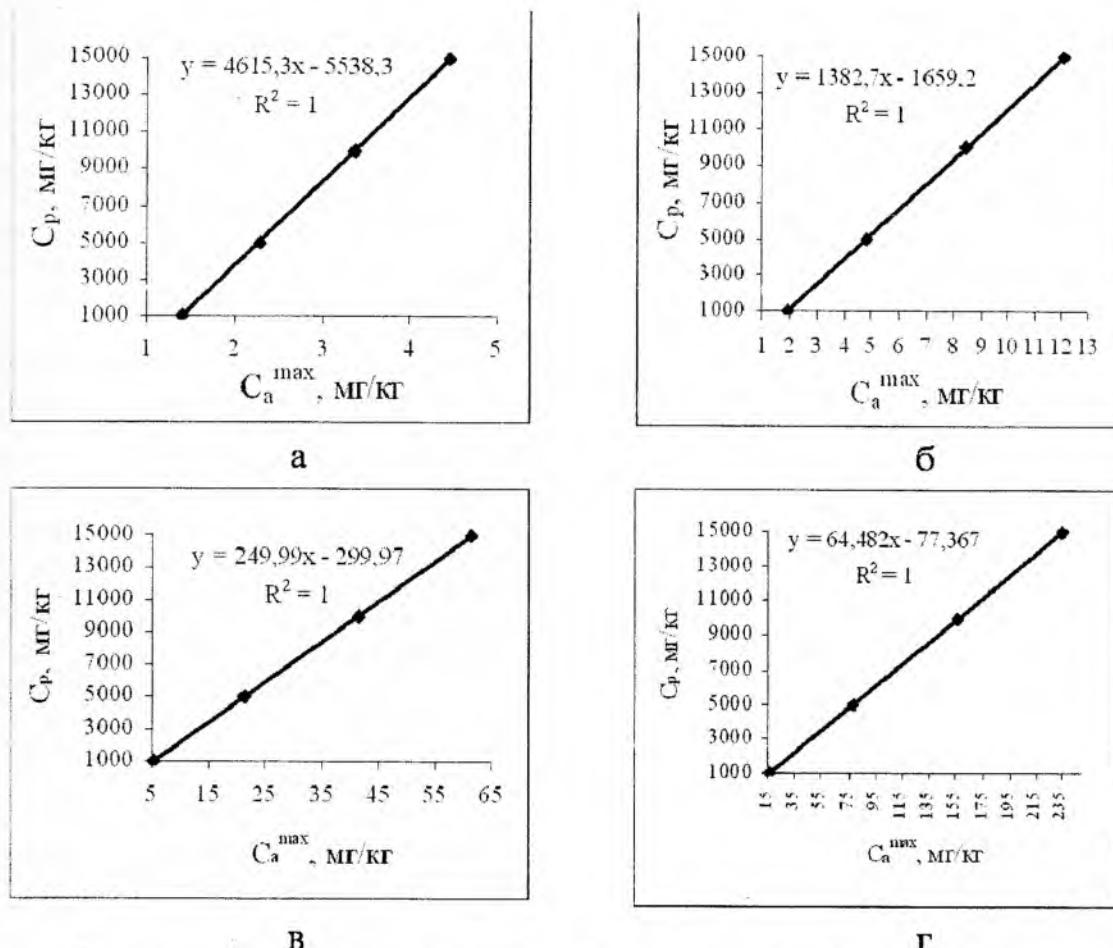


Рис. 22. Залежність вмісту рудного елемента на поверхні рудного тіла (C_p) від максимального значення елемента у сольовому ореолі (C_a^{max}) при діаметрі рудного тіла: а – 1,0 м; б – 2,0 м; в – 5,0 м; г – 10,0 м.

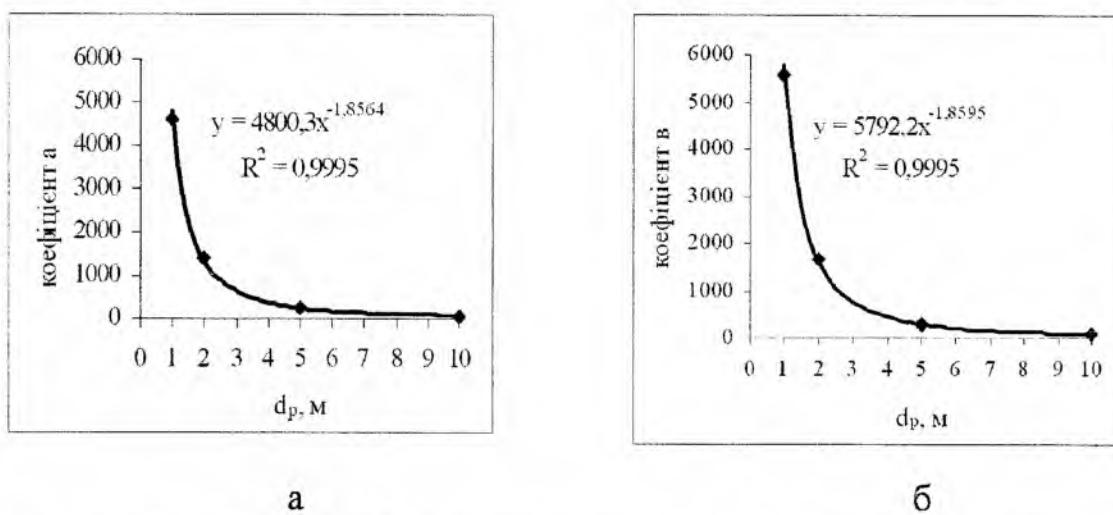


Рис. 23. Залежність коефіцієнтів від діаметру рудного тіла: а – коефіцієнту «а», б – коефіцієнту «в»

$$d_p = e^{\left(\frac{1}{0,14} \ln \left(\frac{4(2,047 \cdot C_a^\phi - 696,48)}{\pi(4800,3 \cdot C_a^{max} - 5792,2)} \right) \right)}$$

$$C_p = d_p^{-1,86} \cdot (4800,3 \cdot C_a^{max} - 5792,2)$$

Наприклад, якщо CS_a^ϕ дорівнює 1600 мг/кг·м², а C_a^{max} – 2 мг/кг, то діаметр рудного тіла складає близько 1,9 м, а концентрація на його поверхні біля 1100 мг/кг.

Східнолиповеньківська ділянка. Східнолиповеньківський мафіт–ультрамафітовий масив

розміщений в 0,5 км на схід від с. Липовенівки Голованівського району Кіровоградської області. Масив, за даними експедиції, має овально-кон-центричну форму діаметром 800 х 900 м. В центрі овальної структури розміщене тіло апопериодитового серпентиніту розміром 800 х 200 м видовжено-грушевидної форми. На периферії серпентинітового масиву знаходяться тіла тримо-літизованих піроксенітів і габро-амфіболітів, ширина тіл складає до 100–300 м. Зовнішня облямівка цього апогабро-піроксеніт-перидотитового ядра складена амфіболізованими піроксено-новими кристалосланцями, а також біотитовими і гранат-біотитовими гнейсами бузької серії неоархею. В зонах розломів, особливо у вузлах їх перетину, поширені ендербіт-чарнокіт-мігматити і аплітовидні граніти побузького комплексу [15].

Докембрійські утворення Східнолиповень-ківської ділянки мають кору вивітрювання потужністю від 2 до 35 метрів, товщина кори максимальна над серпентинітовим масивом і в зонах тектонічних порушень.

Осадова покрівля складена міоценовими різноколірними глинами, що мають до 5 % крупнозернистої піщаної фракції. Зрідка трапляються малопотужні лінзи піску. У верхів'ї яру, який перетинає серпентинітовий масив у його південній частині, відслоняються кори вивітрювання каолінітові і монтморилонітові; тут трапляються уламки густовкраплених хромітових руд.

На Східнолиповенському масиві в результаті пошукових робіт пораховані ресурси силікатного нікелю в об'ємі 7,1 тис. т і кобальту 0,29 тис. т за середнього вмісту нікелю 0,76 %, кобальту – 0,31 %. Масив є перспективним на промислове хромітове зруденіння. В південній, найбільш вивчений, частині масиву виділяється рудна зона з серією зближених кулісоподібних тіл масивних і вкраплених руд довжиною до 350 м і потужністю до 17 м з середнім вмістом Cr_2O_3 – 32,01 %. До хромових руд тяжіє зруденіння золота (до 0,2 г/т), срібла (до 0,1 г/т), зрідка міді (до 0,2 %). В оточуючих серпентинітовий масив амфіболізованих габроїдах вміст TiO_2 сягає 3–5 %.

За результатами геохімічних досліджень виявлено кореляційний зв'язок рухомих форм Fe – Ni – Zn, що дозволить виявити площину перспективну на пошук руд силікатного нікелю.

Найбільш індикаторним елементом для пошуків рудних тіл хрому та силікатного нікелю є рухомі форми Ni (фоновий вміст якого 20 мг/кг), вміст вище фонового у два та більше разів вказує місце знаходження уламків масивних хромових руд і амфіболітів та уточнює контур поширення руд силікатного нікелю.

Розріз осадових відкладів ділянки: сверху вниз – глини з прошарками дрібнозернистих

пісків (потужність – 9 м, Кф – 0,01 м/добу), глини з крупнозернистою піщаною фракцією (потужність – 4 м, Кф – 10,0 м/добу), суглинок (потужність – 60 м, Кф – 0,1 м/добу).

Тобто, модельна товща має 3 пласти, різної потужності з різними коефіцієнтами фільтрації та дифузії. Попередніми роботами встановлено, що фоновий вміст Ni у вторинному сольовому ореолі 20,0 мг/кг, аномальний – 25,6; діаметр рудного тіла – 2,0 м, концентрація рудного елемента на його поверхні – 400000,0 мг/кг.

При моделюванні робиться припущення, що глибина залягання рудного тіла 65,0 м, а вміст Ni на поверхні рудного тіла змінний, мг/кг: у першому випадку 100000,0; у другому – 200000,0; у третьому – 300000,0; у четвертому – 400000,0.

Змінюючи діаметр рудного тіла для кожного з випадків, м: 2,0; 5,0; 10,0; 15,0; проводимо низку розрахунків, в результаті чого одержуємо – максимальний вміст Ni у сольовому ореолі ($\text{m}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$), інтегральний вміст Ni по площині рудного тіла ($\text{m}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$) та інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу ($\text{m}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$). Результати серії обчислювальних експериментів (16 експериментів) наведені в табл. 8.

Результати моделювання вторинного сольового ореолу при діаметрі рудного тіла – 2 м, концентрації на поверхні рудного тіла (Ni, мг/кг): а – 100000,0; б – 200000,0; в – 300000,0; г – 400000,0 приведені на рис. 24.

При концентрації рудного елемента на поверхні рудного тіла 100000,0 мг/кг (див. рис. 24 а) максимальний вміст у вторинному ореолі – 21,4 мг/кг, тобто перевищення над фоновим мінімальним – 1,4 мг/кг; при 200000,0 мг/кг (див. рис. 24 б) максимальний вміст Ni у вторинному ореолі – 22,8 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 2,8; при 300000,0 мг/кг (див. рис. 24 в) – максимальний вміст у вторинному ореолі – 24,2 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 4,2; при 400000,0 мг/кг (див. рис. 24 г) максимальний вміст у вторинному ореолі – 25,6 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 5,6 мг/кг.

Результати моделювання вторинного сольового ореолу при діаметрі рудного тіла – 5,0 м і концентрації на поверхні рудного тіла (Ni, мг/кг): а – 100000,0; б – 200000,0; в – 300000,0; г – 400000,0 приведені на рис. 25.

При концентрації рудного тіла 100000,0 мг/кг (див. рис. 25 а) максимальний вміст у вторинному ореолі – 24,2 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 4,2 мг/кг; при 200000,0 мг/кг (див. рис. 25 б) – максимальний вміст у вторинному ореолі – 28,5 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 8,5 мг/кг; при концентрації рудного тіла 300000,0 мг/кг (див. рис. 25 в) максимальний вміст у вторинному ореолі – 32,7 мг/кг, тобто

перевищення над фоновим – 12,7 мг/кг; при концентрації рудного тіла 400000,0 мг/кг (див. рис. 25 г) максимальний вміст у вторинному ореолі – 36,9, тобто перевищення над фоновим – 16,9 мг/кг.

Результати моделювання вторинного сольового ореолу при діаметрі рудного тіла – 10 м і концентрації на поверхні рудного тіла (Ni, мг/кг): а – 100000,0; б – 200000,0; в – 300000,0; г – 400000,0 приведені на рис. 26.

При концентрації рудного тіла 100000,0 мг/кг (див. рис. 26 а) максимальний вміст у вторинному ореолі – 41,0, тобто перевищення над фоновим – 21,0 мг/кг; при 200000,0 мг/кг (див. рис. 26 б) – максимальний вміст у вторинному ореолі – 62,1 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 42,1; при концентрації рудного тіла 300000,0 мг/кг (див. рис. 26 в) максимальний вміст у вторинному ореолі – 83,1 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 63,1; при концентрації рудного тіла 400000,0 мг/кг (див. рис. 26 г) максимальний вміст у вторинному ореолі – 104,1, тобто перевищення над фоновим – 84,1 мг/кг.

Результати моделювання вторинного сольового ореолу при діаметрі рудного тіла – 15 м і концентрації на поверхні рудного тіла (Ni, мг/кг): а – 100000,0; б – 200000,0; в – 300000,0; г – 400000,0 приведені на рис. 26.

При концентрації рудного тіла 100000,0 мг/кг (див. рис. 27 а) максимальний вміст у

вторинному ореолі – 58,9 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 38,9 мг/кг; при 200000,0 мг/кг (див. рис. 27 б) – максимальний вміст у вторинному ореолі – 97,9 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 77,9 мг/кг; при концентрації рудного тіла 300000,0 мг/кг (див. рис. 27 в) максимальний вміст у вторинному ореолі – 136,8 мг/кг, тобто перевищення над фоновим – 116,8 мг/кг; при концентрації рудного тіла 400000,0 мг/кг (див. рис. 27 г) максимальний вміст у вторинному ореолі – 175,7, тобто перевищення над фоновим – 155,7 мг/кг. Що характерно – у всіх випадках ми маємо поховані ореоли, що аналогічно дифузійним ореолам, перекритим осадами, що можуть бути геохімічними бар'єрами. Так, глини з прошарками дрібнозернистих пісків ($K_f 0,01 \text{ м}^2/\text{добу}$) і є геохімічним бар'єром.

Для визначення основних залежностей при моделюванні використовуються результати розрахунків (див. табл. 8), які дозволяють отримати кількісні параметри рудного тіла за відомими параметрами вторинного сольового ореолу.

Апроксимації залежностей були побудовані засобами MS Excel. На графіках наведено формули апроксимації та її достовірність (R^2).

Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площі аномалії сольового ореолу (CS_{a}^{m}) від інтегрального вмісту елемента по площі рудного тіла (CS_p) наведена на рис. 28.

Таблиця 8

Результати серії обчислювальних експериментів на Східнолиповенській ділянці

Номер експеримента	Інтегральний вміст елемента по площі аномалії сольового ореолу, $\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$	Інтегральний вміст елемента по площі рудного тіла, $\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$	Максимальне значення вмісту елемента у сольовому ореолі, мг/кг	Діаметр рудного тіла, м	Вміст елемента на поверхні рудного тіла, мг/кг
1	4550,5	314000	21,4	2	100000
2	9101	628000	22,8	2	200000
3	13651,5	942000	24,2	2	300000
4	18202,1	1256000	25,6	2	400000
5	13691,9	1962500	24,2	5	100000
6	27384,1	3925000	28,5	5	200000
7	41076,2	5887500	32,7	5	300000
8	54768,4	7850000	36,9	5	400000
9	69677,7	7850000	41	10	100000
10	139356,7	15700000	62,1	10	200000
11	209035,8	23550000	83,1	10	300000
12	278714,9	31400000	104,1	10	400000
13	132442,9	17662500	58,9	15	100000
14	264888,4	35325000	97,9	15	200000
15	397333,9	52987500	136,8	15	300000
16	529779,4	70650000	175,7	15	400000

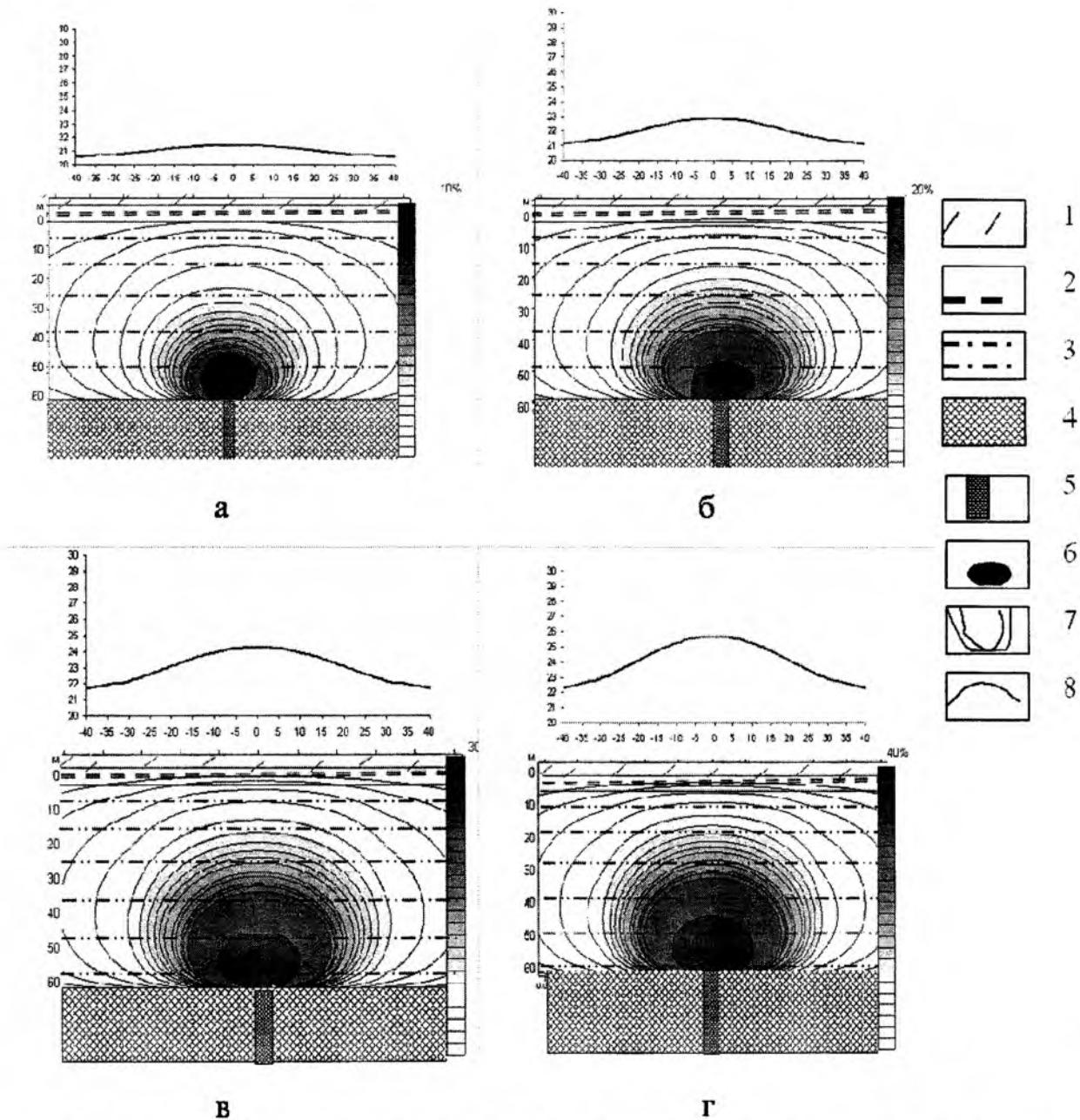


Рис. 24. Моделювання вторинного сольового ореолу на Східнолиповенській ділянці, діаметр рудного тіла — 2,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (Ni , мг/кг): а — 100 000,0; б — 200 000,0; в — 300 000,0; г — 400 000,0. 1 — глини з прошарками грібнозернистих пісків, 2 — глини з крупнозернистою піщаною фракцією, 3 — суглинки, 4 — кора вивітрювання, 5 — рудне тіло, 6 — максимальний вміст на поверхні рудного тіла, 7 — ізолінії концентрату Ni у вторинному ореолі, 8 — вміст рухомих форм Ni у вторинному сольовому ореолі (вісь абсцис — вміст елемента, мг/кг)

Залежність має лінійний характер, тобто $y = ax - b$, де y — CS_m^m ($m^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$), а x — CS_p ($m^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$).

Для визначення зв'язку вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла Ср від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі Самах при різних діаметрах рудного тіла були побудовані графічні залежності (рис. 29).

Тобто, маючи лінійні рівняння для різних діаметрів рудного тіла при різних концентраціях рудного елемента на поверхні рудного тіла:

$$y = 70880,79x - 1417613,82 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 2,0 \text{ м});$$

$$y = 23633x - 472661 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 5,0 \text{ м});$$

$$y = 4754,1x - 95080 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 10,0 \text{ м});$$

$$y = 2568,6x - 51371 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 15,0 \text{ м}).$$

Для практичних цілей пошукової геохімії були побудовані залежності коефіцієнтів лінійних рівнянь (рис. 30) від діаметру рудного тіла.

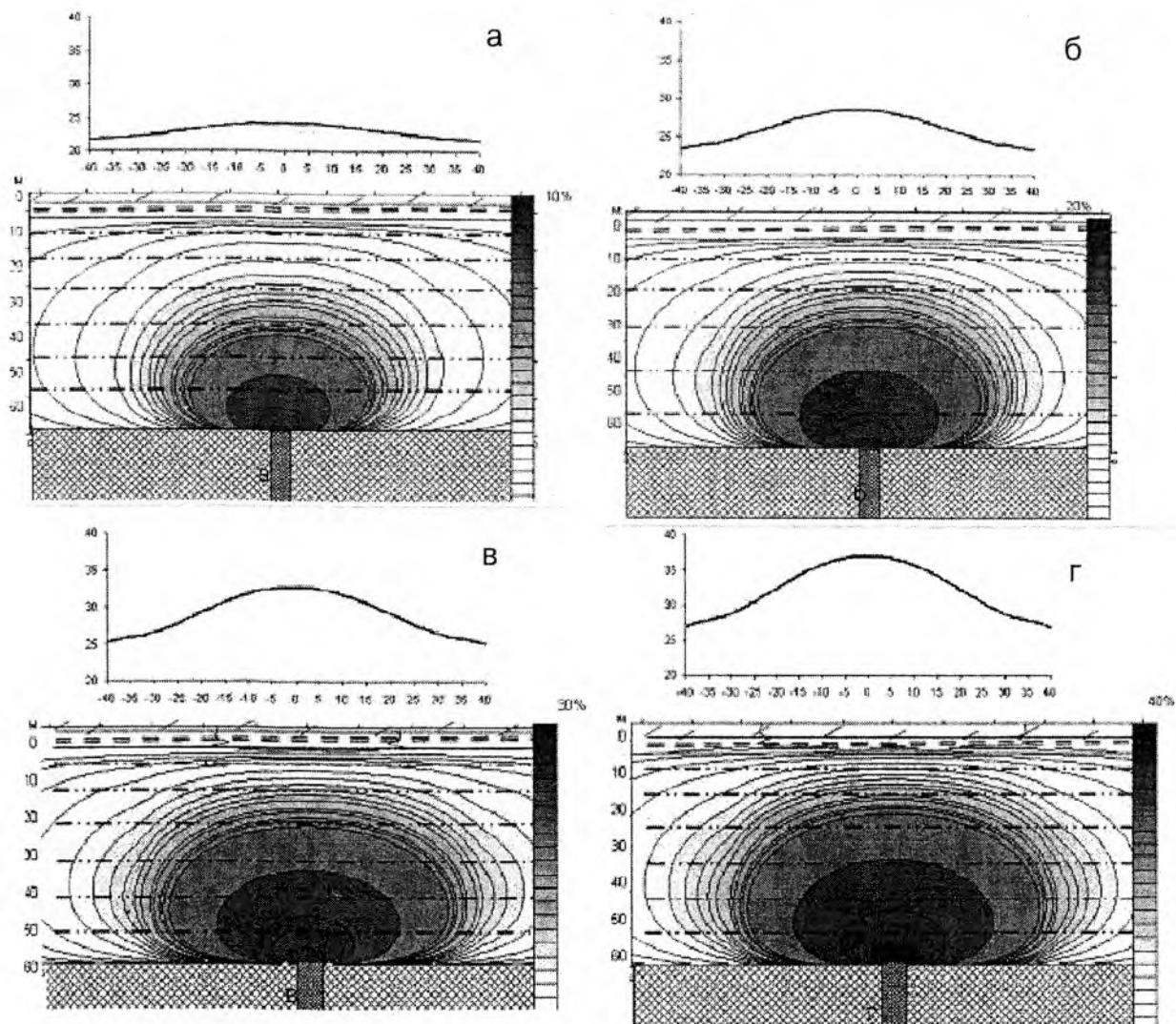


Рис. 25. Моделювання вторинного сольового ореолу на Східнолиповенській ділянці, діаметр рудного тіла – 5,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (Ni , мг/кг): а – 100 000,0; б – 200 000,0; в – 300 000,0; г – 400 000,0. Умовні позначення, як на рис.24.

Сумарна залежність вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі та діаметру рудного тіла виглядає наступним чином:

$$C_p = d_p^{-1,7} \cdot (265473 \cdot C_a^{\max} - 5309497)$$

де C_a^{\max} – максимальне значення у сольовому ореолі.

Припускаючи, що кількість точок геохімічного опробування достатня для отримання точного наближення фактичного інтегрального вмісту до розрахункового інтегрального вмісту, використовується залежність (див. рис.27):

$$CS_p = 131,23 \cdot CS_a^\phi - 705991.$$

Отримуємо систему нелінійних рівнянь, враховуючи визначення:

$$\begin{cases} C_p = d_p^{-1,7} \cdot (265473 \cdot C_a^{\max} - 5309497), \\ CS_p = (C_p - C_\phi) \cdot (\pi \cdot d_p^2 / 4) \end{cases}$$

Тобто, отримуємо формулу:

$$CS_p = (\pi \cdot d_p^2 / 4) \cdot (d_p^{-1,7} \cdot (265473 \cdot C_a^{\max} - 5309497) - C_\phi).$$

Це нелінійне рівняння вирішується чисельними методами. Але якщо знаходити C_ϕ оськільки воно значно менше ніж C_p , то система вирішується аналітичними методами:

$$d_p = e^{\left(\frac{1}{0,3} \ln \left(\frac{4 \cdot (131,23 \cdot C_a^\phi - 705991)}{\pi \cdot (265473 \cdot C_a^{\max} - 5309497)} \right) \right)}$$

$$C_p = d_p^{-1,7} \cdot (265473 \cdot C_a^{\max} - 5309497)$$

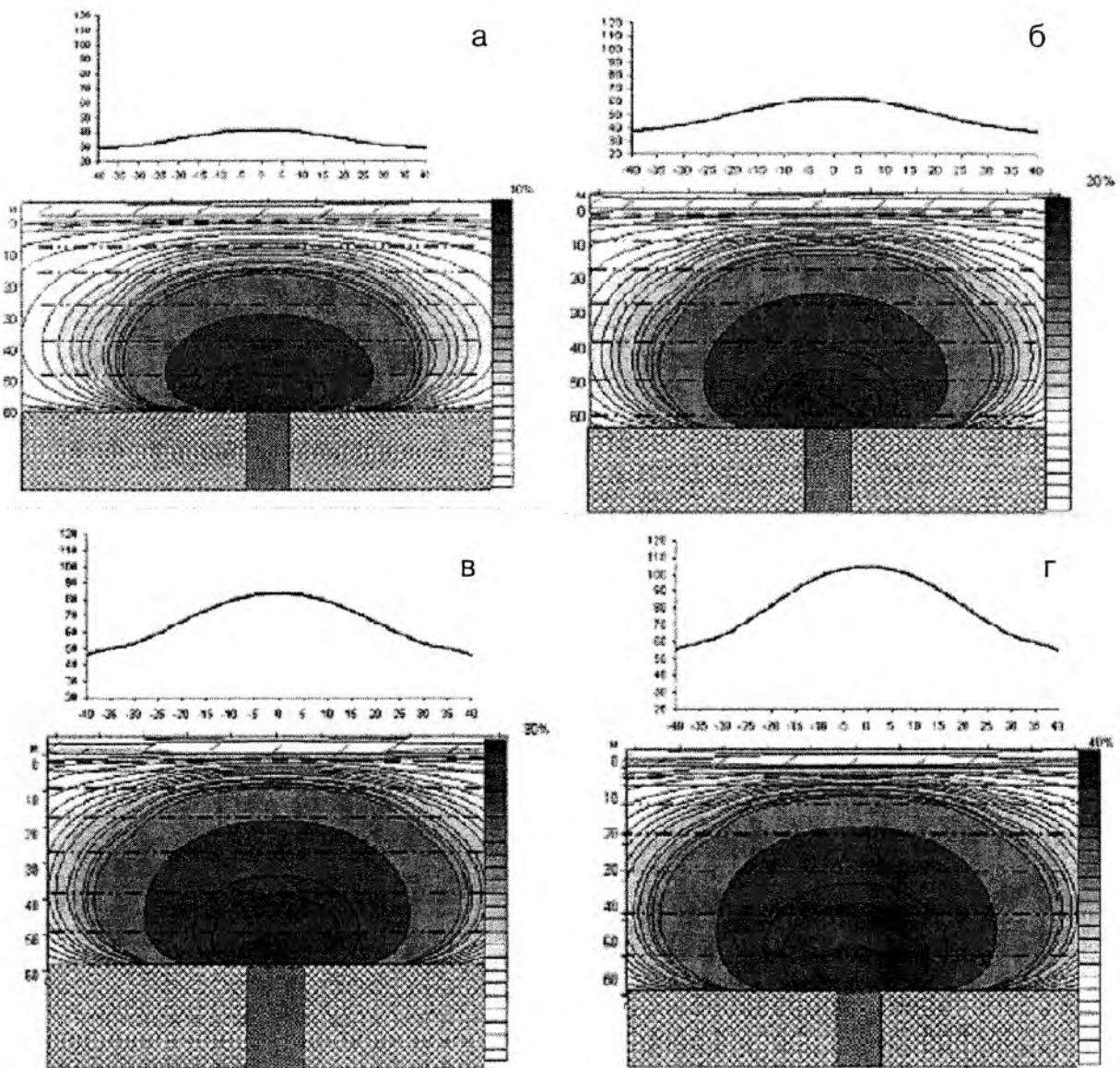


Рис. 26. Моделювання вторинного сольового ореолу на Східнолиповенській ділянці, діаметр рудного тіла – 10,0 м. Конcenтрація відповерхності рудного тіла (Ni , мг/кг): а – 100 000,0; б – 200 000,0; в – 300 000,0; г – 400 000,0. Умовні позначення, як на рис. 24

Наприклад, якщо CS_s^{ϕ} дорівнює 9000 мг/кг· м^2 , а C_s^{\max} – 23 мг/кг, то діаметр рудного тіла складає близько 2,1 м, а концентрація на його поверхні біля 190000 мг/кг.

Полохівська ділянка. Полохівське родовище петалітів (літієвих пегматитів) розташоване у Шполино – Ташликському рудному районі. В структурному плані – це нижньопротерозойська геосинкліналь. Тектонічний план району досліджені визначають синформи дислокованого амфіболіт – гнейс – мігматитового субстрату інгуло – інгулецької серії нижнього протерозою, куполи і брахіантикліналі ранньопротерозойських калієвих гранітів (рис. 31). Куполи ранньопротерозойських гранітів по своєму положенню загалом узгоджуються з меридіональним структурним планом

регіону і активно впливають на вмісні породи з мігматитизацією і процесами метасоматозу.

З полями розвитку гранітоїдов пов'язані серії субмеридіональних даєк гранітних пегматитів. Гранітний купол обрамлений гнейсами, в товщі яких залягають рудоносні (літієві) пегматити.

Характерною особливістю літієвих пегматитів є майже повсюдне виявлення накладених інтенсивних процесів бластезу і катаклазу, внаслідок чого практично зникає первинний магматичний вигляд мінералів, який зберігається лише у вигляді реліктів в дрібнозернистій масі новоутворених індивідів більш пізніх генерацій.

Основну практичну цінність мають руди з вторинною накладеною мінералізацією, представлена головним чином петалітом. Літієві

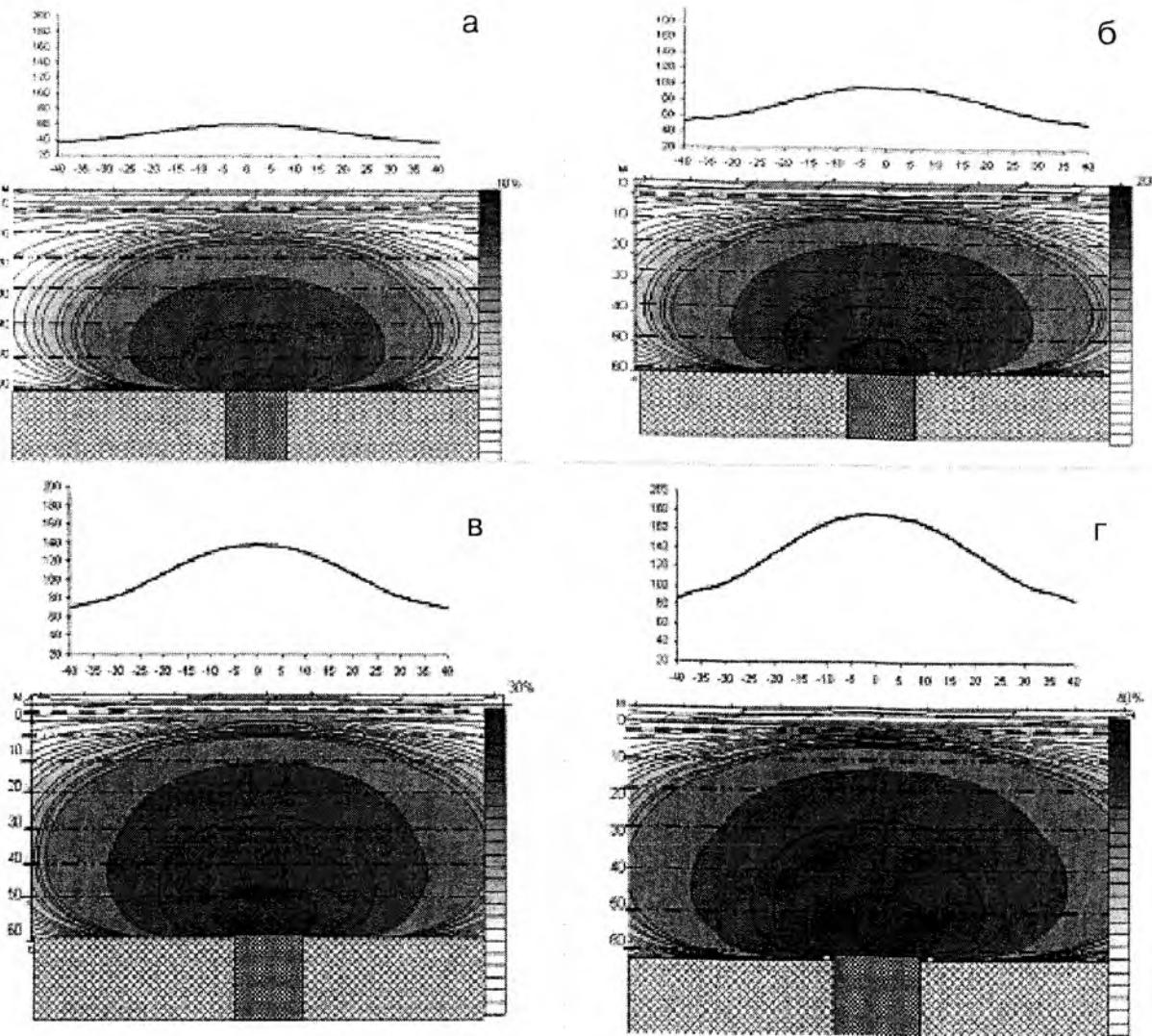


Рис. 27. Моделювання вторинного сольового ореолу на Східнолиповенській ділянці, діаметр рудного тіла – 15,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (Ni , мг/кг): а – 100 000,0; б – 200 000,0; в – 300 000,0; г – 400 000,0. Умовні позначення, як на рис. 24

пегматити мають чітку геохімічну спеціалізацію. окрім лужних металів для них характерна підвищена кількість фосфору, олова, берилію, танталу і ніобію.

Під впливом процесів перекристалізації і дії пегматитових флюїдів відбувається часткове новоутворення мікроклину, гранату, кордієриту, турмаліну.

Найнітенсивніший вияв процесів заміщення спостерігається в кордієрит–біотитових і гранат–кордієрит–біотитових гнейсах. Калішпат в різних ділянках породи на 5–95 % витісняє плагіоклаз і містить в пойкілітових включеннях кварц, біотит, рідше кордієрит, апатит. Він успадковує форму і розміри плагіоклазу і розростається до більш крупних (5–6 мм) розмірів; кородуєт біотит і частково кордієрит. Кристали кварцу, гранату і біотиту також збільшуються в розмірі і поблизу контакту з пегматитом стають сумірними з

мікроклином. Біотіт у перекристалізованих гнейсах має чорно–бурій відтінок, на відміну від буро–коричневого аналога в незмінених гнейсах. Особливість його полягає в більш високому значенні глиноземистості, в першу чергу, за рахунок алюмінію. Ще більш характерна особливість біотиту полягає в підвищений ролі лутів. Якщо в біотитах первинних гнейсів сума оксидів літію, рубідію і цезію не перевищує 0,11 %, то в біотитах із заміщених гнейсів вона в 10 разів вище. Від біотиту рідкіснометальніх (літієвих) пегматитів описувана залізо–магнезіальна слюда відрізняється помітно великим вмістом титану і більш низькою залізистістю. При цьому вміст рідкісних лутів та їх кількісні співвідношення в тих і інших різновидах подібні. Переважно літієва спеціалізація породоутворюального біотиту визначає геохімічну спрямованість всієї групи перекристалізованих гнейсів Полохівського родовища.

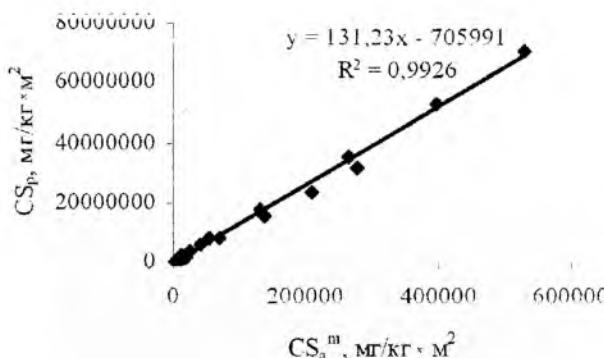


Рис. 28. Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площі аномалії сольового ореолу (CS_a''') від інтегрального вмісту елемента по площі рудного тіла (CS_b)

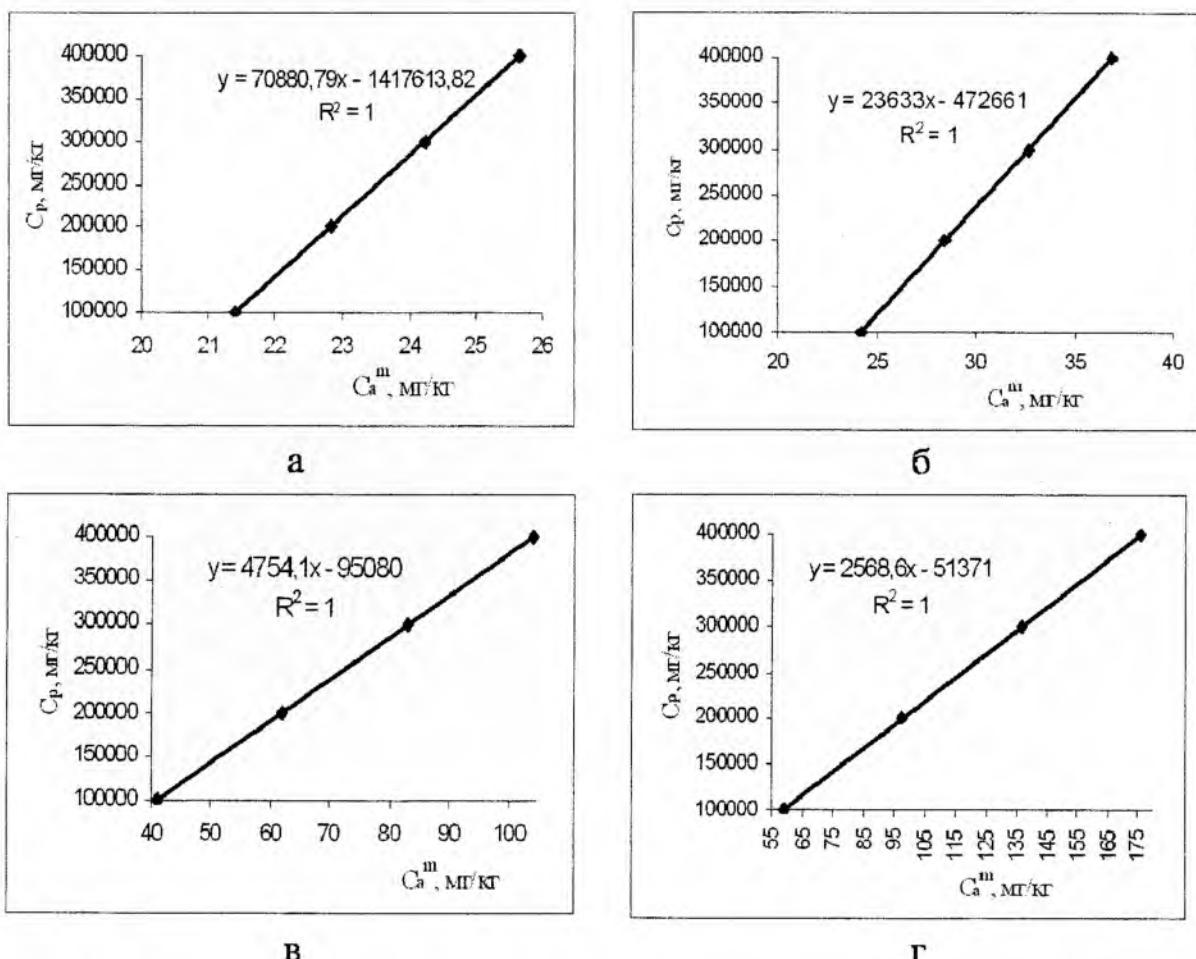


Рис. 29. Залежність вмісту рудного елемента на поверхні рудного тіла (C_s) від максимального значення елемента у сольовому ореолі (C_s''') при діаметрі рудного тіла, м: а – 2,0; б – 5,0; в – 10,0; г – 15,0

У перекристалізованих гнейсах власне рідкіснометальніх мінералів не встановлено. Проте, кількість літію в породі коливається в межах 400–3000, рубідію – 250–1000, цезію – 60–600 г/т. Коцентраторами рідкісних лужних металів є породоутворювальні і акцесорні мінерали. За матеріалами спектрального аналізу, літій, рубідій і цезій максимально накопичуються відповідно, г/т: в біотиті – 3000, 10000, 800; мікро clinі – 800, 2500, 400; кордієриті – 3000,

600, 800; олігоклазі – 800, 800, 40; турмаліні – 400, 20, 6; гранаті – 200, 10, 10. Зони інтенсивної переробки гнейсів можуть представляти практичний інтерес. Наприклад, у св. 14–92 на глибині 145–191 м в метасоматитах по 18 пробах середній вміст рідкісних лутів складає: літію – 1190, рубідію – 495, цезію – 230 г/т.

Безпосередньо в приконтактовій з пегматитом малопотужні (10–50 см) зоні спостерігається глибока переробка гнейсів з появою гібридних

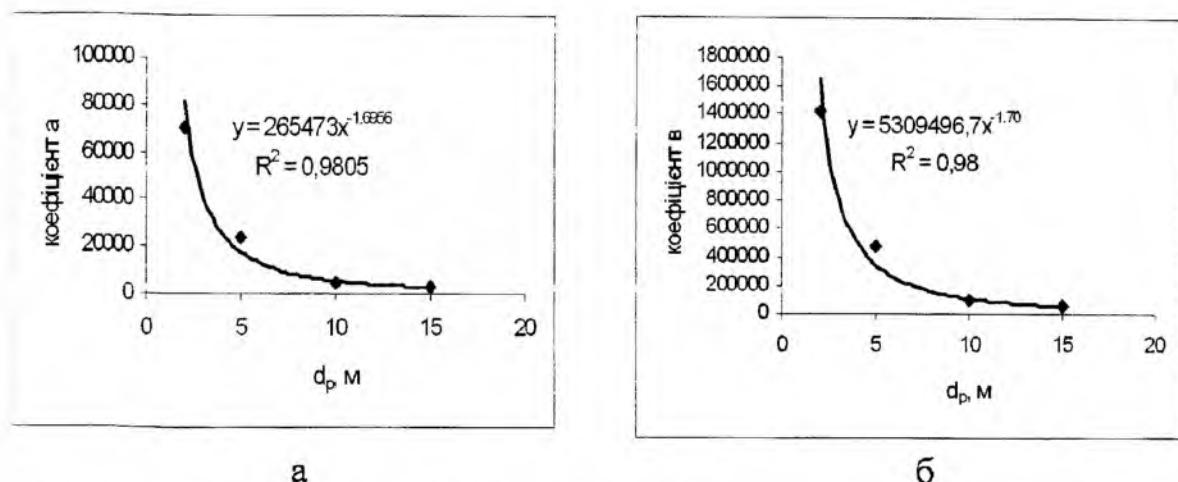


Рис. 30. Залежність коефіцієнтів від діаметру рудного тіла: а – коефіцієнт «а», б – коефіцієнт «в»

Таблиця 9
Результати 16 чисельних експериментів на Полохівській ділянці

Номер експеримента	Інтегральний вміст елемента по площі аномалії сольового ореолу, м ² ·мг/кг	Інтегральний вміст елемента по площі рудного тіла, м ² ·мг/кг	Максимальне значення вмісту елемента у сольовому ореолі, мг/кг	Діаметр рудного тіла, м	Вміст елемента на поверхні рудного тіла, мг/кг
1	720	78500	21	10	1000
2	1441,4	157000	22,1	10	2000
3	2162,9	235500	23,1	10	3000
4	2884,3	314000	24,1	10	4000
5	2702,9	314000	23,2	20	1000
6	5411,3	628000	26,5	20	2000
7	8119,6	942000	29,7	20	3000
8	10828	1256000	32,9	20	4000
9	6029,9	706500	25,5	30	1000
10	12071,9	1413000	31	30	2000
11	18113,9	2119500	36,5	30	3000
12	24155,9	2826000	42	30	4000
13	10763,8	1256000	27,1	40	1000
14	21549,2	2512000	34,2	40	2000
15	32334,6	3768000	41,3	40	3000
16	43120	5024000	48,5	40	4000

порід, в яких дрібнозернистий субстрат гранітного складу містить більш крупні виділення біотиту, коордієриту, кварцу, що часто створюють гломеропорфирові зрошення або кварц–кордієритові, монокордієритові і монокварцові виокремлення розміром 1–6 см. Тут спостерігається поєднання мінералів, характерних як для перекристалізованих метаморфічних порід, так і для пегматитів. Разом з породоутворювальними мінералами в різних асоціаціях діагностуються

другорядні і акцесорні: гранат, мусковіт, турмалін, силіманіт, циркон, трифілін, апатит, графіт, ганіт, вагнерит, дюмортьєрит, сапфірин. Кордієріт представлений сірувато–голубим і голубим напівпрозорим різновидами. Іншою характерною особливістю кордієриту є постійна присутність в його складі берилію – до 0,2–0,4 %. Турмалін – поліхромний в жовто–зелено–синіх тонах. Від зелених турмалінів гнейсів відрізняється високим вмістом алюмінію і двовалентного заліза.

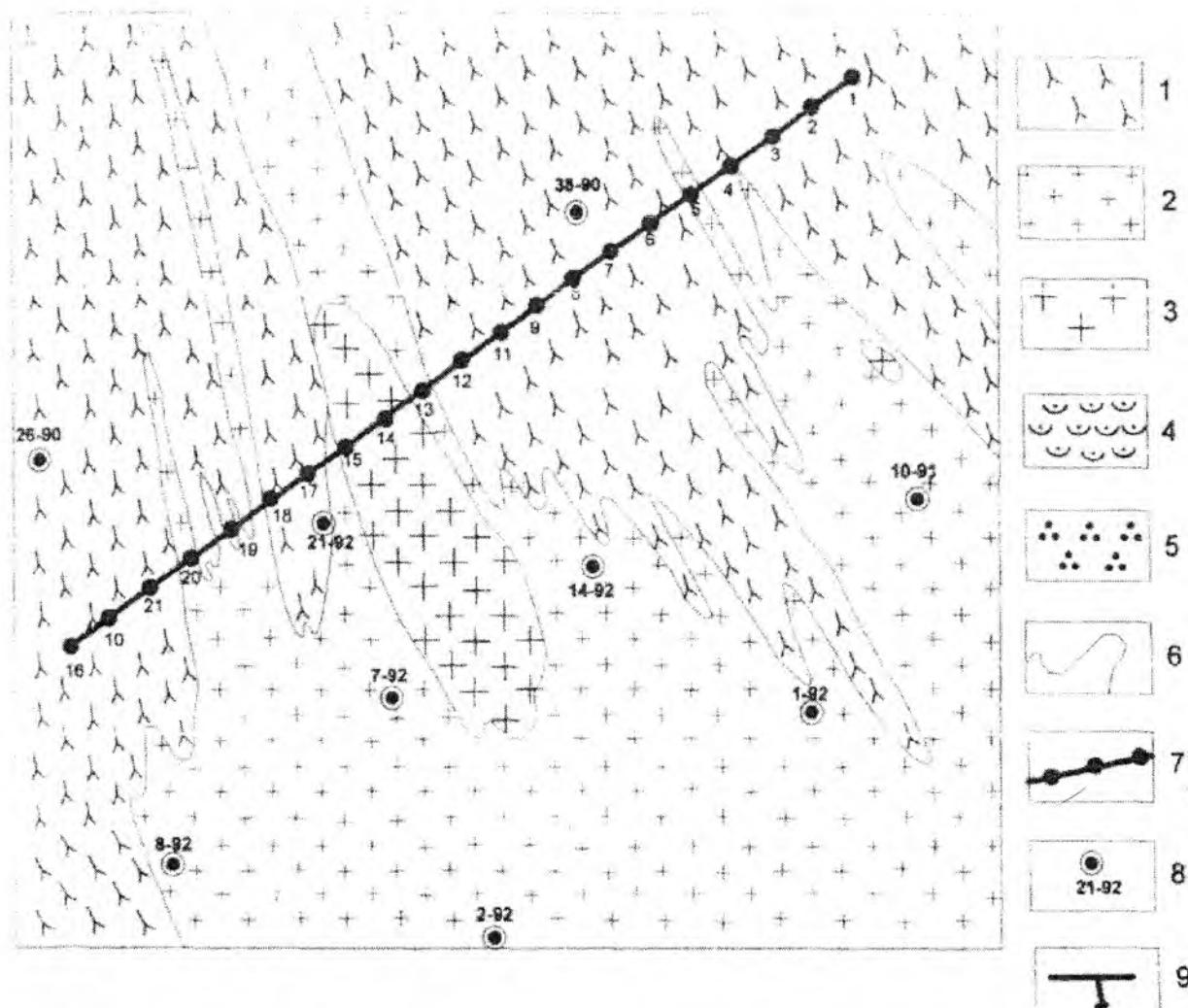


Рис. 31. Геологічний план Полохівського родовища: 1 – гнейси, 2 – граніти, граніти–апліт–пегматоїдні, пегматити, 3 – граніти–апліт–пегматоїдні з багатим зруденінням, 4 – граници різних типів поріг, 5 – профіль геохімічного опробування, 6 – сверловини та їх номери (за матеріалами В.М. Бугаєнка)

Геохімічна спеціалізація зон метасоматичного перетворення вмісних порід; на контакті пегматитів з турмалін–гранат–кордієритовими гнейсами, за результатами спектрального аналізу, різко зростає вміст цинку до 100–600 г/т, досягаючи в окремих випадках 1500 г/т. Це підтверджується і новими мінералами, що утворюються при цьому, – ганіт, нігерит. Збільшується і кількість міді до 100–400 г/т.

Рідкіснометальні літієві пегматити, пов'язані з комплексом кристалічної основи, не виходить на поверхню і перекріті мезозойсько–кайнозойськими теригенними відкладами платформного чохла, що залагають на нижньокрейдовій корі вивітрювання.

При проведенні геохімічних досліджень над головним рудним тілом Полохівського родовища і вмісними породами було відібрано 21 пробу з суглинків під рунтя вагою 1–3 кг з інтервалом у 20 м (див. рис. 31).

Було проведено визначення вмісту рухомих форм важких металів та фтору, а також сумарний вміст хімічних елементів. В результаті інтерпретації даних виявлено, що найбільш інформативним індикатором над апліт–пегматоїдними гранітами з багатим зруденінням є рухомі форми фтору та літію (рис. 31).

За рахунок падіння тіл на північний схід до 25°, аномалії зміщені у північно–східному напрямі на 20–25 м, що необхідно враховувати при виявленні рудних тіл.

В результаті досліджень встановлено, що елементом – індикатором родовища петалітів (літієвих пегматитів) є Li.

При моделюванні утворення вторинного сольового ореолу в програму LIBERTY BASIC було введено вхідні дані: розріз осадової товщі – чорноземи з великою часткою пилуватих пісків (потужність пласта 1,0 м, K_o – 0,01 м/добу), суглинки (потужність пласта 23,0 м,

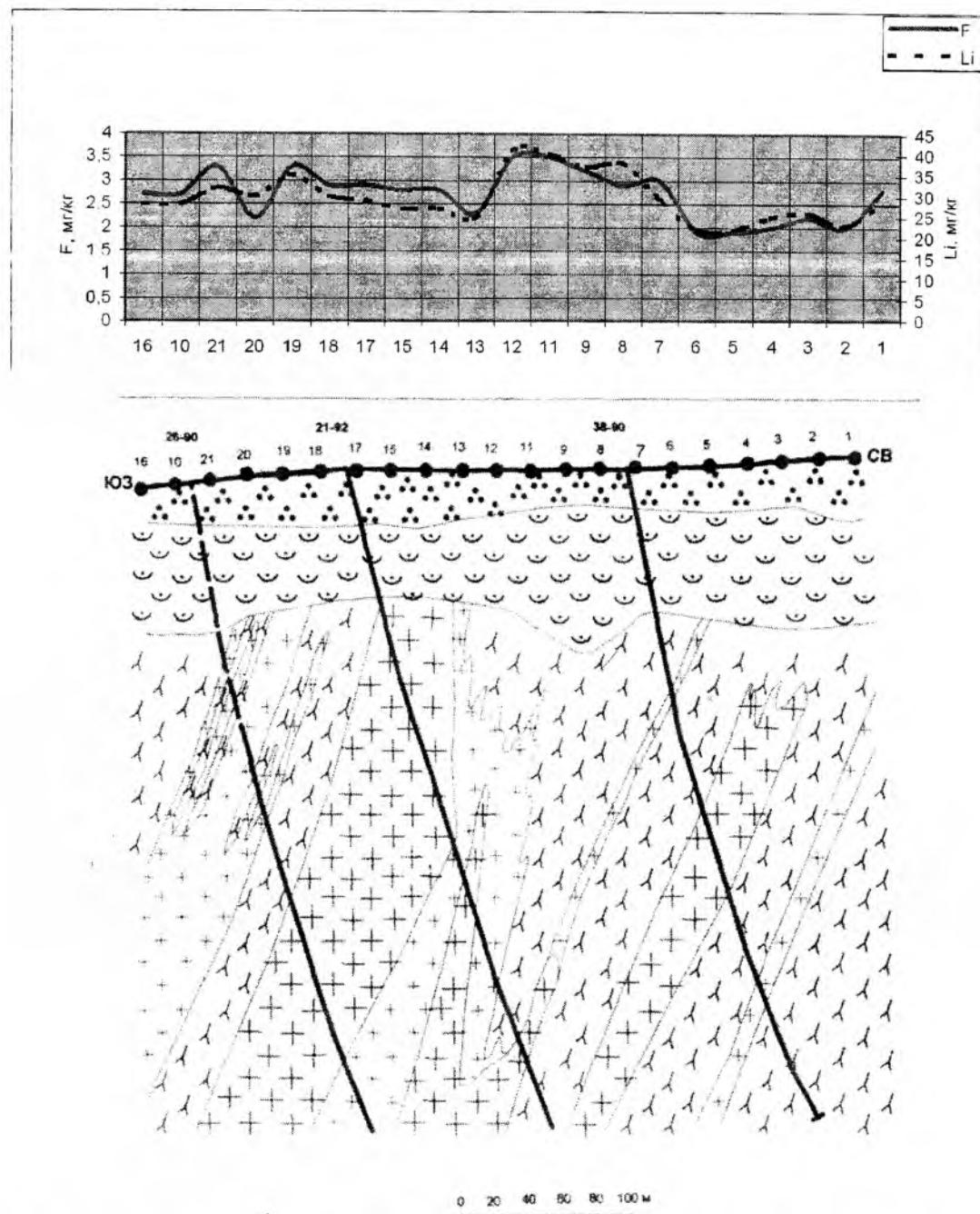


Рис. 32. Графіки розподілу рухомих форм фтору та літію в поверхневих відкладах над Полохівським рудопроявом по профілю. Умовні позначення, як на рис. 31

$K_f = 1,0 \text{ м/добу}$, пісок середньозернистий (потужність пласта 5,0 м, $K_f = 10 \text{ м/добу}$). Використовуються також коефіцієнт дифузії та інші параметри.

Тобто, осадова товща має 3 пласти, різної потужності з різними коефіцієнтами фільтрації. Попередніми роботами встановлено, що фоновий вміст Li у вторинному сольовому ореолі 20,0 мг/кг, аномальний – 26,5 мг/кг; діаметр рудного тіла – 20,0 м, концентрація рудного елемента на його поверхні – 2000,0 мг/кг.

Припускаємо, на глибині 29 м маємо рудне тіло. Концентрація Ni на поверхні рудного тіла, мг/кг: 1000,0; 2000,0; 3000,0; 4000,0.

Змінюючи діаметр рудного тіла, м: 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 проводимо низку розрахунків, в результаті чого одержуємо величини: інтегрального вмісту Li по площі аномалії вторинного сольового ореолу ($\text{m}^2 \cdot \text{мг/кг}$), інтегрального вмісту Li по площі рудного тіла ($\text{m}^2 \cdot \text{мг/кг}$) та максимальне значення рухомих форм Li у вторинному сольовому ореолі, мг/кг (див. табл. 9).

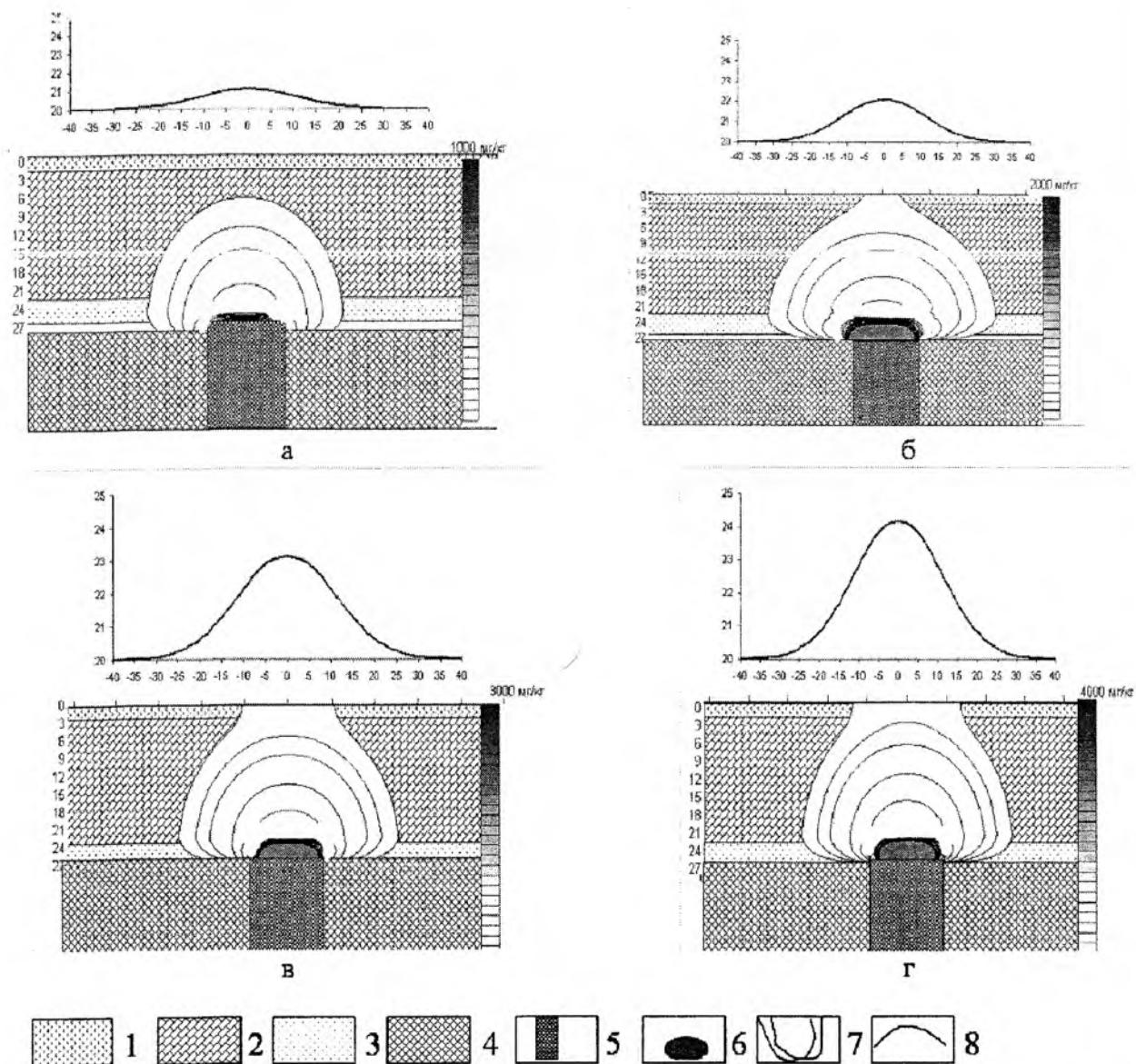


Рис. 33. Моделювання вторинного сольового ореолу на Полохівській ділянці, діаметр рудного тіла – 10,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (Li , $\text{мг}/\text{кг}$): а – 1000,0; б – 2000,0; в – 3000,0; г – 4000,0. 1 – чорноземи з великою часткою пилуватих пісків, 2 – суглинки, 3 – пісок середньозернистий, 4 – кора вивітрювання, 5 – рудне тіло, 6 – максимальний вміст на поверхні рудного тіла, 7 – ізолінії концентрату Li у вторинному ореолі, 8 – вміст рухомих форм Li у вторинному сольовому ореолі (вісь абсцис – метри на поверхні, вісь ординат – вміст елемента, $\text{мг}/\text{кг}$)

Результати моделювання вторинного сольового ореолу при діаметрі рудного тіла – 10,0 м та концентрації на поверхні рудного тіла (Li , $\text{мг}/\text{кг}$): а – 1000,0; б – 2000,0; в – 3000,0; г – 4000,0 приведені на рис. 33.

При концентрації Li на поверхні рудного тіла – 1 000,0 $\text{мг}/\text{кг}$ (див. рис. 32 а) сольовий ореол похований, тобто на поверхню може дійти мінімальна кількість елемента, яка буде не відрізнятися від фонового вмісту.

В данному випадку, чорноземи потужністю 1,0 м можуть бути геохімічним бар'єром для міграції Li з рудного тіла до сольового ореолу, але це відбувається при концентрації Li на поверхні

рудного тіла – 1 000,0 $\text{мг}/\text{кг}$ (див. рис. 33 а), у всіх інших випадках (рис. 34; 35; 36) ореол відкритий, і вже при концентрації на поверхні рудного тіла 1000,0 $\text{мг}/\text{кг}$ аномальні значення рудного елемента будуть фіксуватися.

Для визначення основних залежностей при моделюванні використовуються результати розрахунків (див. табл. 9), які дозволяють отримати кількісні параметри рудного тіла за відомими параметрами вторинного сольового ореолу.

Апроксимації залежностей були побудовані засобами MS Excel. На графіках наведено формули апроксимації та її достовірність (R^2).

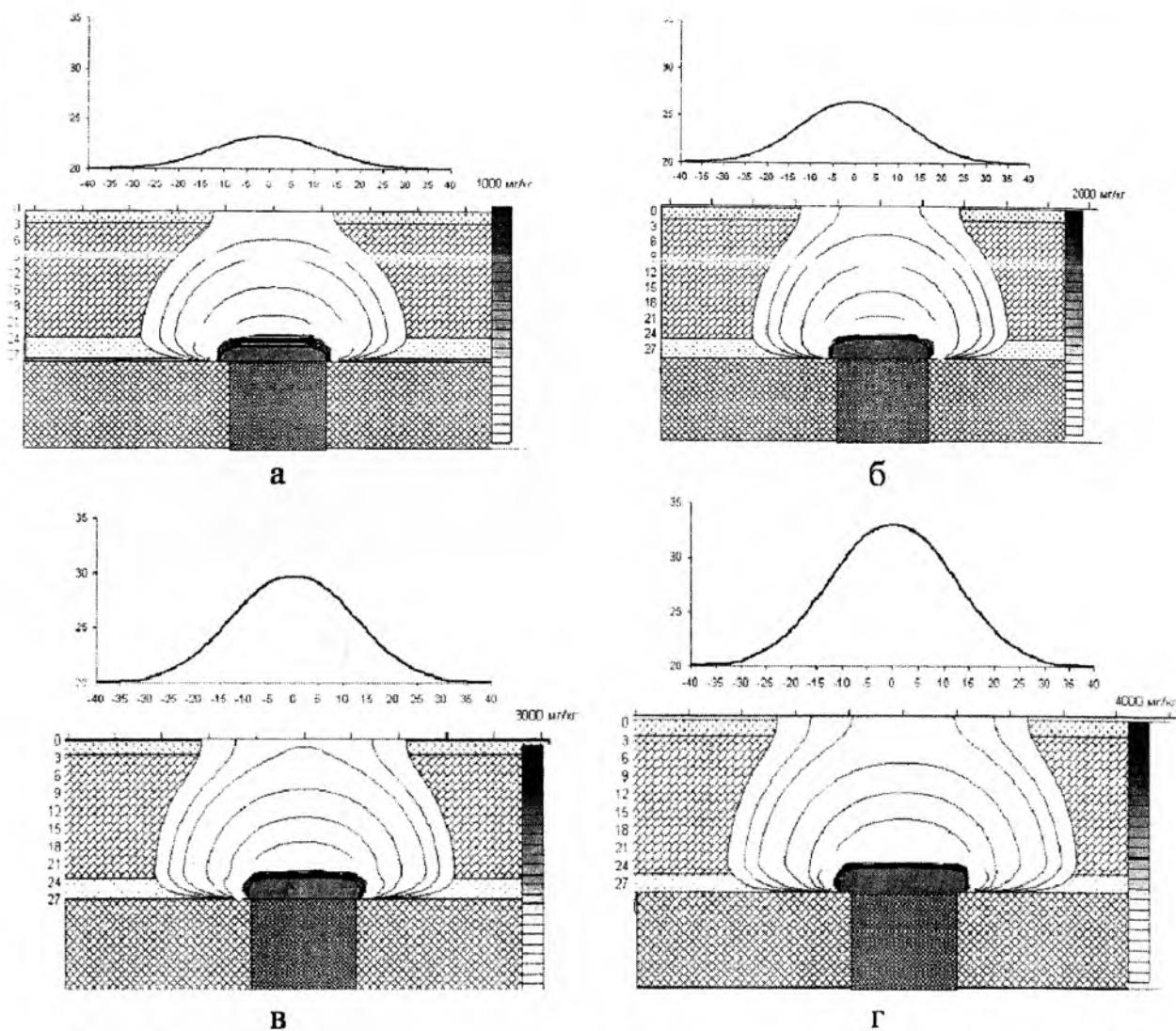


Рис. 34. Моделювання вторинного сольового ореолу на Полохівській ділянці, діаметр рудного тіла – 20,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (Li , $мг/кг$): а – 1000,0; б – 2000,0; в – 3000,0; г – 4000,0. Умовні позначення, як на рис. 33

Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площі аномалії сольового ореолу (CS_a''') від інтегрального вмісту елемента по площі рудного тіла (CS_p) наведена на рис. 36.

Залежність має лінійний характер, тобто $y = ax - b$, де $y = CS_a''' (\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг})$, а $x = CS_p (\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг})$.

Для визначення зв'язку вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла C_p від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі $C_{a\max}$ при різних діаметрах рудного тіла були побудовані графічні залежності (рис. 38).

Тобто, маючи лінійні рівняння для різних діаметрів рудного тіла при різних концентраціях рудного елемента на поверхні рудного тіла:

$$y = 967,36x - 19345 \text{ (для діаметра рудного тіла 10,0 м);}$$

$$y = 309,13x - 6180,7 \text{ (для діаметра рудного тіла 20,0 м);}$$

$y = 181,59x - 3629,7$ (для діаметра рудного тіла 30,0 м);

$y = 140,47x - 2807,3$ (для діаметра рудного тіла 40,0 м).

Для практичних цілей пошукової геохімії були побудовані залежності коефіцієнтів лінійних рівнянь (рис. 38) від діаметру рудного тіла.

Сумарна залежність вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі та діаметру рудного тіла виглядає наступним чином:

$$C_p = d_p^{-1,416} \cdot (23705 \cdot C_{a\max} - 474564)$$

де $C_{a\max}$ – максимальне значення у сольовому ореолі.

Припускаючи, що кількість точок геохімічного опробування достатня для отримання точного наближення фактичного інтегрального

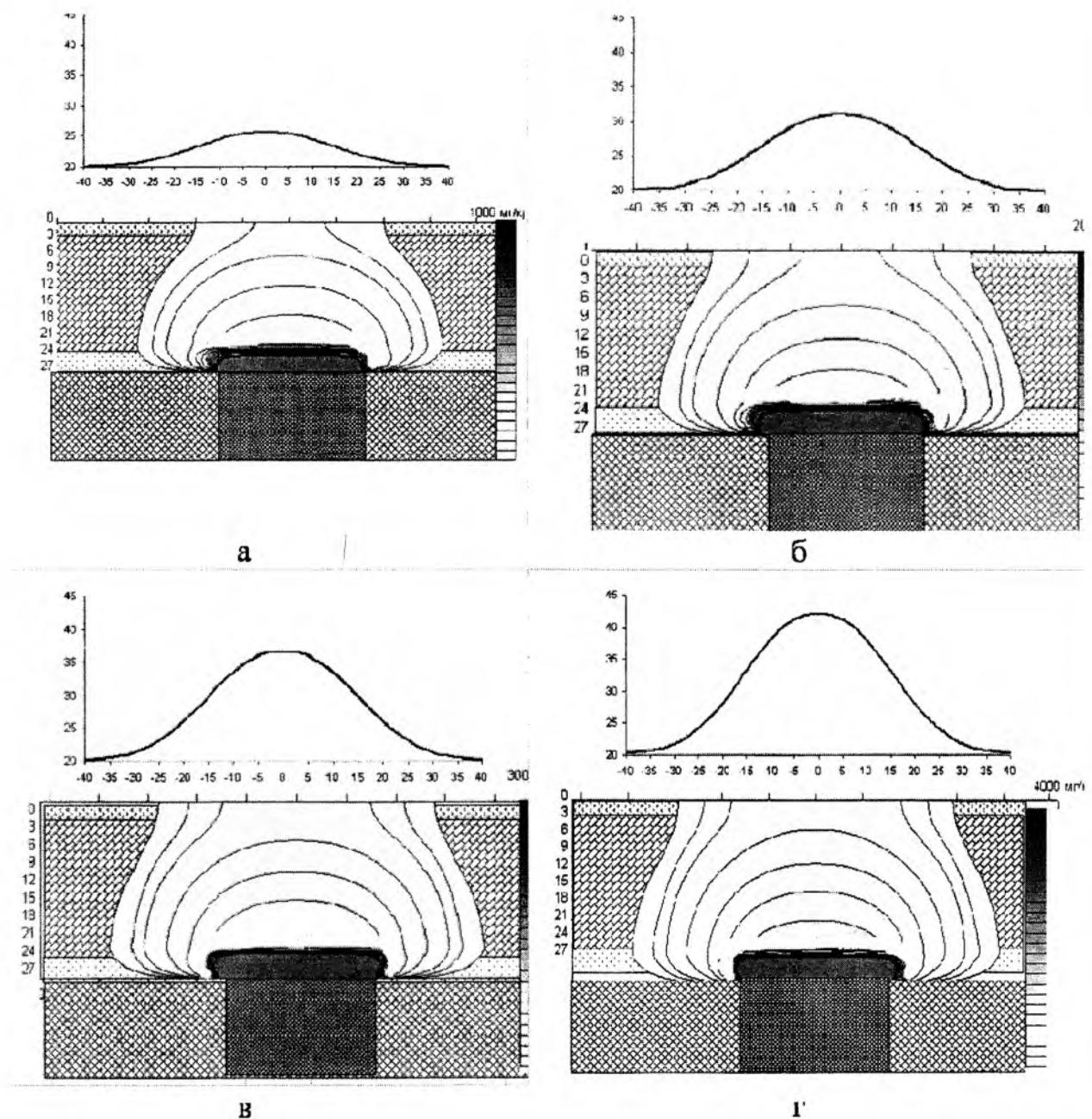


Рис. 35. Моделювання вторинного сольового ореолу на Полохівській ділянці, діаметр рудного тіла – 30,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (Li, мг/кг): а – 1000,0; б – 2000,0; в – 3000,0; г – 4000,0. Умовні позначення, як на рис. 33

вмісту до розрахункового інтегрального вмісту, використовується залежність (див. рис. 37):

$$CS_p = 116,87 \cdot CS_a^\phi - 6581,7.$$

Отримуємо систему нелінійних рівнянь, враховуючи визначення:

$$\begin{cases} C_p = d_p^{-1,416} \cdot (23705 \cdot C_a^{\max} - 474564), \\ CS_p = (C_p - C_\phi) \cdot (\pi \cdot d_p^2 / 4) \end{cases}$$

Тобто, отримуємо формулу:

$$CS_p = (\pi \cdot d_p^2 / 4) \left(d_p^{-1,416} \cdot (23705 \cdot C_a^{\max} - 474564) - C_\phi \right)$$

Це нелінійне рівняння вирішується чисельними методами. Але якщо знехтувати C_ϕ , оскільки воно значно менше ніж C_p , то система вирішується аналітичними методами:

$$d_p = e^{\left(\frac{1}{0,584} \ln \left(\frac{4(116,87 \cdot C_a^\phi - 6581,7)}{\pi(23705 \cdot C_a^{\max} - 474564)} \right) \right)}$$

$$C_p = d_p^{-1,416} \cdot (23705 \cdot C_a^{\max} - 474564)$$

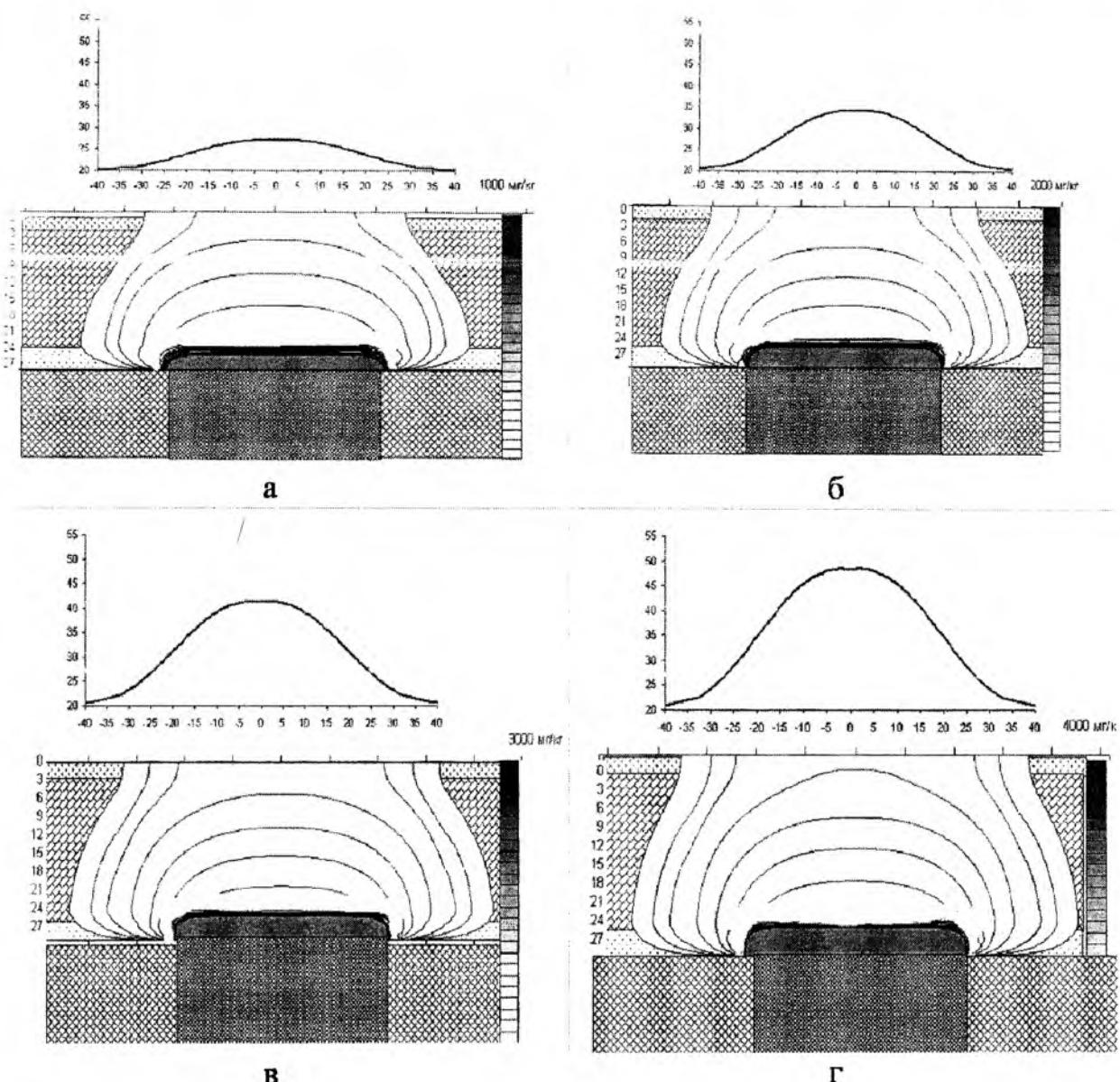


Рис. 36. Моделювання вторинного сольового ореолу на Полохівській ділянці, діаметр рудного тіла – 40,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (Li , мг/кг): а – 1000,0; б – 2000,0; в – 3000,0; г – 4000,0. Умовні позначення, як на рис. 33

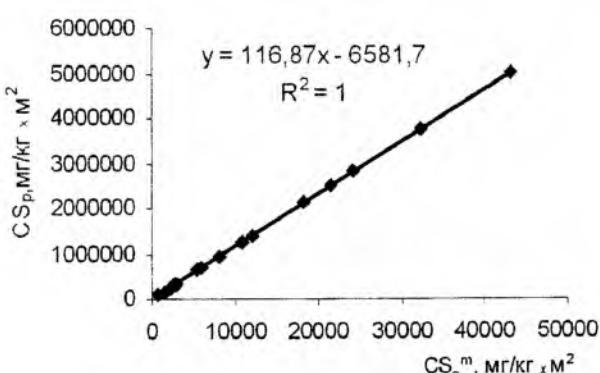


Рис. 37. Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площі аномалії сольового ореолу (CS_p) від інтегрального вмісту елемента по площі рудного тіла (CS_a)

Наприклад, якщо CS_p дорівнює 4000 мг/кг · m^2 , а $C_{a\max}$ – 25 мг/кг, то діаметр рудного тіла складає близько 9,5 м, а концентрація на його поверхні більше 4500 мг/кг.

Пержанска ділянка. Своєрідним флюоритом – рідкісноземельним типом зруденіння є група рудопроявів флюориту, розташована на північно – західній окraїні УЦ у районі Сущано – Пержанської тектонічної зони. Характеристика ділянки та геохімічні дослідження надані у статті [16]. Представлена вона великою лінійною зоною змінання, розсланцювання і катаклаза різних порід. У геологічній будові району беруть участь породи докембрію, що характеризуються широким розвитком метасоматичних процесів – аль-

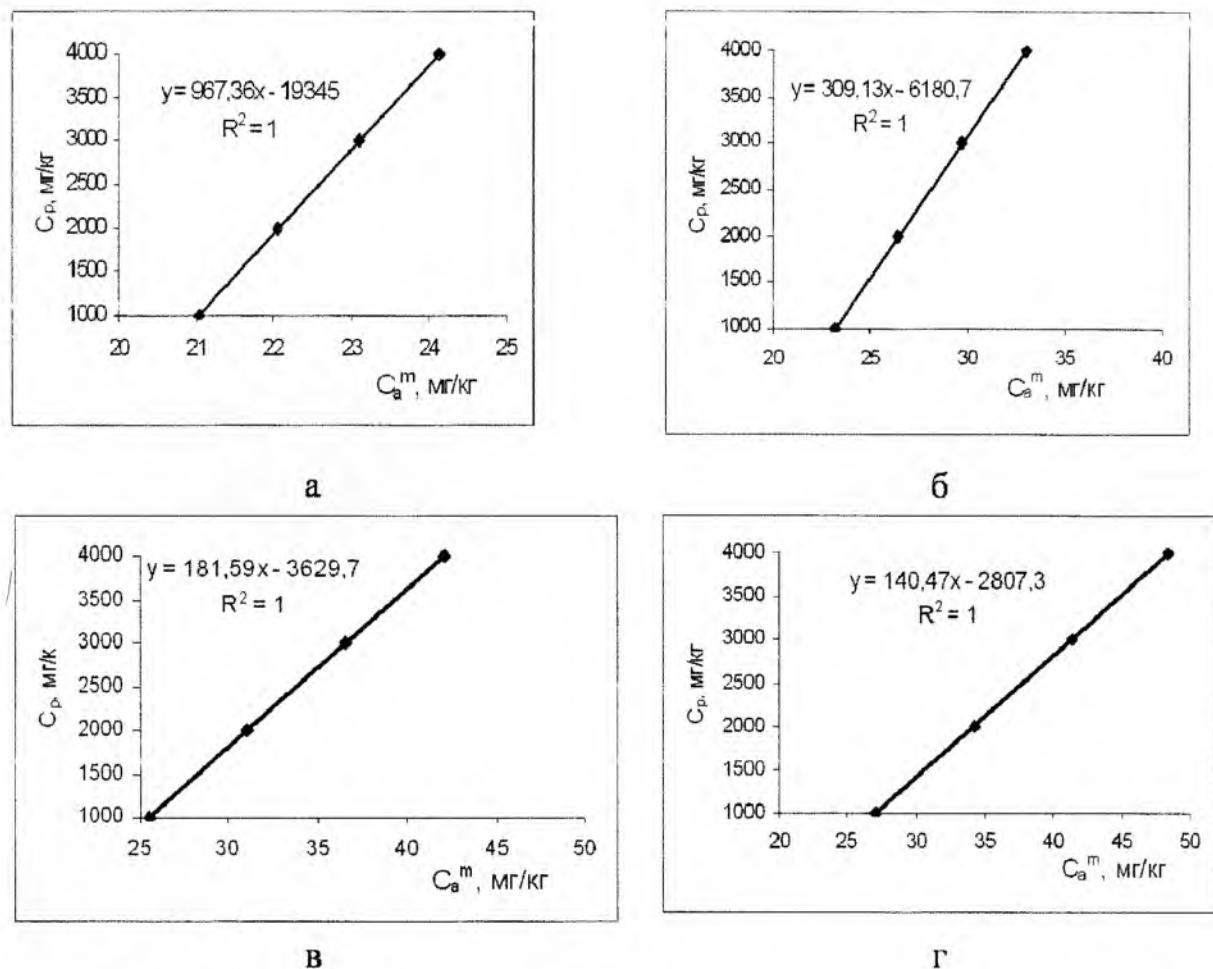


Рис. 38. Залежність концентрації на поверхні рудного тіла від максимального значення на поверхні при діаметрі рудного тіла, м: а – 10,0; б – 20,0; в – 30,0; г – 40,0

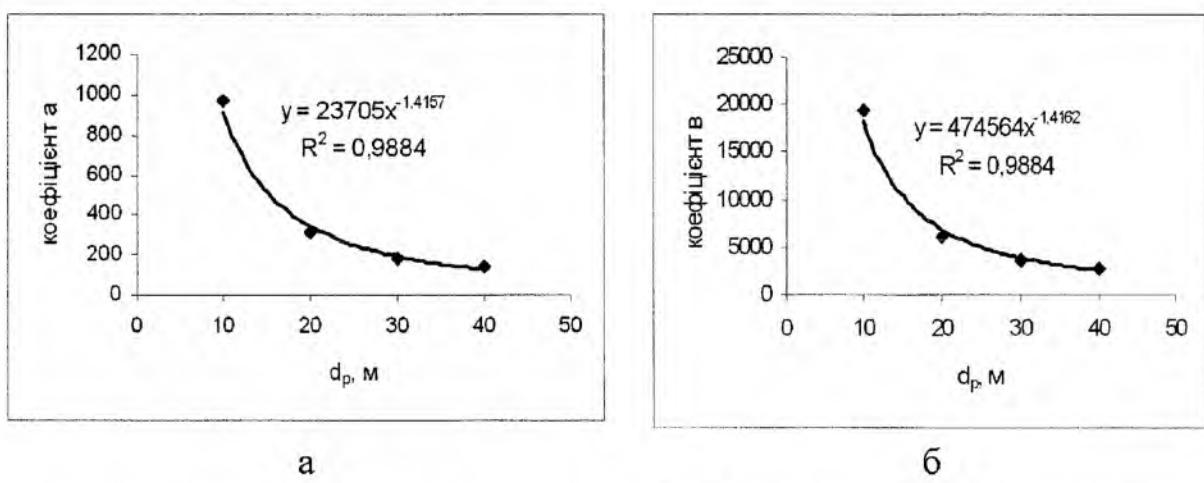


Рис. 39. Залежність коефіцієнтів від діаметру рудного тіла: а – коефіцієнт «а», б – коефіцієнт «в»

бітизації, грейзенизації, окварцовування, ці процеси проходили за активної участі фтору, що відбилося на розподілі його вмісту у різних типах порід; від 0,048 у гранітах до 0,60 % у сінітах і метасоматитах.

Флюорит – рідкісноземельне зруденіння розташовано в центральній частині Сущано-Пержанської зони. Воно приурочено до грейзенів мусковіт-кварцового, біотит-кварцового складу і до грейзенізованих діоритів.

Морфологія виділень флюориту різна: прокілки, лінзи, гнізда потужністю від перших міліметрів до 1,5–2,0 см. Максимальний вміст його у породі – до 50 %. Потужність прошарків з вмістом фтору понад 10 % не перевищує 2–3 м і простежується за простяганням на 85–90 м, падіння – до 80–85°.

При проведенні геохімічних досліджень визначалися рухомі форми елементів – індикаторів рудопрояву за лінією розташування свердловин, найбільш ефективними виявилися рухомі форми F, Zn, Ni.

Для кожного з елементів – індикаторів зруденіння (F, Ni та Zn) проведено моделювання.

При моделюванні утворення вторинного сольового ореолу в програму LIBERTY BASIC було введено вхідні дані: розріз осадової товщі – пісок середньозернистий (потужність пласта 10,0 м; $K_f = 15,0$ м/добу). Використовуються також коефіцієнт дифузії та інші параметри.

Моделювання вторинного сольового ореолу (за рухомими формами фтору). Геохімічними роботами встановлено, що фоновий вміст F у сольовому ореолі – 2,0 мг/кг, аномальний – 20,0 мг/кг; діаметр рудного тіла 2,0 м, концентрація рудного елемента на його поверхні – 20%.

При моделюванні робиться припущення, що глибина залягання рудного тіла 10,0 м, а вміст F на поверхні рудного тіла змінний, мг/кг: у першому

випадку 100000,0, у другому – 150 000,0, у третьому – 200 000,0; у четвертому – 250 000,0.

Змінюючи діаметр рудного тіла для кожного з випадків, м: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; проводимо низку розрахунків, в результаті чого одержуємо – максимальний вміст Ni у сольовому ореолі ($m^2 \cdot mg/kg$), інтегральний вміст F по площині рудного тіла ($m^2 \cdot mg/kg$) та інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу ($m^2 \cdot mg/kg$). Результати серії обчислювальних експериментів (16 експериментів) наведені в табл. 10.

За розрахунками неможливо визначити діаметр сольового ореолу (м), хоча ізолінії концентрацій показують на збільшення діаметру при підвищенні концентрації рудного елемента на рудному тілі (рис. 40).

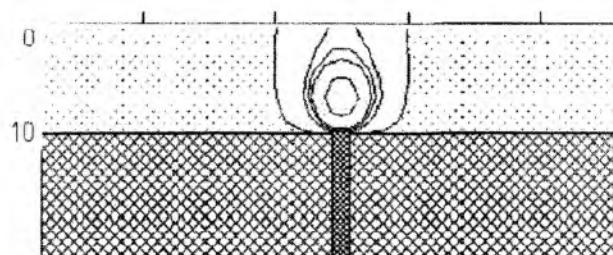
Тобто, ізолінії концентрат немає сенсу наводити, бо осадова товща представлена одно – манітними породами (пісок середньозернистий). На рис. 41 – 44 наведені графіки розподілу фтору при різних діаметрах рудного тіла і концентрації рудного елемента на його поверхні.

При збільшенні концентрації на 500 мг/кг, максимальне значення у вторинному ореолі теж збільшується: при діаметрі рудного тіла 1,0 м – на 1,4 – 1,5 мг/кг по відношенню до попередній концентрації; при діаметрі – 1,5 м – на 2,8 – 2,9 мг/кг; при діаметрі 2,0 м – на 4,5 – 4,6 мг/кг; при діаметрі 2,5 м – на 6,9 мг/кг.

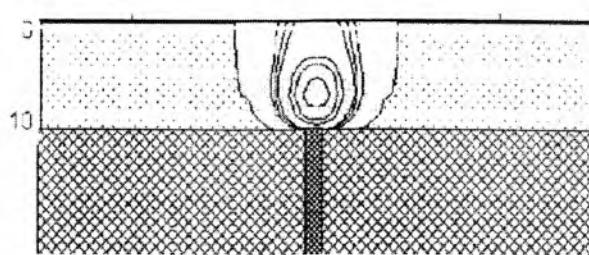
Таблиця 10

Результати 16 чисельних експериментів на Пержанській ділянці (за фтором)

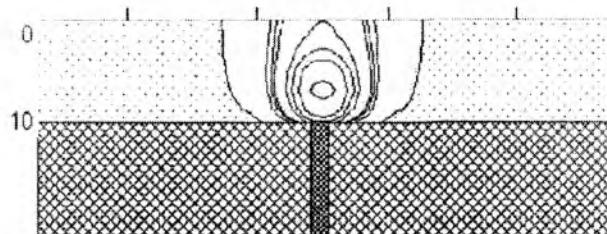
Номер експеримента	Інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу, $m^2 \cdot mg/kg$	Інтегральний вміст елемента по площині рудного тіла, $m^2 \cdot mg/kg$	Максимальне значення вмісту елемента у сольовому ореолі, mg/kg	Діаметр рудного тіла, м	Вміст елемента на поверхні рудного тіла, mg/kg
1	138,4	78500	4,8	1	100000
2	207,6	117750	6,2	1	150000
3	276,8	157000	7,7	1	200000
4	346,1	196250	9,1	1	250000
5	279,3	176625	7,6	1,5	100000
6	419	264937,5	10,5	1,5	150000
7	558,7	353250	13,3	1,5	200000
8	698,4	441562,5	16,1	1,5	250000
9	470,2	314000	11,3	2	100000
10	705,3	471000	16	2	150000
11	940,4	628000	20,6	2	200000
12	1175,6	785000	25,3	2	250000
13	712,7	490625	15,8	2,5	100000
14	1069,1	735937,5	22,7	2,5	150000
15	1425,4	981250	29,6	2,5	200000
16	1781,8	1226562,5	36,5	2,5	250000



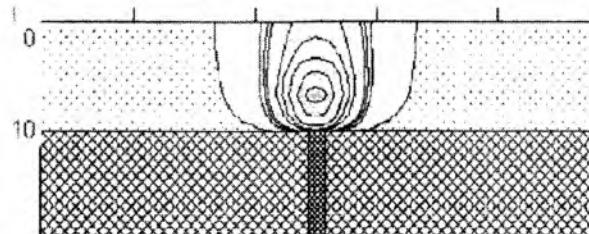
а



б

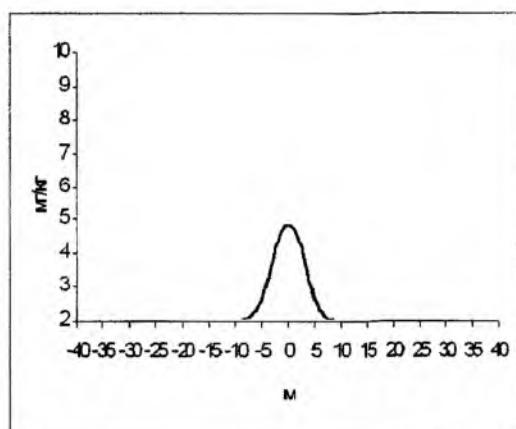


в

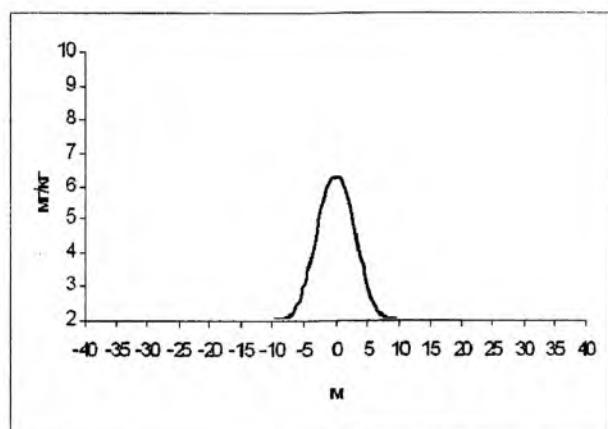


г

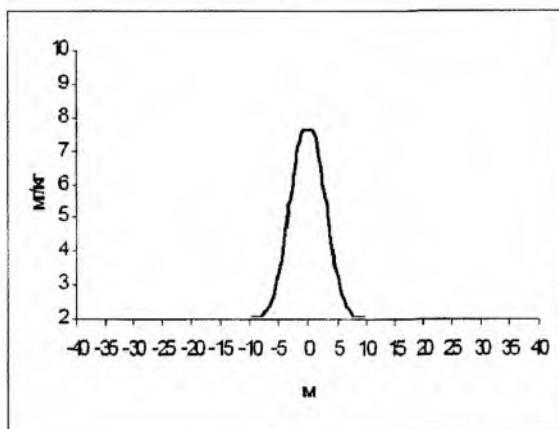
Рис. 40. Типові моделі ізоліній концентрації вторинного сольового ореолу при вмісті рудного елемента на поверхні рудного тіла, мг/кг: а – 100000,0; б – 150000,0; в – 200000,0; 250000



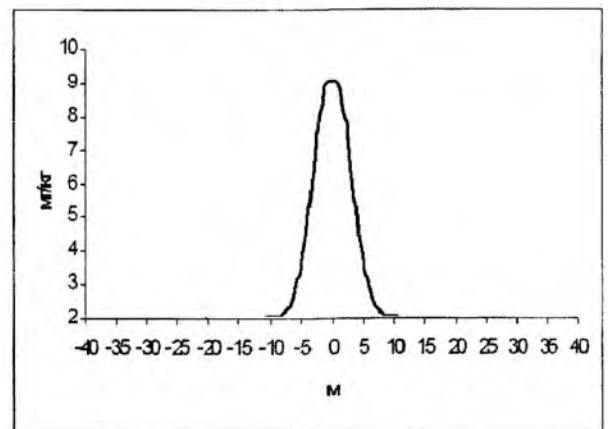
а



б



в



г

Рис. 41. Графіки розподілу F у вторинному сольовому ореолі на Пержанській ділянці, діаметр рудного тіла – 1,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (F , мг/кг): а – 100 000,0; б – 150 000,0; в – 200 000,0; г – 250 000,0

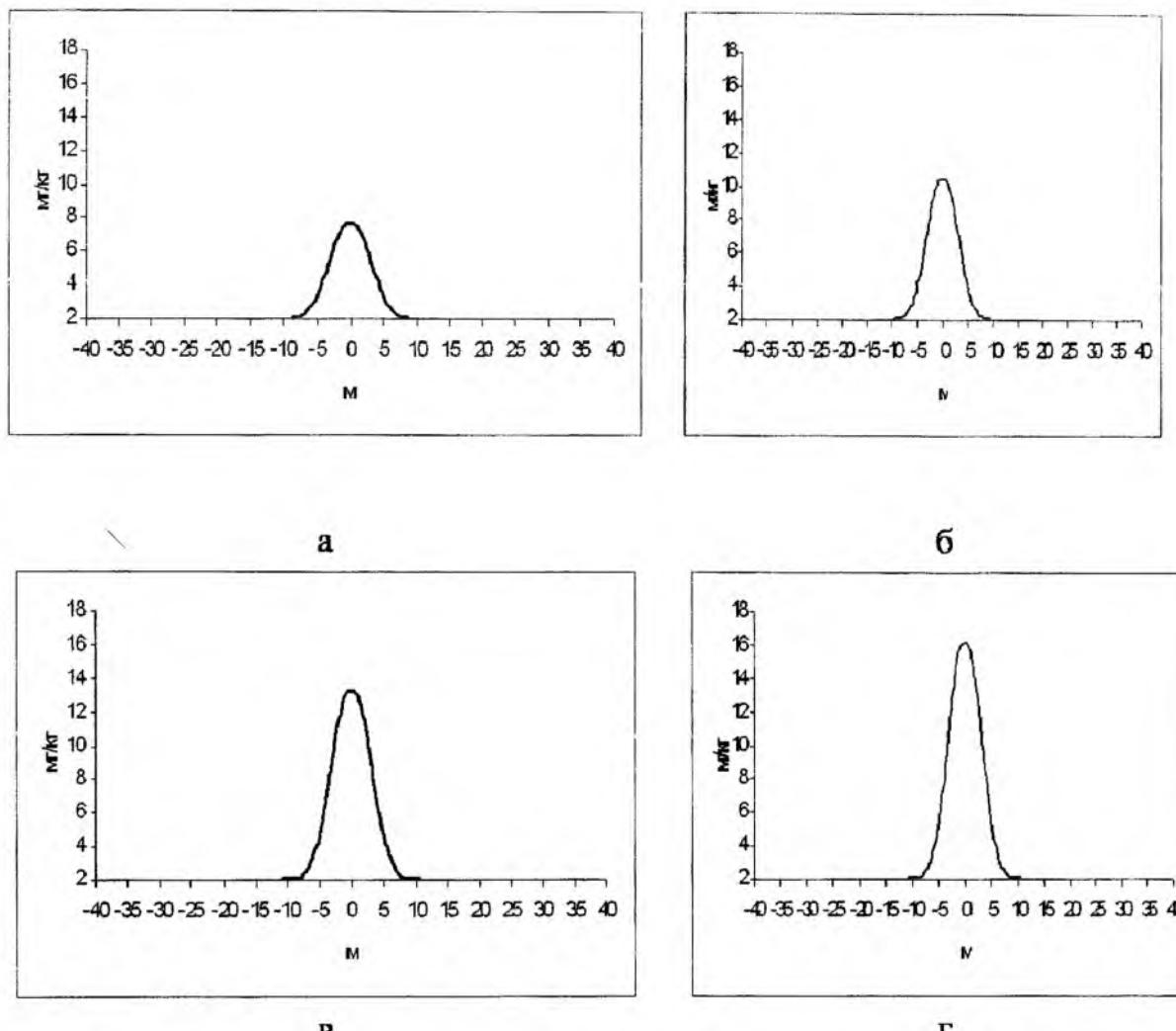


Рис. 42. Графіки розподілу F у вторинному сольовому ореолі на Пержанській ділянці, діаметр рудного тіла – 1,5 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (F , мг/кг): а – 100 000,0; б – 150 000,0; в – 200 000,0; г – 250 000,0

Для визначення основних залежностей при моделюванні використовуються результати розрахунків, які дозволяють отримати кількісні параметри рудного тіла за відомими параметрами вторинного сольового ореолу.

Апроксимації залежностей були побудовані засобами MS Excel. На графіках наведено формули апроксимації та її достовірність (R^2).

Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площі аномалії сольового ореолу ($CS_{\text{ш}}^{\text{ш}}$) від інтегрального вмісту елемента по площі рудного тіла ($CS_{\text{р}}$) наведена на рис. 45.

Для визначення зв'язку вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла $C_{\text{р}}$ від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі $C_{\text{ш}}^{\text{max}}$ при різних діаметрах рудного тіла були побудовані графічні залежності (рис. 46).

Тобто, маючи лінійні рівняння для різних діаметрів рудного тіла при різних концентраціях рудного елемента на поверхні рудного тіла:

$$y = 35368x - 70333 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 1,0 \text{ м});$$

$$y = 17748x - 35493 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 1,5 \text{ м});$$

$$y = 10728x - 21455 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 2,0 \text{ м});$$

$$y = 7237,2x - 14472 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 2,5 \text{ м}).$$

Для практичних цілей пошукової геохімії були побудовані залежності коефіцієнтів лінійних рівнянь (рис. 47) від діаметру рудного тіла.

Сумарна залежність вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі та діаметру рудного тіла виглядає наступним чином: , де – максимальне значення у сольовому ореолі.

Припускаючи, що кількість точок геохімічного опробування достатня для отримання точно го наближення фактичного інтегрального вмісту до розрахункового, використовується залежність:

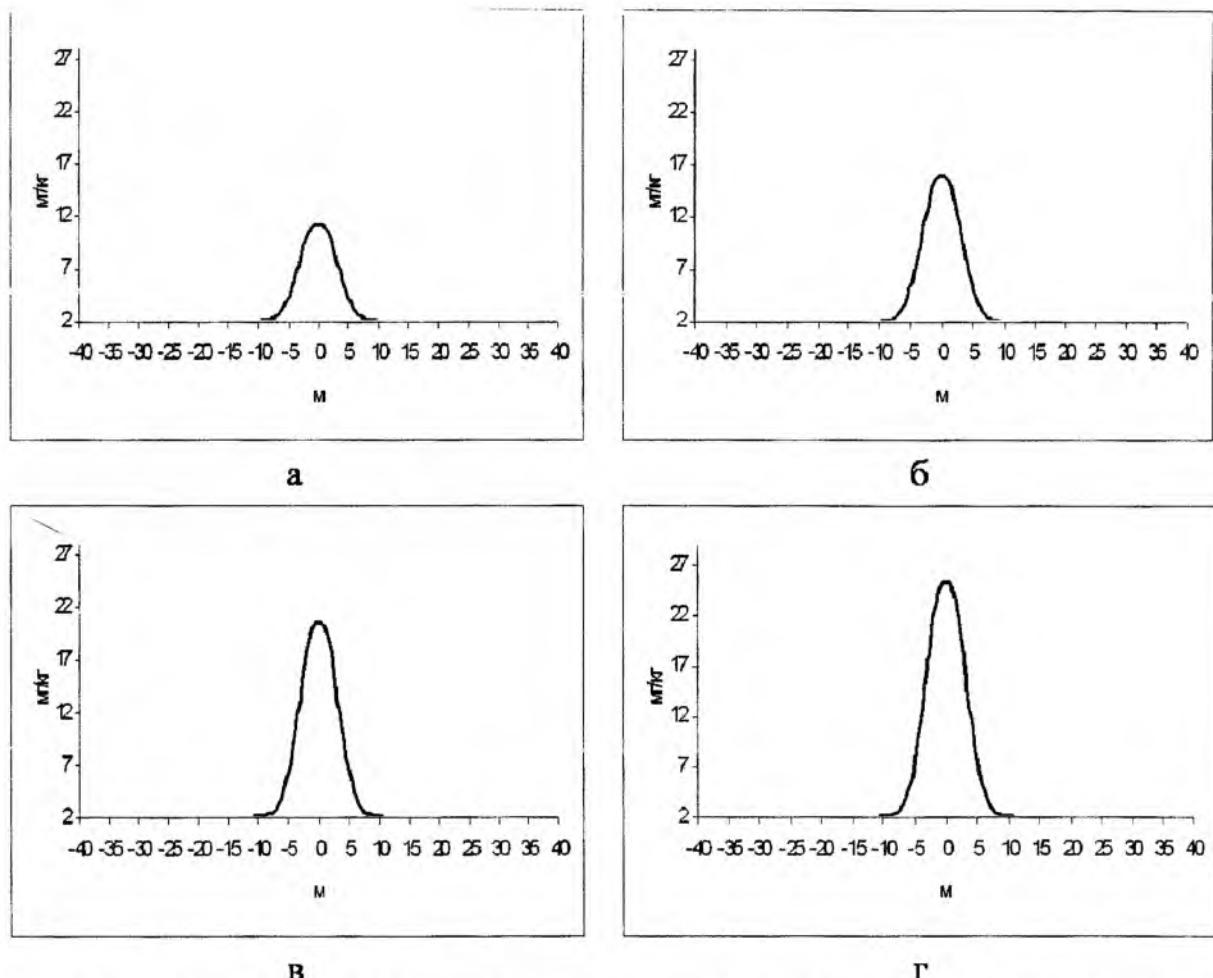


Рис. 43. Графіки розподілу F у вторинному сольовому ореолі на Пержанській ділянці, діаметр рудного тіла – 2,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (F , мг/кг): а – 100 000,0; б – 150 000,0; в – 200 000,0; г – 250 000,0

$$CS_p = 704,9 \cdot CS_a^\phi - 30008.$$

Отримуємо систему нелінійних рівнянь, враховуючи визначення:

$$\begin{cases} C_p = d_p^{-1,73} \cdot (35538 \cdot C_a^{\max} - 70756) \\ CS_p = (C_p - C_\phi) \cdot (\pi \cdot d_p^2 / 4) \end{cases}$$

Тобто, отримуємо формулу:

$$CS_p = (\pi \cdot d_p^2 / 4) \cdot (d_p^{-1,73} \cdot (35538 \cdot C_a^{\max} - 70756) - C_\phi)$$

Це рівняння вирішується чисельними методами. Але якщо знехтувати C_ϕ , оскільки воно значно менше ніж C_p , то система вирішується аналітичними методами:

$$d_p = e^{\left(\frac{1}{0,27} \ln \left(\frac{4 \cdot (704,9 \cdot C_a^\phi - 30008)}{\pi \cdot (35538 \cdot C_a^{\max} - 70756)} \right) \right)}$$

$$C_p = d_p^{-1,73} \cdot (35538 \cdot C_a^{\max} - 70756),$$

Наприклад, якщо CS_a^ϕ дорівнює 900 мг/кг·м², а C_a^{\max} – 20 мг/кг, то діаметр рудного тіла – 1,98 м, а концентрація на поверхні 19,7%.

Моделювання процесів утворення вторинного сольового ореолу (за рухомими формами цинку). Встановлено, що фоновий вміст Zn у сольовому ореолі – 2,0 мг/кг, аномальний – 14,0 мг/кг; діаметр рудного тіла 5,0 м, концентрація рудного елемента на його поверхні – 1,05%.

При моделюванні робиться припущення, що глибина залягання рудного тіла 10,0 м, а вміст Zn на поверхні рудного тіла змінний, мг/кг: у першому випадку 100000,0; у другому – 150 000,0; у третьому – 200 000,0; у четвертому – 250 000,0.

Змінюючи діаметр рудного тіла для кожного з випадків, м: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; проводимо низку розрахунків, в результаті чого одержуємо – максимальний вміст Zn у сольовому ореолі (м²·мг/кг), інтегральний вміст Zn по площині рудного тіла (м²·мг/кг) та інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу (м²·мг/кг). Результати серії обчислювальних експериментів наведені в табл. 11.

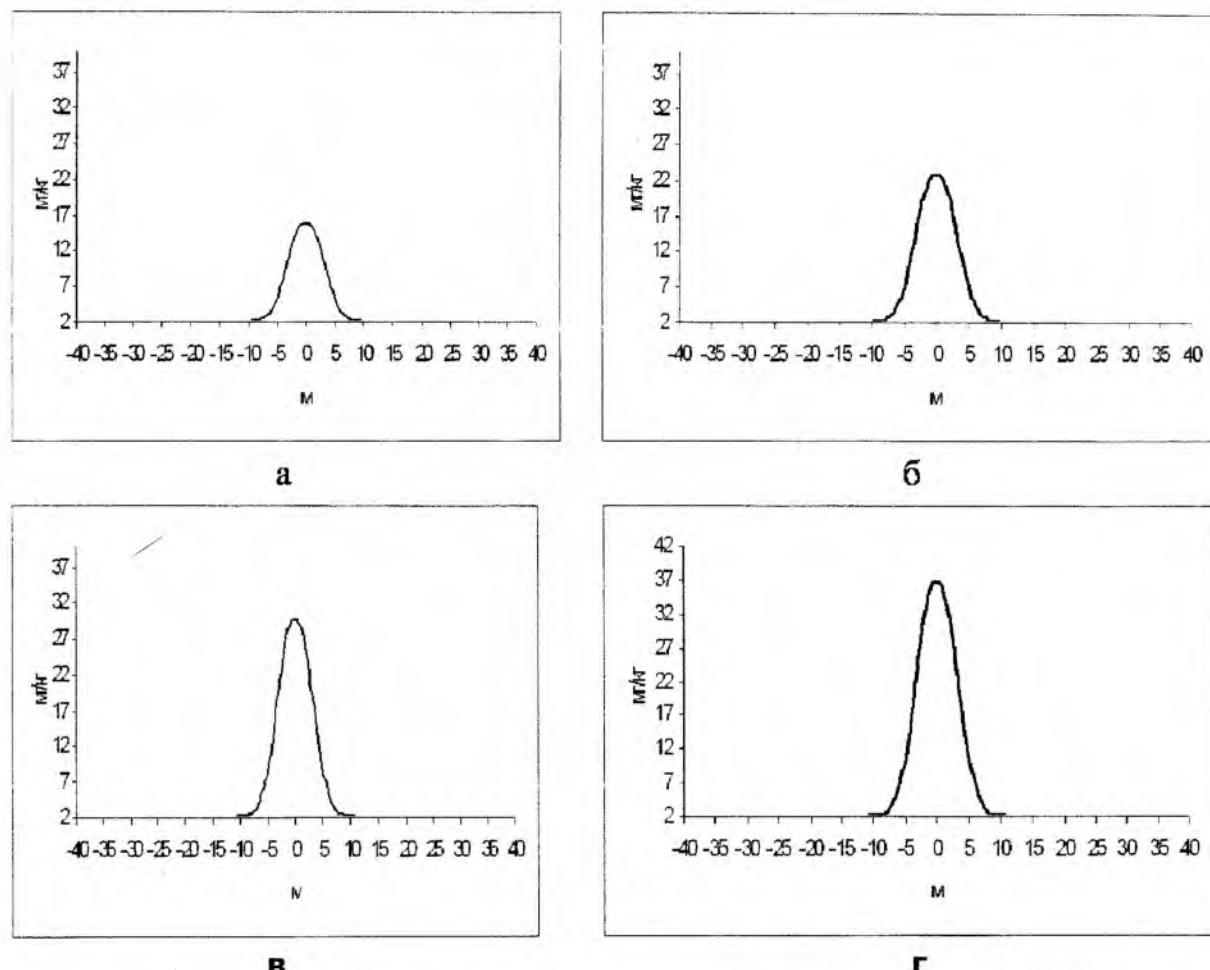


Рис. 44. Графіки розподілу F у вторинному сольовому ореолі на Пержанській ділянці, діаметр рудного тіла – 2,5 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (F , мг/кг): а – 100 000,0; б – 150 000,0; в – 200 000,0; г – 250 000,0

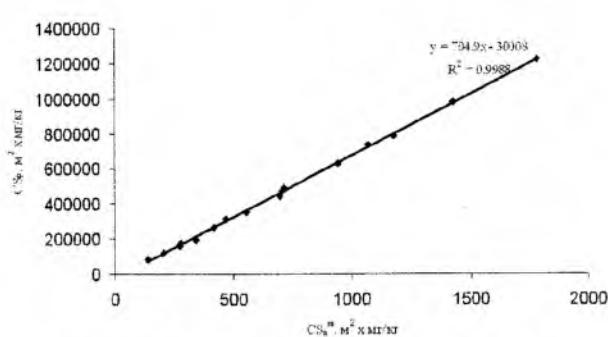


Рис. 45. Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площі аномалії сольового ореолу (CS_a^m) від інтегрального вмісту елемента по площі рудного тіла (CS_o^m)

Аналогічно моделюванню вторинного сольового ореолу за фтором було проведено моделювання за цинком, встановлені наступні залежності.

Для визначення основних залежностей при моделюванні використовуються результати розрахунків (табл. 11), які дозволяють отримати кількісні параметри рудного тіла за відомими параметрами вторинного сольового ореолу.

Апроксимації залежностей були побудовані засобами MS Excel. На графіках наведено формулі апроксимації та її достовірність (R^2). Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площі аномалії сольового ореолу (CS_a^m) від інтегрального вмісту елемента по площі рудного тіла (CS_o^m) наведена на рис. 48. Залежність має лінійний характер, тобто $y = ax - b$, де y – CS_a^m ($m^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$), а x – CS_o^m ($m^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$).

Для визначення зв'язку вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла C_o від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі $C_{a,max}$ при різних діаметрах рудного тіла були побудовані графічні залежності (рис. 49).

Тобто, маючи лінійні рівняння для різних діаметрів рудного тіла при різних концентраціях рудного елемента на поверхні рудного тіла:

$$y = 2314,5x - 4627 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 1,0 \text{ м});$$

$$y = 1162,2x - 2322,4 \quad (1,5 \text{ м});$$

$$y = 701,95x - 1401,9 \quad (2,0 \text{ м});$$

$$y = 472,22x - 942,45 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 2,5 \text{ м}).$$

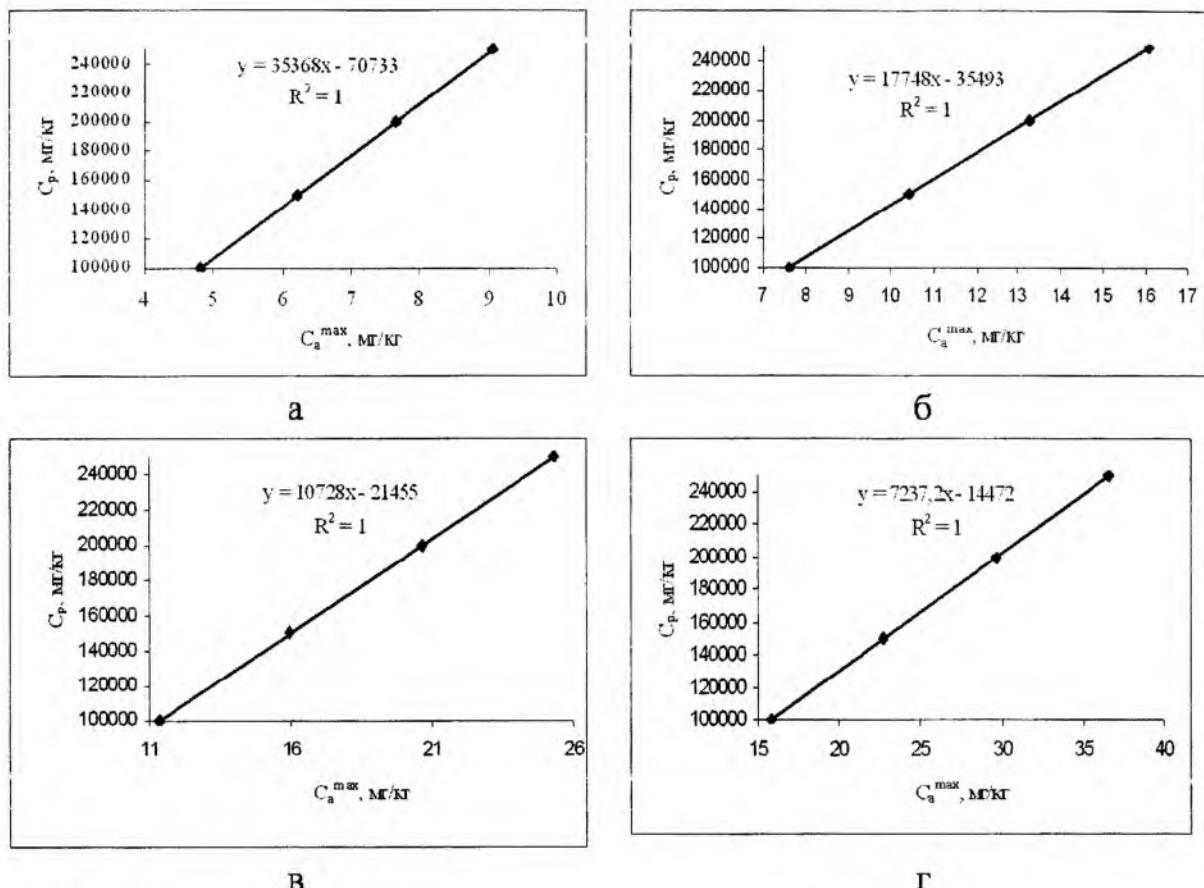


Рис. 46. Залежність вмісту рудного елемента на поверхні рудного тіла (C_p) від максимального значення елемента у сольовому ореолі (C_a^{\max}) при діаметрі рудного тіла: а – 1,0 м; б – 1,5 м; в – 2,0 м; г – 2,5 м

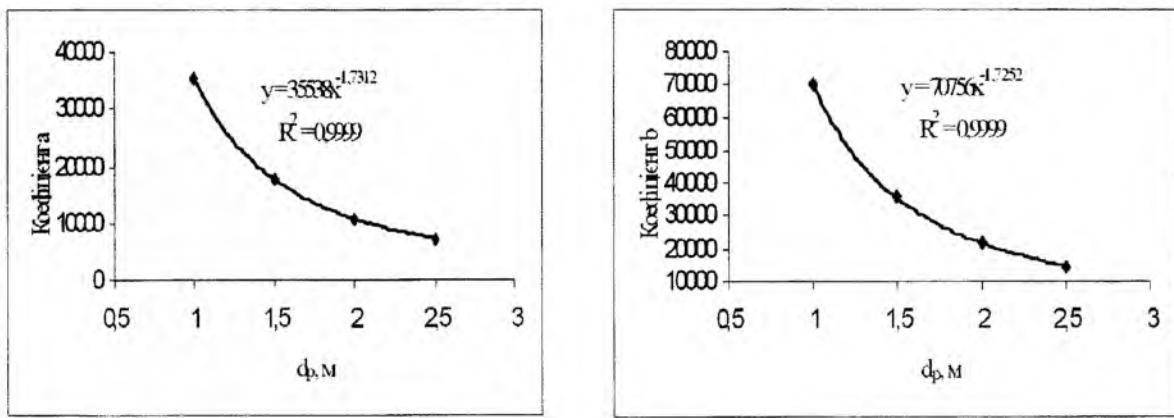


Рис. 47. Залежність коефіцієнтів від діаметру рудного тіла: а – коефіцієнту «а», б – коефіцієнту «в»

Для практичних цілей пошукової геохімії були побудовані залежності коефіцієнтів лінійних рівнянь (рис. 49) від діаметру рудного тіла.

Сумарна залежність вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі та діаметру рудного тіла виглядає наступним чином:

$$C_p = d_p^{-1.73} \cdot (35538 \cdot C_a^{\max} - 70756)$$

де C_a^{\max} – максимальне значення у сольовому ореолі.

Припускаючи, що кількість точок геохімічного опробування достатня для отримання

Таблиця 11

Результати 16 чисельних експериментів (за цинком)

Номер експеримента	Інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу, м ² ·мг/кг	Інтегральний вміст елемента по площині рудного тіла, м ² ·мг/кг	Максимальне значення вмісту елемента у сольовому ореолі, мг/кг	Діаметр рудного тіла, м	Вміст елемента на поверхні рудного тіла, мг/кг
1	341,3	7850	6,3	1	10000
2	512	11775	8,5	1	15000
3	682,7	15700	10,6	1	20000
4	853,4	19625	12,8	1	25000
5	684,1	17662,5	10,6	1,5	10000
6	1026,2	26493,8	14,9	1,5	15000
7	1368,2	35325	19,2	1,5	20000
8	1710,3	44156,3	23,5	1,5	25000
9	1142,7	31400	16,2	2	10000
10	1714,2	47100	23,4	2	15000
11	2285,6	62800	30,5	2	20000
12	2857,1	78500	37,6	2	25000
13	1718,1	49062,5	23,2	2,5	10000
14	2577,3	73593,8	33,8	2,5	15000
15	3436,6	98125	44,3	2,5	20000
16	4295,8	122656,3	54,9	2,5	25000

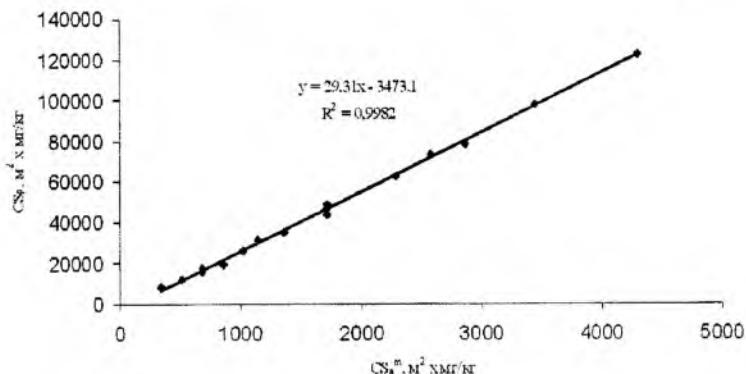


Рис. 48. Залежність сумарного інтегрального вмісту елемента по площині аномалії сольового ореолу (CS_a'') від інтегрального вмісту елемента по площині рудного тіла (CS_p)

точного наближення фактичного інтегрального вмісту до розрахункового інтегрального вмісту, використовується залежність (див. рис.47):

$$CS_p = 704,9 \cdot CS_a^\phi - 30008.$$

Отримуємо систему нелінійних рівнянь, враховуючи визначення:

$$\begin{cases} C_p = d_p^{-1,73} \cdot (35538 \cdot C_a^{\max} - 70756) \\ CS_p = (C_p - C_\phi) \cdot (\pi \cdot d_p^2 / 4) \end{cases}$$

Тобто, отримуємо формулу:

$$CS_p = (\pi \cdot d_p^2 / 4) \cdot (d_p^{1,73} \cdot (35538 \cdot C_a^{\max} - 70756) - C_\phi)$$

Це нелінійне рівняння вирішується чисельними методами. Але якщо знехтувати C_ϕ , оскільки воно значно менше ніж C_p , то система вирішується аналітичними методами:

$$d_p = e^{\left(\frac{1}{0,27} \ln \left(\frac{4(704,9 \cdot C_a^\phi - 30008)}{\pi(35538 \cdot C_a^{\max} - 70756)} \right) \right)}$$

$$C_p = d_p^{-1,73} \cdot (35538 \cdot C_a^{\max} - 70756),$$

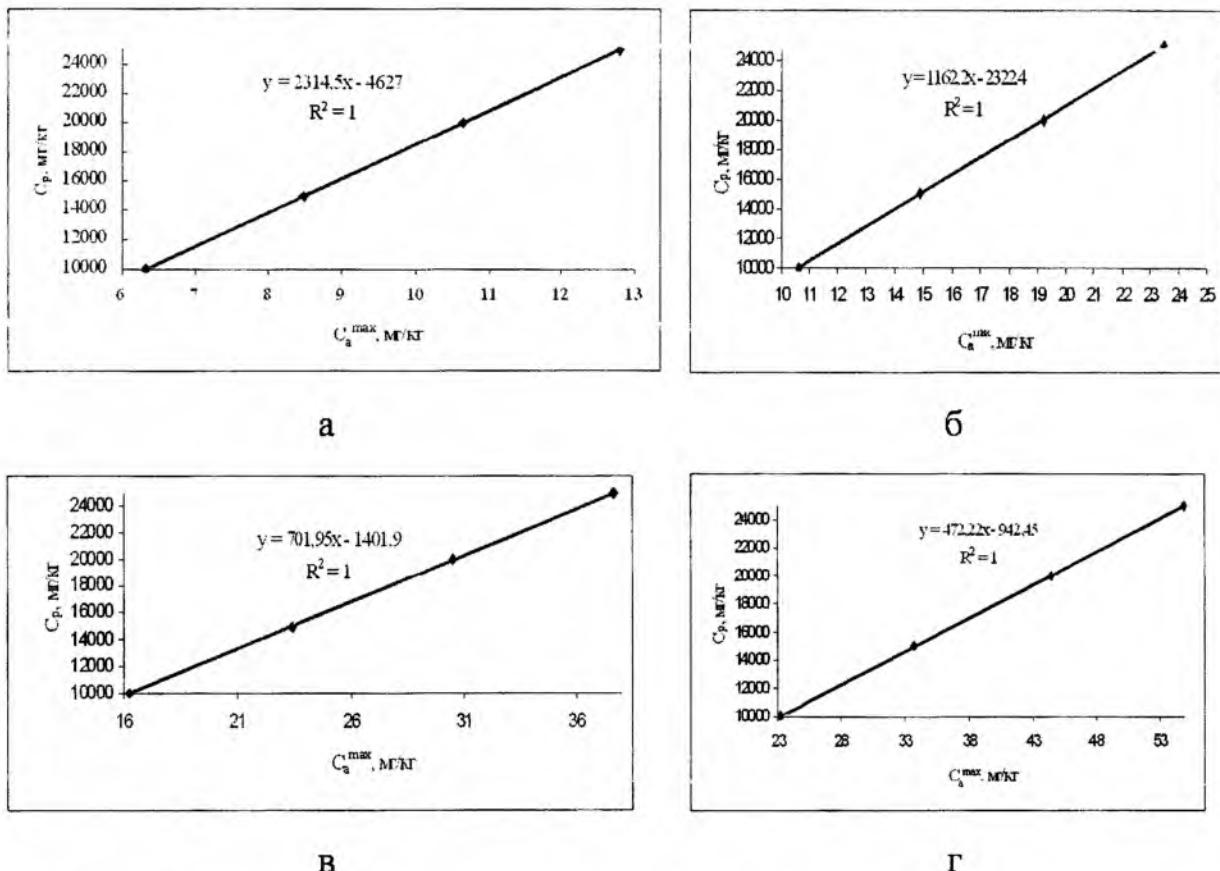


Рис. 49. Залежність вмісту рудного елемента на поверхні рудного тіла (C_p) від максимального значення елемента у сольовому ореолі (C_a^{\max}) при діаметрі рудного тіла: а – 1,0 м; б – 1,5 м; в – 2,0 м; г – 2,5 м

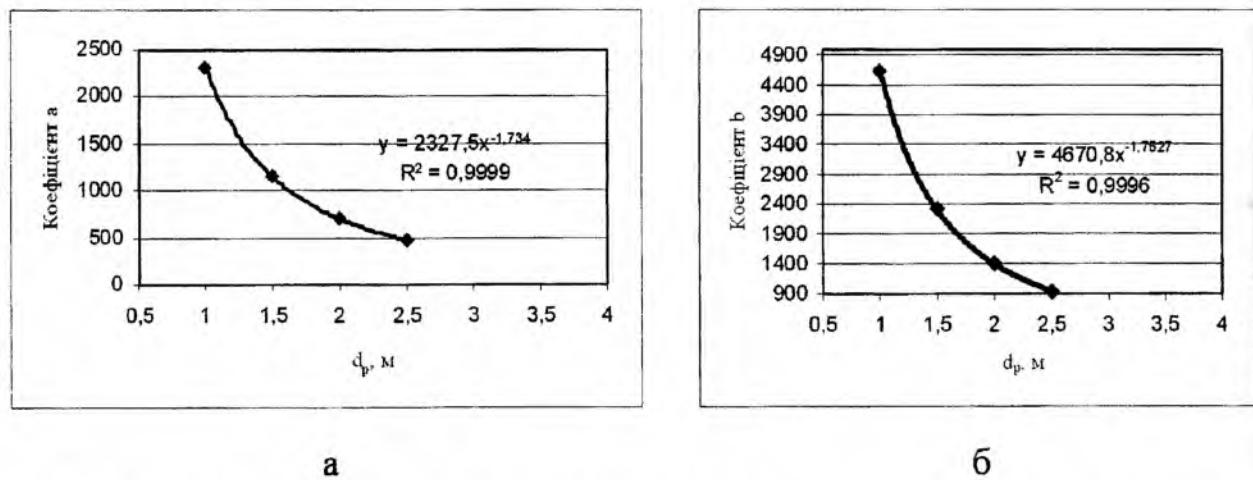


Рис. 50. Залежність коефіцієнтів від діаметру рудного тіла: а – коефіцієнту «а», б – коефіцієнту «в»

Наприклад, якщо дорівнює 2200 мг/кг·м², а – 30 мг/кг, то діаметр рудного тіла складає 1,97 м, а концентрація на його поверхні 2,01%.

Моделювання вторинного сольового ореолу (за рухомими формами нікелю). Геохімічними роботами встановлено, що фоновий вміст Ni у сольовому ореолі – 2,0, аномальний – 5,0 мг/кг; діаметр рудного тіла 2,0 м, концентрація рудного елемента на його поверхні – 0,1 %.

При моделюванні робиться припущення, що глибина залягання рудного тіла 10,0 м, а вміст Ni на поверхні рудного тіла змінний, мг/кг: у першому випадку 100000,0; у другому – 150 000,0; у третьому – 200 000,0; у четвертому – 250 000,0.

Змінюючи діаметр рудного тіла для кожного з випадків, м: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; проводимо низку розрахунків, в результаті чого одержуємо – максимальний вміст Zn у сольовому ореолі

Таблиця 12

Результати 16 чисельних експериментів (за никелем)

Номер експеримента	Інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу, $\text{m}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$	Інтегральний вміст елемента по площині рудного тіла, $\text{m}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$	Максимальне значення вмісту елемента у сольовому ореолі, $\text{мг}/\text{кг}$	Діаметр рудного тіла, м	Вміст елемента на поверхні рудного тіла, $\text{мг}/\text{кг}$
1	88,5	785	2,9	1	1000
2	132,9	1177,5	3,4	1	1500
3	177,2	1570	3,8	1	2000
4	221,6	1962,5	4,3	1	2500
5	177,2	1766,3	3,8	1,5	1000
6	265,9	2649,4	4,7	1,5	1500
7	354,7	3532,5	5,7	1,5	2000
8	443,4	4415,6	6,6	1,5	2500
9	295,4	3140	5	2	1000
10	443,5	4710	6,5	2	1500
11	591,5	6280	8,1	2	2000
12	739,5	7850	9,6	2	2500
13	443,4	4906,3	6,5	2,5	1000
14	665,5	7359,4	8,8	2,5	1500
15	887,7	9812,5	11	2,5	2000
16	1109,8	12265,6	13,3	2,5	2500

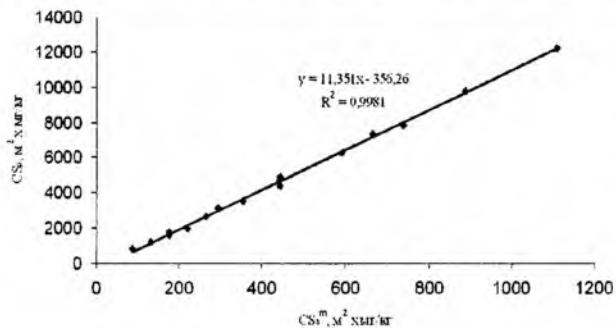


Рис. 51. Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площині аномалії сольового ореолу (CS_m) від інтегрального вмісту елемента по площині рудного тіла (CS_p)

($\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$), інтегральний вміст Ni по площині рудного тіла ($\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$) та інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу ($\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$). Результати серії обчислювальних експериментів наведені в табл. 12.

Аналогічно моделюванню вторинного сольового ореолу за фтором було проведено моделювання за цинком та встановлені наступні залежності.

Для визначення основних залежностей при моделюванні використовуються результати розрахунків (див. табл. 12), які дозволяють отримати кількісні параметри рудного тіла за відомими параметрами вторинного сольового ореолу. Апроксимації залежностей були побудовані

засобами MS Excel. На графіках наведено формулі апроксимації та її достовірність (R^2).

Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площині аномалії сольового ореолу (CS_m) від інтегрального вмісту елемента по площині рудного тіла (CS_p) наведена на рис. 51.

Залежність має лінійний характер, тобто $y = ax - b$, де $y = CS_m$ ($\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$), а $x = CS_p$ ($\text{м}^2 \cdot \text{мг}/\text{кг}$).

Для визначення зв'язку вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла Ср від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі Самах при різних діаметрах рудного тіла були побудовані графічні залежності (рис. 52).

Тобто, маючи лінійні рівняння для різних діаметрів рудного тіла при різних концентраціях рудного елемента на поверхні рудного тіла:

$$y = 183,42x - 366,64 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 1,0 \text{ м});$$

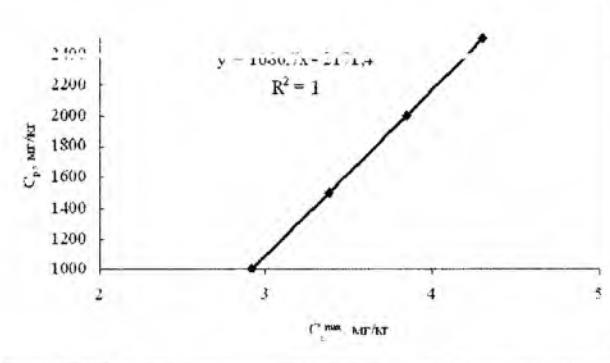
$$y = 61,264x - 122,33 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 1,5 \text{ м});$$

$$y = 18,544x - 36,889 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 2,0 \text{ м});$$

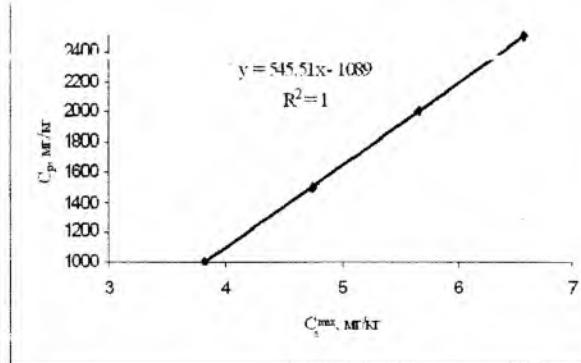
$$y = 5,3488x - 10,498 \quad (\text{для діаметра рудного тіла } 2,5 \text{ м}).$$

Для практичних цілей пошукової геохімії були побудовані залежності коефіцієнтів лінійних рівнянь (рис. 53) від діаметру рудного тіла.

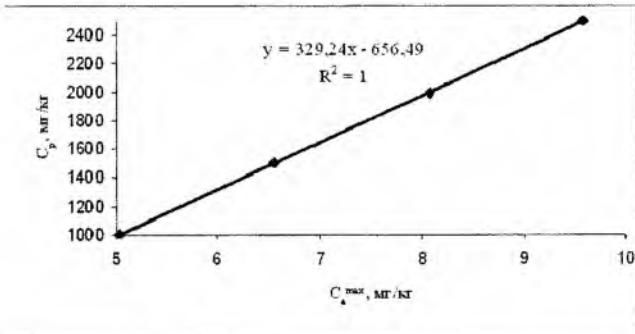
Сумарна залежність вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла від максимального



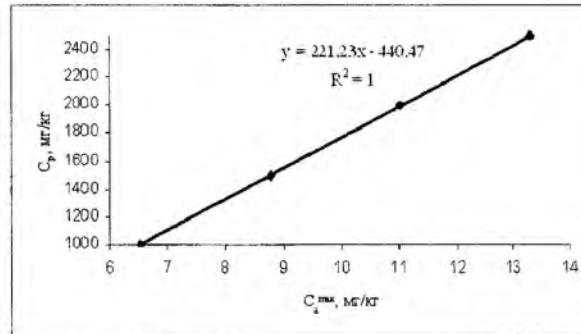
а



б

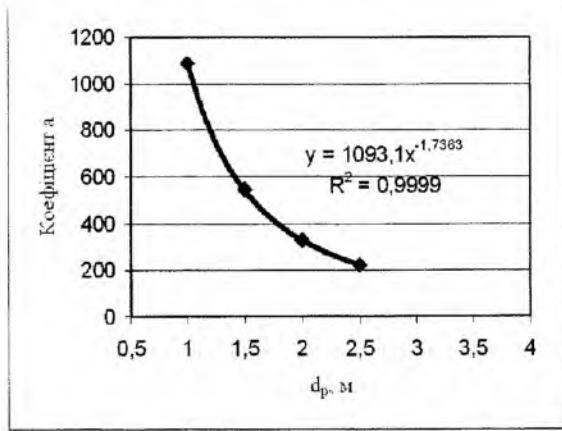


в

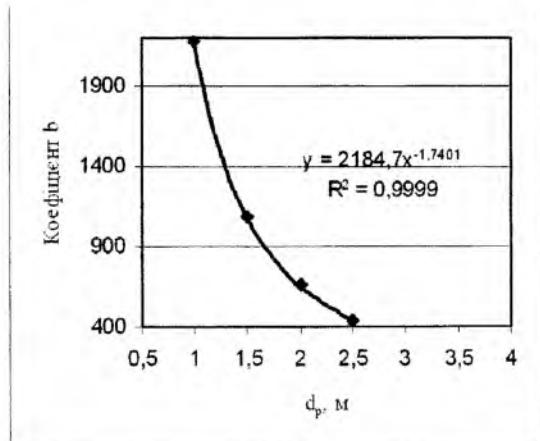


г

Рис. 52. Залежність вмісту рудного елемента на поверхні рудного тіла (C_p) від максимального значення елемента у сольовому ореолі (C_s^{\max}) при діаметрі рудного тіла: а – 1,0 м; б – 1,5 м; в – 2,0 м; г – 2,5 м



а



б

Рис. 53. Залежність коефіцієнтів від діаметру рудного тіла: а – коефіцієнту «а», б – коефіцієнту «в»

вмісту елемента у сольовому ореолі та діаметру рудного тіла виглядає наступним чином:

$$C_p = d_p^{-1,74} \cdot (1093,1 \cdot C_a^{\max} - 2184,7)$$

де C_s^{\max} – максимальне значення у сольовому ореолі.

Припускаючи, що кількість точок геохімічного опробування достатня для отримання точного наближення фактичного інтегрального вмісту до розрахункового інтегрального вмісту, використовується залежність (див. рис. 51):

$$CS_p = 11,351 \cdot CS_a^\phi - 356,26.$$

Отримуємо систему нелінійних рівнянь, враховуючи визначення:

$$\begin{cases} C_p = d_p^{-1,74} \cdot (1093,1 \cdot C_a^{\max} - 2184,7) \\ CS_p = (C_p - C_\phi) \cdot (\pi \cdot d_p^2 / 4) \end{cases}$$

Тобто, отримуємо формулу:

$$CS_p = (\pi \cdot d_p^2 / 4) \cdot (d_p^{-1,74} \cdot (1093,1 \cdot C_a^{\max} - 2184,7) - C_\phi)$$

Це нелінійне рівняння вирішується чисельними методами. Але якщо знехтувати C_ϕ , оскільки воно значно менше ніж C_p , то система вирішується аналітичними методами:

$$d_p = e^{\left(\frac{1}{0,26} \ln \left(\frac{4(11,351 \cdot C_a^\phi - 356,26)}{\pi \cdot (1093,1 \cdot C_a^{\max} - 2184,7)} \right) \right)}$$

$$C_p = d_p^{-1,74} \cdot (1093,1 \cdot C_a^{\max} - 2184,7),$$

Наприклад, якщо CS_p^ϕ дорівнює 300,0 мг/кг·м², а C_a^{\max} – 5,0 мг/кг, то діаметр рудного тіла складає 1,92 м, а концентрація на його поверхні 0,01%.

Тобто, можна зробити висновок (виходячи з характеристики рудного об'єкту), що не дивлячись на концентрацію рудного елементу на поверхні рудного тіла (для F – 19,7%, для Zn – 2,01%, для Ni – 0,01%), діаметр рудного тіла за розрахунковими даними складає 1,92 – 1,98 м.

За розрахунковими даними можна передбачати діаметр рудного тіла, та концентрацію на ньому кожного рудного елемента – індикатора.

Селищанська ділянка. Селищанське скарново – вольфрамове зруденіння належить до Корсунь – Новомиргородського plutону, який є другою за величиною регіональною структурою Кіровоградського блоку.

Головнимrudогенним елементом, що визначає потенційну продуктивність скарнової формациї протерозоя, є вольфрам, спочатку розсіяний у породах субстрату як самостійна мінеральна фаза – шеєліт. Епігенетична шеєлітова мінера – лізація формувалася шляхом неодноразової реконцентрації вольфраму за рахунок первинного шеєліту, розсіяного в специфічних за строкатістю і набором петротипів товщах нижнього протерозою, у зв'язку з процесами їх регіонального і подальшого локального перетворення в ареалах осередкових магматичних структур.

У незмінених вмісних породах і гранітах вміст вольфраму нижчий від чутливості спектрального аналізу. Розподіл вольфраму в жильних пегматитах і пегматоїдних гранітах $0,3 - 0,5 \times 10^{-3} \%$, у пегматиті (св. 316) – 0,03 %.

В асоціації з W встановлюється підвищений вміст Cu, Sn, Zn, Bi, Pb, Mn. У гранатвмісних скарнах вміст вольфраму зростає до 0,01 – 0,08 %, максимальний становить 0,3 % (св. 316). Головним рудним мінералом вольфраму є шеєліт [17].

Геохімічні дослідження на ділянки робіт викладено у статті [18].

Методами математичної статистики оброблено результати спектрального аналізу з визначення вмісту 36 хімічних елементів у поверхневих відкладах. Виявлено кореляційний зв'язок Ni – Mn – Zn – Cu – Sn – Pb. Проведено визначення рухомих форм F, Zn, Ni, Co, Li, Cu. Найбільший кореляційний зв'язок існує між Zn – F – Ni.

Для моделювання процесів утворення вторинного сольового ореолу було встановлено, що елементом – індикатором ультрабазитів може бути Ni.

При моделюванні утворення вторинного сольового ореолу в програму LIBERTY BASIC було введено вхідні дані: розріз осадової товщі – пісок дрібнозернистий (потужність пласта 30,0 м, K_f – 10,0 м/добу), глини піщані, мергелі алевритисті (потужність пласта 20,0 м, K_f – 0,01 м/добу). Використовуються також – коефіцієнт дифузії та інші параметри.

Тобто, осадова товща має 2 пласти, різної потужності з різними коефіцієнтами фільтрації. Попередніми роботами встановлено, що фоновий вміст Ni у вторинному сольовому ореолі – 2,0 мг/кг, аномальний – 4,6 мг/кг, діаметр рудного тіла – 2,5 м, концентрація Ni на його поверхні – 10 000 мг/кг.

При моделюванні робиться припущення, що глибина залягання рудного тіла 50,0 м, а вміст Ni на поверхні рудного тіла змінний, мг/кг: у першому випадку 10 000,0; у другому – 20 000,0; у третьому – 30 000,0; у четвертому – 40 000,0.

Змінюючи діаметр рудного тіла для кожного з випадків, м: 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; проводимо низку розрахунків, в результаті чого одержуємо – максимальний вміст Ni у сольовому ореолі (м² · мг/кг), інтегральний вміст Ni по площині рудного тіла (м² · мг/кг) та інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу (м² · мг/кг). Результати серії обчислювальних експериментів (16 експериментів) наведено в табл. 13.

На рис. 54 – 57 побудовано ізолінії концентрацій індикаторного елемента (Ni) в осадовій товщі і графік розподілу елемента у вторинному сольовому ореолі. Всі ореоли відкриті, переважає капілярний підйом.

При діаметрі рудного тіла 2,5 м і змінному вмісті рудного елемента на поверхні рудного тіла (див. рис. 54) спостерігається поступове підвищення максимального вмісту елемента у

Таблиця 13

Результати 16 чисельних експериментів (за падхіджинам піксель)

Номер експеримента	Інтегральний вміст елемента по площині аномалії сольового ореолу, м ² ·мг/кг	Інтегральний вміст елемента по площині рудного тіла, м ² ·мг/кг	Максимальне значення вмісту елемента у сольовому ореолі, мг/кг	Діаметр рудного тіла, м	Вміст елемента на поверхні рудного тіла, мг/кг
1	4154,1	49062,5	4,6	2,5	10000
2	21322,6	196250	15,1	5	10000
3	40861,4	441562,5	26,4	7,5	10000
4	84466,8	785000	49,4	10	10000
5	8308,1	98125	7,2	2,5	20000
6	42645,1	392500	28,2	5	20000
7	81722,8	883125	50,8	7,5	20000
8	168933,8	1570000	96,8	10	20000
9	12462,2	147187,5	9,9	2,5	30000
10	63967,7	588750	41,3	5	30000
11	122584,2	1324688	75,1	7,5	30000
12	253400,7	2355000	144,2	10	30000
13	16616,3	196250	12,5	2,5	40000
14	85290,3	785000	54,4	5	40000
15	163445,7	1766250	99,5	7,5	40000
16	337867,7	3140000	191,6	10	40000

вторинному сольовому ореолі від кожної предпередньої концентрації на 2,6 мг/кг; при діаметрі рудного тіла 5,0 м (див. рис. 55) – на 13,1 мг/кг; при діаметрі рудного тіла 7,5 м (див. рис. 56) – на 24,4 мг/кг; при діаметрі рудного тіла 10,0 м (див. рис. 57) – на 57,4 мг/кг.

Для визначення основних залежностей при моделюванні використовуються результати розрахунків (див. табл. 13), які дозволяють отримати кількісні параметри рудного тіла за відомими параметрами вторинного сольового ореолу.

Апроксимації залежностей були побудовані засобами MS Excel. На графіках наведено формули апроксимації та її достовірність (R^2).

Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площині аномалії сольового ореолу (CS_a^m) від інтегрального вмісту елемента по площині рудного тіла (CS_p) наведена на рис. 58.

Залежність має лінійний характер, тобто $y = ax - b$, де $y = CS_a^m$ (м²·мг/кг), а $x = CS_p$ (м²·мг/кг). Для визначення зв'язку вмісту рудного елементу на поверхні рудного тіла C_p від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі C_a^{\max} при різних діаметрах рудного тіла були побудовані графічні залежності (рис. 59).

Тобто, маючи лінійні рівняння для різних діаметрів рудного тіла при різних концентраціях рудного елемента на поверхні рудного тіла:

$$y = 3818,8x - 7637,7 \text{ (для діаметра рудного тіла 2,5 м);}$$

$$y = 763,3x - 1526,6 \text{ (для діаметра рудного тіла 5,0 м);}$$

$$y = 410,13x - 820,24 \text{ (для діаметра рудного тіла 7,5 м);}$$

$$y = 210,93x - 421,84 \text{ (для діаметра рудного тіла 10,0 м).}$$

Для практичних цілей пошукової геохімії були побудовані залежності коефіцієнтів лінійних рівнянь (рис. 60) від діаметру рудного тіла.

Сумарна залежність вмісту рудного елемента на поверхні рудного тіла від максимального вмісту елемента у сольовому ореолі та діаметру рудного тіла виглядає наступним чином:

$$C_p = d_p^{-2,0561} \cdot (23882 \cdot C_a^{\max} - 47766)$$

де C_a^{\max} – максимальне значення у сольовому ореолі.

Припускаючи, що кількість точок геохімічного опробування достатня для отримання точного наближення фактичного інтегрального вмісту до розрахункового інтегрального вмісту, використовується залежність (див. рис. 58):

$$CS_p = 9,3636 \cdot CS_a^{\phi} + 37369.$$

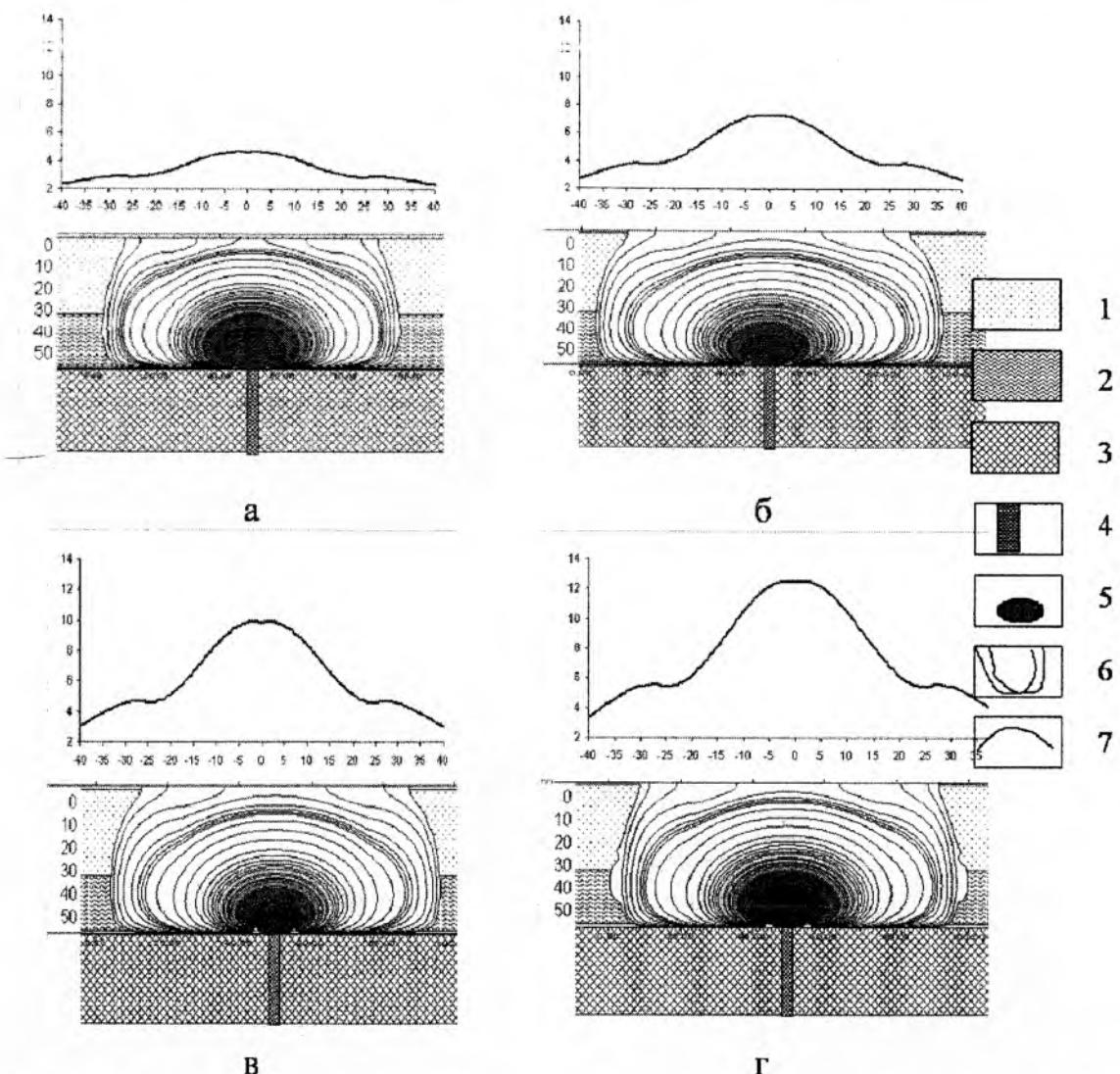


Рис. 54. Моделювання вторинного сольового ореолу на Селищанській ділянці, діаметр рудного тіла – 2,5 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг): а – 10 000,0; б – 20 000,0; в – 30 000,0; г – 40 000,0. 1 – пісок грібнозернистий, 2 – глини піщані, мергелі алевролітичні, 3 – кора вивітрювання, 4 – рудне тіло, 5 – максимальний вміст на поверхні рудного тіла, 6 – ізолінії концентрату Ni у вторинному ореолі, 7 – вміст рухомих форм Ni у вторинному сольовому ореолі (вісь абсцис – метри на поверхні, вісь ординат – вміст елемента, мг/кг)

Отримуємо систему нелінійних рівнянь, враховуючи визначення:

$$\begin{cases} C_p = d_p^{-2,0561} \cdot (23882 \cdot C_a^{\max} - 47766), \\ CS_p = (C_p - C_{\phi}) \cdot (\pi \cdot d_p^2 / 4) \end{cases}$$

Тобто, отримуємо формулу:

$$CS_p = (\pi \cdot d_p^2 / 4) \cdot (d_p^{-2,0561} \cdot (23802 \cdot C_a^{\max} - 47766) - C_{\phi})$$

Це нелінійне рівняння вирішується чисельними методами. Але якщо знехтувати СФ, оскільки воно значно менше ніж Ср, то система вирішується аналітичними методами:

$$d_p = e^{\left(\frac{1}{-0,0561} \ln \left(\frac{4(9,3636C_a^{\phi} + 37369)}{\pi \cdot (23802 \cdot C_a^{\max} - 47766)} \right) \right)}$$

$$C_p = d_p^{-2,0561} \cdot (23802 \cdot C_a^{\max} - 47766)$$

Наприклад, якщо CS_{ϕ}^{ϕ} дорівнює 85000 мг/кг·м², а C_a^{\max} – 50 мг/кг, то діаметр рудного тіла складає близько 9,9 м, а концентрація на його поверхні біля 10000 мг/кг.

Утворення вторинних сольових ореолів над рудопроявами різних глибин залягання розглянуто у статтях [19, 20].

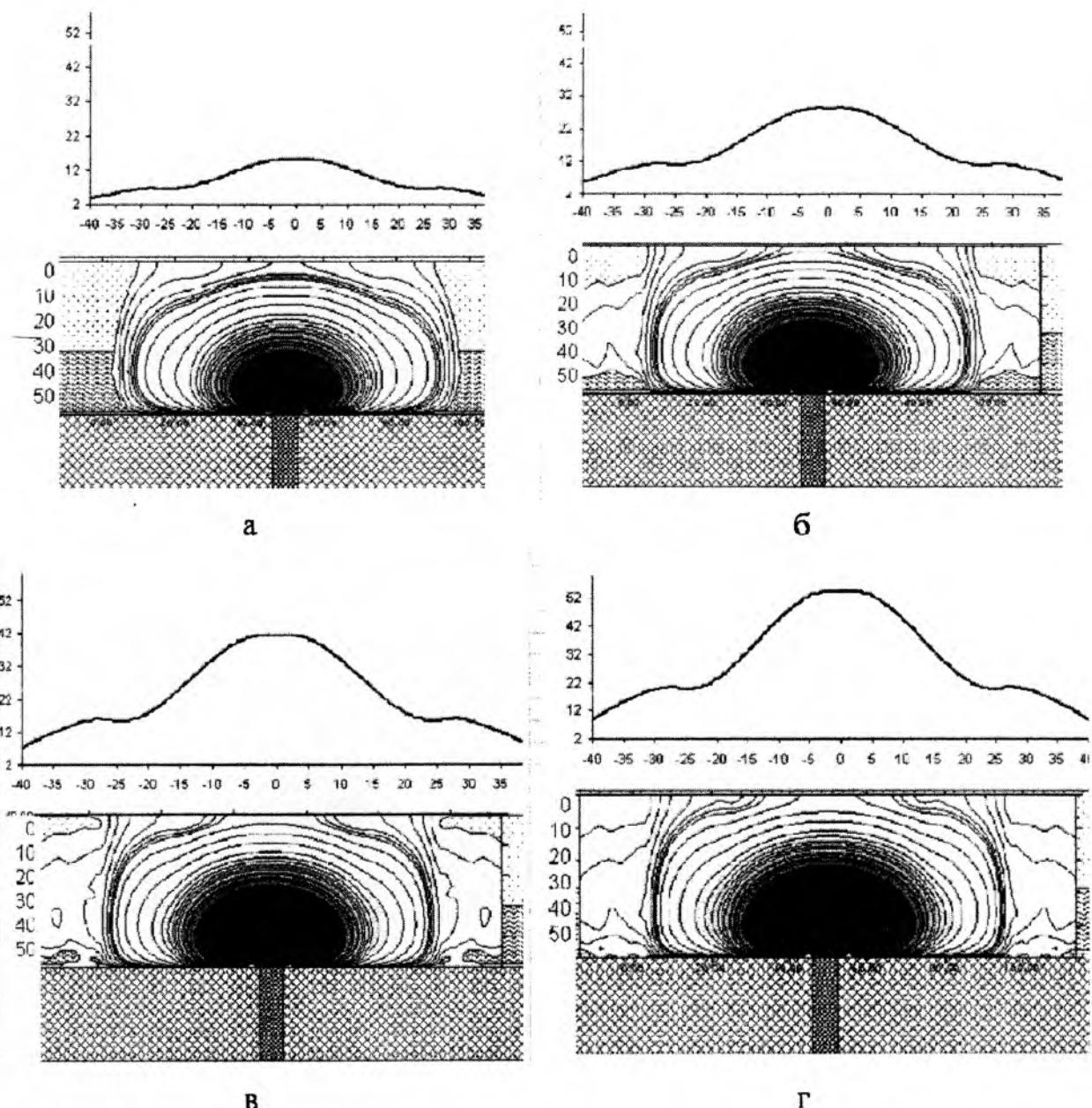


Рис. 55. Моделювання вторинного сольового ореолу на Селищанській ділянці, діаметр рудного тіла – 5,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг): а – 10 000,0; б – 20 000,0; в – 30 000,0; г – 40 000,0. Умовні позначення, як на рис. 54

Визначено, що при потужності пісків 100 м вже можна фіксувати аномалії на поверхні над рудним тілом, для потужних глин – не більш 35 – 40 м.

Для моделювання було взято розріз глин, які майже не зустрічаються в природних умовах, і особливо, в зонах тектонічних порушень, до яких приурочена більшість родовищ таrudoproyaviv корисних копалин. Осадові породи над рядом поліметалічних родовищ УЩ представлени глинами із значною кількістю прошарків піску; коефіцієнт дифузії та капілярної проникності піску вищий, тому можна припустити, що вторинні сольові ореоли можуть утворюватись

при значно більшій глибині залягання рудного тіла – до 70 – 100 м.

Висновки. З використанням методів термодинамічного аналізу і математичного моделювання автором розраховані індикаторні форми для різних типів ґрунтів залежно від pH середовища.

Розрахунок рівноваги в багатокомпонентних системах виконували за програмою PHREEQC (міграції елементів, що враховує всі вірогідні форми, і всі конкурючі реакції, що відбуваються в системі) з використанням методів термодинамічного аналізу і математичного моделювання.

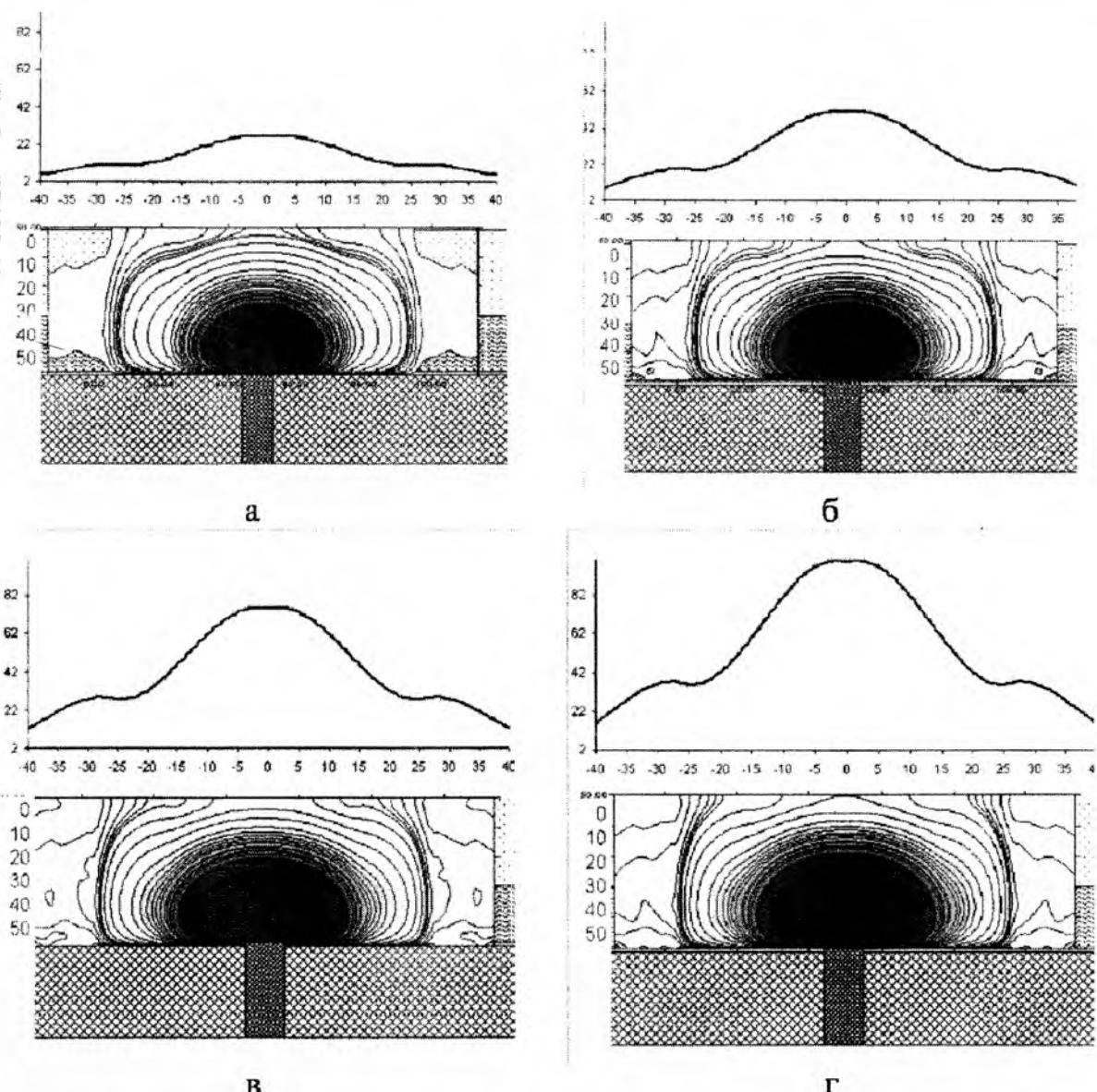


Рис. 56. Моделювання вторинного сольового ореолу на Селищанській ділянці, діаметр рудного тіла — 7,5 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг): а — 10 000,0; б — 20 000,0; в — 30 000,0; г — 40 000,0. Умовні позначення, як на рис. 54

Було розраховано форми міграції компонентів при трьох значеннях температури — 15, 25, 35 °C і різних pH — 6, 7, 8 (в різних типах ґрунтів).

Визначено, що за температури 15–35 °C значення вмісту форм хімічних елементів змінюються неістотно, тобто визначаючи стійкість рухомих форм при міграції температуру можна не враховувати; при pH 3 – 6 переважаюча форма міграції всіх елементів — катіонна чи аніонна. При подальших розрахунках виявлено, що катіонні і аніонні форми Cl^- , K^+ , Mn^{2+} , SO_4^{2-} за будь-яких фізико-хімічних умов середовища складають більше 90 % від суми рухомих форм кожного елемента.

Оскільки прості катіонні і аніонні форми хімічних елементів мають найбільше значення для пошуків, доцільно, проводячи аналітичні дослідження, використовувати іон-селективний метод для визначення (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) і аніонів (F^- , Cl^-).

Перевага його в тому, що визначення стійких рухомих форм можна проводити і в польових умовах. Це дозволить значно підвищити ефективність геохімічних пошуків і одночасно зменшити вартість пошукових робіт.

Встановлено: збільшення вмісту сульфатів в хімічному складі води приводить до збільшення вмісту комплексу «важкий метал — сульфат», при цьому вміст іонів металів Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} зменшується.

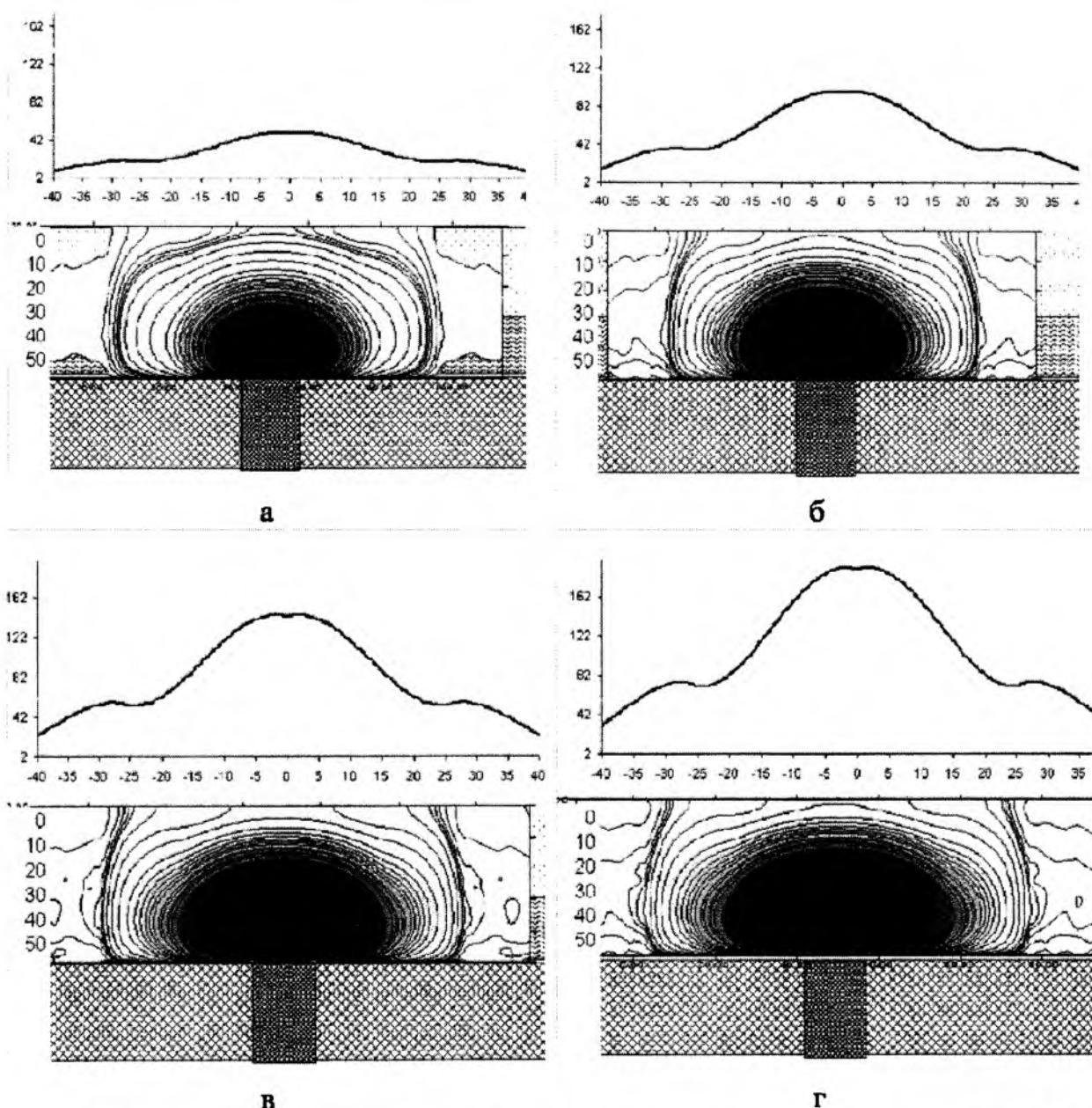


Рис. 57. Моделювання вторинного сольового ореолу на Селищанській ділянці, діаметр рудного тіла – 10,0 м. Концентрація на поверхні рудного тіла (мг/кг): а – 10 000,0; б – 20 000,0; в – 30 000,0; г – 40 000,0. Умовні позначення, як на рис. 54

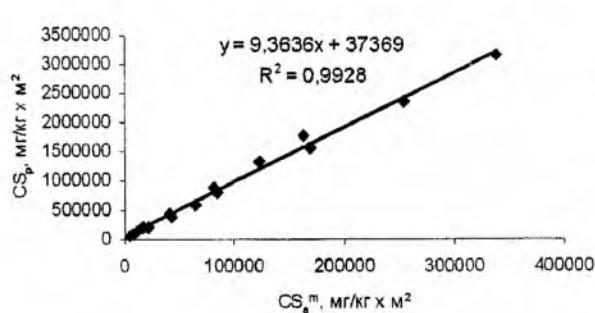
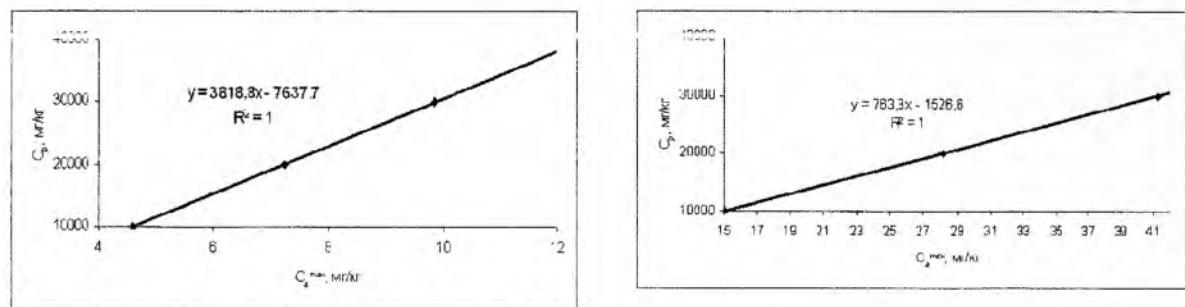


Рис. 58. Залежність розрахункового інтегрального вмісту елемента по площині аномалії сольового ореолу ($CS_s^{(m)}$) від інтегрального вмісту елемента по площині рудного тіла (CS_p)

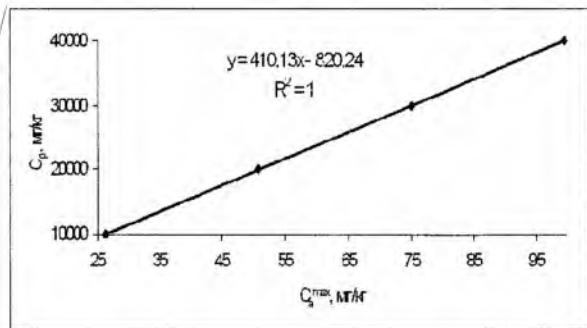
Винятком є Pb^{2+} , для якого переважає форма $PbHCO_3^+$. Вміст хлоридів як в умовно «чистому» так і в «брудному» розчині не змінюються.

Ускладнення пошукових задач призводить до збільшення числа ознак навколорудного середовища, до необхідності врахування різного роду взаємозв'язків цих ознак, просторових закономірностей їх розподілу. Тому автором було використано методи математичного моделювання аномалій вторинних сольових ореолів для визначення перспективності конкретного геологічного об'єкту. Розроблена та реалізована стаціонарна трьохвимірна вісь симетрична модель масопереносу

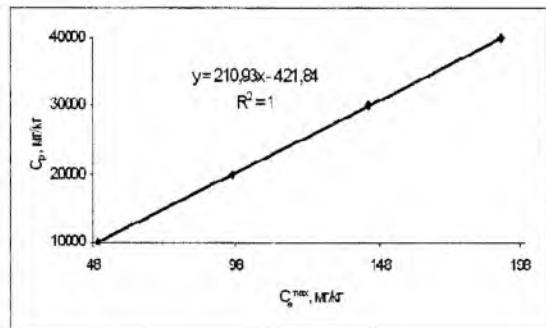


а

б

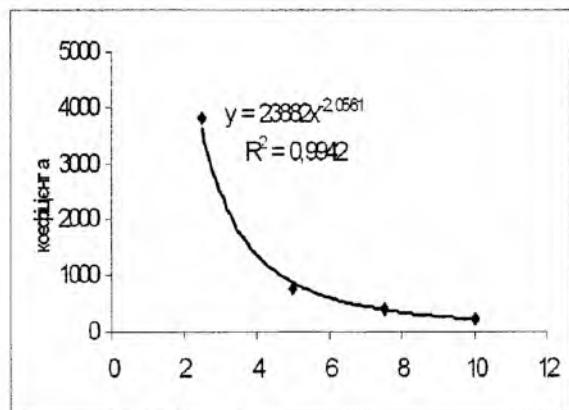


в

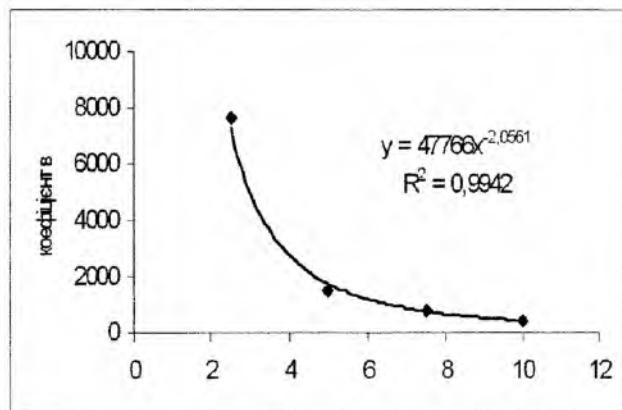


г

Рис. 59. Залежність вмісту рудного елемента на поверхні рудного тіла (C_p) від максимального значення елемента у сольовому ореолі (C_s^{max}) при діаметрі рудного тіла: а – 2,5 м; б – 5,0 м; в – 7,5 м; г – 10,0 м



а



б

Рис. 60. Залежність коефіцієнтів від діаметру рудного тіла: а – коефіцієнту «а», б – коефіцієнту «в»

носу в неоднорідному середовищі, яка враховує процеси дифузії та конвекції. Побудовано моделі надходження рудного елемента до денної поверхні та встановлена залежність утворення вторинного сольового ореолу від типу та потужності осадових відкладів перекриваючих рудопрояви. При досліджені утворення вторинних сольових ореолів над рудопроявами різних глибин залягання автором зроблено висновок, що аномалії рухомих форм на поверхні над рудним тілом можна фіксувати: при

потужності середньозернистих пісків – 100 м; при потужності глин – не більш 35 – 40 м.

Для кількісної оцінки параметрів рудопроявів розроблено: теоретичні основи визначення зв'язку інтегрального вмісту хімічного елемента по площі вторинного сольового ореолу з інтегральним вмістом його по площі рудопрояву; алгоритм визначення за параметрами вторинного сольового ореолу вмісту рудного елементу та діаметру рудного тіла.

1. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия//Москва: Мир,1968. – 368 с.
2. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Подвижные формы химических элементов и их значение при геохимических поисках // Мінерал. журн. – 2006. – 28, №2. – С. 88–93.
3. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины // Киев: Наукова думка, 2002. – 213 с.
4. Седов А.О., Крюченко Н.О. Впровадження інформаційних технологій для розрахунків форм міграції хімічних елементів у підземних водах // Матеріали міжнар. науково–практичної конференції «Розробка систем програмного забезпечення: виклики часу та роль у інформаційному суспільстві». Київ: Міністерство освіти і науки України. – 2005. – С. 82–83.
5. Крюченко Н.О., Седов А.О., Сас Д.П. Особенности миграции тяжелых металлов в природных и сточных водах // Пошукова та екологічна геохімія. – 2004. – №4. – С.18 – 19.
6. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия // Москва: Недра, 1990. – 248 с.
7. Овчинников Л.Н. Прогноз рудных месторождений // Москва: Недра, 1992. – 309 с.
8. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Іваненко Н.П. Застосування математичного моделювання геохімічного поля в пошукових цілях // Мінерал. журн. – 2007. – 29, №2. – С. 83–86.
9. Бабинец А.Е., Беляевский Г.А. Естественные ресурсы подземных вод зоны интенсивного водообмена Украины//Киев: Наукова думка, 1973. – 111 с.
10. Мицкевич Б.Ф. Геохимические ландшафты Украинского щита. — Киев: Наук. думка. — 1971. — 174 с.
11. Голубев В.С., Гарибянц А.А. Гетерогенные процессы геохимической миграции. — М., Недра, 1968. — 192 с.
12. Сафонов Н.И., Соловьев А.П. Бродский А.А. и др. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений // Москва: Недра, 1965. – 227 с.
13. Шестопалов В.М., Огняник Н.С., Дробноход Н.И. и др. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в нарушенных условиях // Киев: Наук. думка, 1991. – 527 с.
14. Жовинський Е.Я., Павлюк В.М., Крюченко Н.О., Довгань Р.М., Жук О.А. Використання геохімічного методу пошуку за рухомими формами хімічних елементів (на прикладі Жданівського масиву) // Мінерал. журн. – 2007. – 29, №1. – С. 82–89.
15. Гурський Д.С., Єсипчук К.Ю., Калінін В.І. Металічні корисні копалини / /Київ – Львів: Вид – во «Центр Європи», 2006. – 739 с.
16. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Геохімічні пошуки за рухливими формами фтору та іншими хімічними елементами//Геолог України. – 2004. – №3. – С. 46–50.
17. Нечаев С.В., Семка В.А. Скарны Украины//Киев: Наук. думка,1989. – 212с.
18. Жовинський Е.Я., Сьюмка В.О., Крюченко Н.О., Нечасенко О.М., Дмитренко К.Е. Накладені сорбційні ореоли на Селищанському рудопрояву вольфраму // Мінерал. журн. – 2006. – 28, № 1. – С. 58–67.
19. Крюченко Н.О. Утворення вторинних сольвих ореолів над рудопроявами різних глибин залягання// Мінерал. журн. – 2007. – 29, №4. – С. 65–69.
20. Жовинский Э.Я., Крюченко Н.О. Геохимические методы поисков по подвижным формам химических элементов на Украинском щите // Дальний Восток – 2. Горный информационно – аналитический бюллетень. Выпуск 15. – 2007. – С. 213–222.

Установлены основные закономерности миграции разных форм химических элементов в поверхностных отложениях. Определено, что увеличение содержания сульфатов в химическом составе воды приводит к увеличению содержания комплекса "тяжелый металл – сульфат", при этом содержание ионов металлов Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} уменьшается. Создана математическая модель образования солевых ореолов рассеивания и проведено определение прогнозной количественной оценки локальных рудопроявлений.

Basic conformities to the law of migration of different forms of chemical elements are set in superficial deposits. It is set that the increase of maintenance of sulfates in chemical composition of water results in the increase of maintenance of complex «a heavy metal is a sulfate», here maintenance of ions of metals of Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} of mininazing. It is created mathematical model of formation of salt halos of dispersion and determination of prognosis quantitative estimation of local ore deposit is conducted.