



**Державна комісія України по запасах корисних копалин
при Державній службі геології та надр України**

ЗАТВЕРДЖЕНО

**наказ Державної комісії України
по запасах корисних копалин
від 30.05.2019 № 314/1**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ГЕОФІЗИЧНОГО ОПРОБУВАННЯ ПРИ ПІДРАХУНКУ ЗАПАСІВ
РОДОВИЩ НЕМЕТАЛІЧНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН**

Київ, 2019

- Розроблено:** Державною комісією України по запасах корисних копалин при Державній службі геології та надр України
- Розробники:** д-р геол.-мін. наук, д-р географ. наук, д-р техн. наук, проф. голова ДКЗ Рудько Г.І., нач. управління ДКЗ Нецький О.В. нач. відділу ДКЗ Озерко В.М., нач. відділу ДКЗ Бакаржієва О.О., гол. геолог відділу ДКЗ Петришин В.Ю., гол. гідрогеолог відділу ДКЗ Дробноход В.Б.
- Внесено:** Управлінням нерудних корисних копалин, підземних вод та інформаційних технологій в геології Державної комісії України по запасах корисних копалин
- Узгоджено:** рішенням експертно-технічної ради Державної комісії України по запасах корисних копалин від 30.05.2019 № 519
- Затверджено:** наказом Державної комісії України по запасах корисних копалин від 30 травня 2019 року № 314/1

1. Загальні положення

1.1. Методичні вказівки щодо геофізичного опробування при підрахунку запасів родовищ неметалічних корисних копалин (далі – Методичні вказівки) призначені для працівників підприємств і організацій, які здійснюють свою діяльність у галузі надрокористування, незалежно від їх відомчого підпорядкування та форми власності.

Методичні вказівки призначені для застосування на всій території України.

1.2. Методичні вказівки розробляють з метою використання під час опрацювання геолого-економічних оцінок запасів корисних копалин, що подаються користувачами надр на державну експертизу та оцінку.

1.3. Застосування Методичних вказівок забезпечить отримання геологорозвідувальної інформації, повнота і якість якої достатні для прийняття рішень щодо проведення подальших розвідувальних робіт і залучення запасів розвіданих родовищ у промислове освоєння, а також проектування нових або реконструкцію існуючих підприємств із видобутку та переробки корисних копалин.

1.4. Методичні вказівки містять рекомендації з геофізичного опробування результати якого застосовують для підрахунку запасів родовищ неметалічних корисних копалин. Положення Методичних вказівок можуть застосовуватись також для підрахунку запасів родовищ металічних корисних копалин.

1.5. У Методичних вказівках наведено рекомендації з геофізичного опробування свердловин, гірничих виробок, грубоподрібленого матеріалу, шламу і керну, за дотримання яких його результати можуть бути використані самостійно або в поєднанні з даними геологічного опробування для вирішення таких завдань розвідки і підрахунку запасів родовищ корисних копалин:

- встановлення продуктивної мінералізації у свердловинах і гірничих виробках, виділення продуктивних інтервалів, визначення в них вмісту корисних компонентів і шкідливих домішок, оконтурювання промислових перетинів за потужністю відповідно до вимог кондицій;

- вивчення внутрішньої будови тіл корисної копалини (виділення природних або технологічних типів, породних і некондиційних прошарків, встановлення характеру розподілу аналізованих компонентів та ін.);
- визначення середньої густини і вологості корисних копалин;
- вирішення окремих завдань щодо уточнення геологічної будови родовища, вивчення інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов їх відпрацювання.

2. Терміни та визначення

2.1. Геофізичне опробування – дослідження гірничої маси геофізичними методами, за яких вона не піддається ні механічному, ні хімічному, ні температурному впливу, що уможливорює проведення повторних геофізичних чи інших видів опробувань. Метою цього опробування є визначення вмісту корисних компонентів чи фізичних властивостей корисної копалини. Його здійснюють безпосередньо в гірничих виробках і свердловинах без відбору проб матеріалу.

2.2. Опробування – єдиний науково обґрунтований спосіб виявлення якості корисної копалини, її мінерального і хімічного складу, технологічних властивостей, зональності та внутрішньої будови покладів.

3. Нормативні посилання

3.1. Кодекс України про надра.

3.2. Положення про порядок проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 22.12.1994 № 865.

3.3. Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 05.05.1997 № 432.

3.4. Положення про стадії геологорозвідувальних робіт на тверді корисні копалини, затверджене наказом Комітету України з питань геології та використання надр від 15.02.2000 № 19, зареєстроване в Міністерстві юстиції України 02.03.2000 за № 124/4345.

3.5. Положення про Державну комісію України по запасах корисних копалин, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 10.11.2000 № 1689.

3.6. Положення про порядок організації та виконання дослідно-промислової розробки родовищ корисних копалин загальнодержавного значення, затверджене наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 03.03.2003 № 34/м, зареєстроване в Міністерстві юстиції України 20.05.2003 № 377/7698.

3.7. Положення про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах, затверджене наказом Державної комісії України по запасах корисних копалин від 07.12.2005 № 300, зареєстроване в Міністерстві юстиції України 25.01.2006 за № 65/11939.

3.8. Правила нормативного забезпечення геологічного вивчення надр, затверджені наказом Державного комітету природних ресурсів України від 13.12.2004 № 244.

3.9. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ будівельного й облицювального каменю, затверджена наказом ДКЗ від 16.12.2002 № 199, зареєстрована в Міністерстві юстиції України 30.01.2003 за № 78/7399.

3.10. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ глинистих порід, затверджена наказом ДКЗ від 02.12.2004 № 263, зареєстрована в Міністерстві юстиції України 17.12.2004 за № 1595/10194.

3.11. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ каолінів, затверджена наказом ДКЗ від 20.12.2006 № 354, зареєстрована в Міністерстві юстиції України 15.01.2007 за № 16/13283.

3.12. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ п'єзооптичного кварцу,

затверджена наказом ДКЗ від 19.03.2007 № 77, зареєстрована в Міністерстві юстиції України 08.05.2007 за № 477/13744.

3.13. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ піску та гравію, затверджена наказом ДКЗ від 25.06.2007 № 198, зареєстрована в Міністерстві юстиції України 13.07.2007 за № 819/14086.

3.14. ГОСТ 22609–77. Геофизические исследования в скважинах. Термины, определения и буквенные обозначения.

3.15. ДСТУ 4011-2001 Геофізичні дослідження надр. Дослідження в свердловинах. Терміни, визначення та літерні позначення.

3.16. ДСТУ 4029-2001 Геофізичні дослідження надр. Сейсморозвідка. Терміни та визначення.

3.17. ДСТУ 4048-2001 Геофізичні дослідження надр. Електророзвідка. Терміни та визначення основних понять.

3.18. ДСТУ 4385:2005 Геофізичне дослідження надр. Магніторозвідка. Терміни та визначення основних понять.

3.19. ДСТУ 4677:2006. Геофізичне досліджування надр. Гравіорозвідка. Терміни та визначення основних понять.

3.20. ДСТУ ІЕС 61874:2007 Ядерне приладобудування. Прилади для визначення щільності породи під час буріння свердловин геофізичні (ІЕС 61874:1998, IDT).

4. Геофізичні методи опробування

4.1. Геофізичні методи опробування, що їх застосовують при розвідці родовищ неметалічних корисних копалин, наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

**Характеристика геофізичних методів опробування,
що їх застосовують при розвідці родовищ
неметалічних і металічних корисних копалин**

Метод	Параметр, що визначається	Нижня межа кількісних визначень, %			Глибинність методу, см
		керн, подрібнений матеріал	у гірничих виробках	у свердловинах	
Щільнісний гамма- гамма метод (ЩГГМ)	Середня густина порід	Н. в.	$n \cdot 0,01$ г/см ³	$n \cdot 0,01$ г/см ³	5–10
Селективний гамма- гамма метод (СГГМ)	Cr	0,5	Н. в.	0,5–1,0	3–5
	Fe	0,5–1,0	0,5–1,0	1,0–2,0	3–5
	Pb, W, Hg, Ba, Σ TR	$n \cdot 0,05$	$n \cdot 0,1$	$n \cdot 0,1$	3–5
Рентгенорадіо- метричний метод (РРМ)	Pb, W, Hg	0,02–0,05	0,05–0,1	0,1–0,2	1–2
	Σ TR, Ba, Sn, Sb, Ag, Nb, Sr, Rb	0,01–0,02	0,01–0,05	0,05–0,2	0,1–0,5
	Pd	Від 1 г/т	Н. в.	Н. в.	0,1–0,5
	Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe	0,05–0,1	0,1–0,2	0,1–0,5	0,05–0,1
	Mn, Cr	0,1	Н. в.	Н. в.	< 0,05
	S	0,05–0,1	Н. в.	Н. в.	< 0,05
	P ₂ O ₅	1,0–2,0	Н. в.	Н. в.	< 0,05
	P ₂ O ₅ = f(Sr, Σ TR)	2,0–3,0	2,0–3,0	2,0–3,0	0,1–0,5
Гамма-нейтронний метод (ГНМ)	Be	Н. в.	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-3}$	10–15
Нейтрон-нейтронний метод (ННМ)	Li, B, Cd, Hg	Н. в.	0,01–0,05	0,05–0,1	10–20
	вологість об'ємна		0,5–1,0	1,0–2,0	10–20
Нейтронний гамма- метод (НГМ)	Hg, Fe, Ni, Mn, Cr	Н. в.	Н. в.	0,1–0,5	10–20
Нейтронно- активаційний метод (НАМ)	Al, Si, Na, Ca	Н. в.	Н. в.	0,5–2,0	5–15
	Cu, Mn, F	Н. в.	Н. в.	0,1–0,5	5–15
	P ₂ O ₅ = f(F)	Н. в.	Н. в.	1,0	5–15
Гамма-метод (ГМ)	U, Th	$(1,0 \dots 1,5) \cdot 10^{-4}$	$(1,0 \dots 1,5) \cdot 10^{-4}$	$(1,0 \dots 1,5) \cdot 10^{-4}$	10–20
	K	0,5–1,0	0,5–1,0	0,5–1,0	10–20
	P ₂ O ₅ = f(U, Th)	1,0	1,0	1,0	10–20
Метод магнітної сприйнятливості (ММС)	Fe	–	0,5–1,0	1,0–2,0	10–20
Реєстрація нейтронів поділу	U	Н. в.	Н. в.	0,01–0,005	10–20

Примітка: Н. в. – не визначається (відсутні відомості щодо апробованих методик).

4.2. Оцінюють можливість використання результатів геофізичних досліджень для вирішення зазначених вище завдань та обирають раціональний комплекс методів на стадії пошуково-оціночних робіт на основі аналізу особливостей геологічної будови родовища, характеру розподілу продуктивної мінералізації, речовинного складу та фізичних властивостей корисної копалини і вміщуючих порід, а також передбачуваної методики і техніки розвідки

виробок і способи буріння, щільність розвідувальної мережі), роздільної здатності застосовуваної геофізичної апаратури.

Доцільність застосування геофізичних методів як рядового способу опробування, а також раціональне співвідношення геологічних і геофізичних методів опробування встановлюють на початкових етапах розвідки родовища шляхом зіставлення даних геофізичного і геологічного опробування опорних інтервалів і перетинів тіл корисної копалини. Прийняті метод і спосіб опробування мають забезпечувати найвищу достовірність результатів за достатніх продуктивності та економічності.

4.3. Для геофізичного опробування разом із серійною апаратурою можна використовувати дослідні зразки приладів, а також апаратуру, виготовлену за індивідуальним проектом з відповідним метрологічним забезпеченням, що пройшла внутрішньовідомчі приймальні випробування.

4.4. Якість рядового геофізичного опробування оцінюють під час експертизи матеріалів з підрахунку запасів корисних копалин, які надаються для проведення державної експертизи та оцінки запасів корисних копалин.

Можливість використання результатів геофізичного опробування для підрахунку запасів родовищ зі складними гірничо-геологічними умовами, а також можливість впровадження нових геофізичних методів і способів опробування потребують ретельного обґрунтування та апробації в натурних умовах.

4.5. Рядове геофізичне опробування (техніка і методика робіт, прийоми інтерпретації, метрологічне забезпечення) проводять відповідно до вимог чинних інструкцій, посібників і методичних вказівок, результати опробування відображають у первинних і зведених табличних і графічних матеріалах відповідно до Методичних рекомендацій щодо змісту, оформлення і порядку подання на розгляд Державної комісії України по запасах корисних копалин матеріалів геолого-економічних оцінок родовищ металічних і неметалічних, затверджених ДКЗ.

5. Умови застосування геофізичних методів опробування

5.1. У корисній копалині і вміщуючих порід мають бути відсутні (або міститися в кількостях, що не впливають на результати геофізичного опробування) елементи-перешкоди або сполуки, що різняться ознаками, характерними для аналізованого компонента. Наприклад, для рентгенорадіометричного методу (РРМ) такими елементами є сусідні елементи періодичної таблиці Д.І. Менделєєва, для нейтронно-активаційного методу (НАМ) – елементи із зіставними періодами напіврозпад, енергіями гамма-випромінювання, перетинами активації. За великого вмісту елементів-перешкод рекомендують розробити та обґрунтувати методику усунення їх впливу на результати інтерпретації геофізичних матеріалів.

5.2. Нижня межа кількісних визначень концентрацій (межа реєстрації) основних корисних компонентів за геофізичного опробування не має перевищувати вміст у пробі, встановлений кондиціями для оконтурювання запасів, а граничне виявлення шкідливих домішок – їх максимально допустимого вмісту в корисній копалині або його технологічному типі.

Якщо кондиціями передбачено оконтурювання запасів за умовним бортовим вмістом, граничне виявлення кожного з компонентів, який ураховують при розрахунку цього вмісту, не повинно зумовлювати зміну контурів тіл корисної копалини порівняно з результатами геологічного опробування.

При підрахунку запасів корисних копалин, локалізованих у природних геологічних межах, граничне виявлення компонента, що визначають, має забезпечити відсутність статистично значущих систематичних розбіжностей між середніми вмістами за повними перетинами тіла, що встановлені за даними геофізичного і представницького геологічного опробування.

За нижню межу кількісних визначень приймають концентрацію компонента в секційному інтервалі опробування, відносна середньоквадратична похибка визначення якої не перевищує 30 %. Оптимальну довжину інтервалів опробування встановлюють для кожного родовища, виходячи з досвіду розвідки родовищ-аналогів або експериментальним шляхом з урахуванням

даних про мінливість зруденіння (додаток 3). У деяких випадках граничне виявлення може бути встановлене за результатами вимірювань безрудних інтервалів за формулою (1), що наведена в додатку 1.

5.3. Випадкова відносна середньоквадратична похибка геофізичних вимірювань має не перевищувати 5–30 %. Винятком є класи з граничними помилками аналізу 1–4,5 %, для яких допускається похибка геофізичних вимірювань ± 5 %.

За значної мінливості зруденіння допуски до відтворюваності геофізичних вимірювань (ϵ) для конкретних об'єктів можуть бути прийняті на підставі фактичних даних за кількісною оцінкою похибки аналогії $\sigma_{\text{ан}}$ за відповідними класами вмістів, природними типами руд і секційними пробами з близьким лінійним еквівалентом (додаток 3).

Вимоги щодо допусків при калібрувальних вимірюваннях і метрологічних повірках ($\pm \Delta = \pm 0,64 \epsilon_{\text{гф}}^{\text{д}}$), збіжність геофізичних вимірювань (у межах 5-30 %), а також до граничного допуску щодо відтворюваності геофізичних вимірювань (< 30 %) залишаються незмінними.

5.4. Систематичні розбіжності між даними геофізичного і геологічного опробування в усіх класах вмістів компонента, що визначається мають бути статистично незначущі. За значного впливу чинників (мінливість розміру зерен, шаруватість порід і корисних копалин, їх щільності, пористість, електропровідність та ін.), що впливають на результати геофізичного опробування обґрунтовують методику їх урахування.

5.5. Корисні компоненти і шкідливі домішки, вміст яких розраховують за кореляційними залежностями по вмісту елементів (мінералів)-індикаторів, що визначаються геофізичними методами (наприклад, флюорит по фтору в родовищах плавикувального шпату, апатит по фтору, стронцію і рідкісно-земельних елементах в апатит-нефелінових родовищах та ін.), мають знаходитись у стійкому кореляційній зв'язку з цими індикаторами. Характер зв'язку встановлюють для кожного природного типу корисної копалини. Міцність зв'язку оцінюють за значеннями критерію достовірності кореляційної

залежності ($t_r > 2$) (чи критерію значущості кореляційного відношення t_o), коефіцієнта кореляції ($r \geq 0,8$) або за результатами розрахунків коефіцієнтів і вільних членів рівняння регресії за двома–трьома вибірками, що характеризують корисну копалину на різних ділянках родовища. Якщо різниця в значеннях коефіцієнтів і вільних членів не перевищує подвоєних похибок їх визначення, зв'язок вважають досить стійким.

5.6. Роздільна здатність геофізичного методу має забезпечити можливість визначення мінімальної промислової потужності тіла корисної копалини і максимально допустимої потужності породних і некондиційних прошарків, що включаються в підрахунок запасів, з точністю ± 20 см і ± 10 % відповідно для потужностей більш як 2 м і менше як 2 м.

5.7. В інтервалах свердловин і стінок гірничих виробок, виділених відповідно до кондицій (далі – в перетинах тіла корисної копалини), частка ділянок, по яких не забезпечується достовірність геофізичних визначень через кавернозність свердловин, нерівність стінок гірничих виробок, наявність на них технологічного мастила, глинистої кірки, шламу тощо, не повинна перевищувати 10 % потужності перетину. Ефективність вжитих заходів для очищення свердловин і стінок гірничих виробок підтверджують результати спеціальних досліджень (геофізичних вимірювань до і після очищення, телефотометрією і т. д.) в окремих свердловинах. За доведеної переважної приуроченості кавернозності та інших перелічених перешкод до внутрішніх породних і некондиційних прошарків допускається використання результатів геофізичного опробування по перетину, де частка цих ділянок зростає до 30 %.

6. Геофізичні вимірювання та інтерпретація їхніх даних

6.1. Геофізичні вимірювання у свердловинах і гірничих виробках, а також при випробуванні грубоподрібненого матеріалу (шламу) і керну виконують апаратурою, що забезпечена метрологічними перевірками на імітаторах порід і руд, робочих еталонах складу або фізичних властивостей, калібрувальних пристроях, складених з монолітних штуфних зразків чи керну, в опорних калібрувальних свердловинах або гірничих виробках.

Вимірювання по кожній свердловині, перетину тіла корисної копалини в гірничій виробці, а також при випробуванні керну або гірничої маси починають і закінчують контрольними вимірюваннями повірочної моделі. Тип повірних моделей, їх число і періодичність проміжних вимірювань визначають конкретною методикою робіт. Відхилення контрольних замірів від заміру, отриманого під час калібрування апаратури, має не перевищувати $\pm 0,64 \varepsilon_{\text{гф}}^{\text{д}}$, де $\varepsilon_{\text{гф}}^{\text{д}}$ – допустимі відносні середньоквадратичні похибки геофізичних вимірювань за класами вмісту основних компонентів чи компонентів-індикаторів.

Метрологічні повірки виконують відповідно до нормативних документів, які регламентують методику геофізичних досліджень.

При оцінюванні вмісту корисних компонентів (мінералів) і шкідливих домішок за кореляційними залежностями від вмісту елементів-індикаторів (визначених компонентів або фізичних властивостей порід і руд) калібрування апаратури, метрологічні повірки й оцінку показників якості геофізичних вимірювань здійснюють за результатами визначення вмісту цих елементів-індикаторів (певних компонентів чи фізичних властивостей порід і руд). Вплив додаткових похибок, зумовлених характером кореляційних зв'язків під час калібрування, метрологічної повірки апаратури та оцінювання якості геофізичних вимірювань, необхідно виключити.

6.2. На кожен комплект апаратури заповнюють метрологічний паспорт-журнал, в якому фіксують результати підготовки, перевірки та калібрування приладу, відомості про ремонт, дані щодо імітаторів порід і руд, контрольно-калібрувальних пристроїв, калібрувальних свердловин і гірничих виробок.

6.3. Випадкову похибку геофізичних вимірювань $\varepsilon_{\text{гф}}^{\text{с}}$ встановлюють за даними основного і повторного циклів вимірювань (формула 1.2 в додатку 1), виконаних у тому ж інтервалі в однакових умовах і практично одночасно (паралельні визначення).

Обсяг внутрішнього геофізичного контролю має бути не меншим за 10 % основного обсягу. Якщо випадкові похибки перевищують гранично допустимі,

кількість повторних вимірювань (n) по перетину тіла корисної копалини в основному циклі вимірювань рекомендовано збільшити, керуючись формулою

$$n \geq (\epsilon_{\text{гф}}^{\text{с}} / \epsilon_{\text{гф}}^{\text{д}})^2.$$

Вміст компонента, що визначається по інтервалу випробування в цьому разі визначають як середньоарифметичне із серії повторних замірів.

Зовнішній контроль результатів геофізичних вимірювань (вимірювання в інший час, іншим оператором або комплектом апаратури) виконують в обсязі не менш як 10 % обсягу основних вимірів, рівномірно в часі. Відсутність систематичних розбіжностей між основними і контрольними вимірами встановлюють за критерієм Стюдента для рівня значущості 0,05 і кількості зіставлень не менш як 30 у кожному класі вмістів.

6.4. Розбіжності глибин залягання тіл корисної копалини, визначених за даними основного і контрольного (повторного) геофізичних вимірювань, не повинні перевищувати наступних значень:

Глибина свердловини, м	Розбіжності, м
До 500	0,5
500–1000	1,0
1000–2000	1,5

При цьому дані каротажу підтверджують контрольними вимірами кабелю, допустиму похибку розмітки якого беруть такою, що дорівнює ± 10 см на кожні 100 м.

6.5. Масштаби реєстрації вимірюваних параметрів мають забезпечувати виділення перетинів тіл корисної копалини мінімальної промислової потужності з бортовим вмістом аналізованих компонентів, установленим кондиціями. За масових вимірювань на одному родовищі (ділянці) рекомендовано встановлювати єдині масштаби реєстрації.

6.6. Інтервали деталізації мають включати в себе повний перетин тіла корисної копалини і виходити в породи покрівлі й підосви на відстань, що перевищує максимальну потужність внутрішніх породних і некондиційних прошарків, встановлену кондиціями.

Деталізаційні вимірювання в свердловинах рекомендовано проводити в масштабах глибин 1 : 200, 1 : 100, 1 : 50, 1 : 20 за потужності перетинів тіл корисної копалини, внутрішніх породних і некондиційних прошарків відповідно більш як 10, 10–5, 5–2 і менш як 2 м. За безперервної цифрової реєстрації крок квантування по глибині не повинен перевищувати 1/3 потужності насичення для певного геофізичного методу і становити в основному 10 см, а для рентгенорадіометричних методів – не більш як 5 см. Крок деталізаційних вимірювань у гірничих виробках має забезпечувати безперервну характеристику інтервалу.

За потреби виконують роботи з визначення поправок на зміну діаметра свердловини, щільності, вологості, електричної провідності, речовинного складу тіл корисної копалини.

6.7. На діаграмах каротажу, графіках вимірювань у гірничих виробках і за безперервних вимірювань керну виділяють усі ділянки, де сигнали, які реєструються, відрізняються від середнього фонового значення параметра більш як на потроєну величину середньоквадратичної похибки його вимірювання.

Ці ділянки розчленовують на секційні інтервали з урахуванням особливостей розподілу аналізованих компонентів (характеру діаграм геофізичних вимірювань) і вимог кондицій. При цьому рекомендовано керуватись такими:

- секційний інтервал опробування має бути однорідним за вмістом аналізованого компонента, а геофізичні виміри по ньому не спотворені впливом кавернозності (мікрокавернозності), технологічного мастила, глинистої кірки, шламу тощо. Інтервали свердловини або гірничої виробки, в яких вплив ближньої зони на результати геофізичного опробування не можна врахувати введенням поправок, виділяють як неінформативні і відображають у дефектовій відомості;

- довжина секційного інтервалу має бути більшою за потужність насичення для певного геофізичного методу (наприклад, для методу НАК – понад 0,3–0,5 м);
- довжина секційного інтервалу не повинен перевищувати мінімальної потужності тіл корисної копалини і сортових інтервалів, а також максимальної потужності внутрішніх породних і некондиційних прошарків, що включаються в контур підрахунку запасів; за значної потужності тіла корисної копалини (понад 20 м) і порівняно однорідної її будови довжину інтервалу опробування можна збільшити до 10–15 м.

У гірничих виробках орієнтування ліній (профілів) геофізичних замірів щодо елементів залягання тіла корисної копалини, вибір довжини секційних інтервалів та інші методичні прийоми вимірювань (кількість ліній вимірювань на стінці, опробування однієї чи двох стінок, профільні або площинні вимірювання) мають відповідати основним положенням методики опробування, прийнятим на родовищі, яке розвідується (розробляється).

За секційного опробування інтервали мають бути сумірними за довжиною за винятком тих випадків, коли необхідно опробувати окремі різновиди або типи корисних копалин, виділити внутрішні породні прошарки різної потужності і т.д.

У разі опробування комплексної корисної копалини секційні інтервали виділяють з урахуванням діаграм каротажу чи графіків замірів у гірничих виробках, що характеризують розподіл корисного компонента, який становить основну цінність певної корисної копалини або її промислового (технологічного) типу, а за потреби – з урахуванням графіків (діаграм) розподілу умовного компонента.

6.8. Межі тіл корисної копалини або окремих її ділянок (багаті і породні прошарки) визначають відповідно до вимог чинних інструкцій, посібників і методичних вказівок або відповідно до галузевої методики, що розроблена для конкретного об'єкта й апробована в установленому порядку.

Оконтурювання запасів комплексної корисної копалини за бортовим вмістом умовного компонента доцільно виконувати з використанням графіків (діаграм) розподілу цього компонента по перетину. Побудова такого роду графіків необхідна, якщо в крайових або внутрішніх частинах перетинів вміст облікованого компонента за перевідним коефіцієнтом не досягає бортового.

6.9. Кількісну інтерпретацію результатів геофізичних вимірювань виконують на основі кореляційної залежності (калібрувального графіку) вимірюваного параметра Π від вмісту компонента, що визначається C , в опорних перетинах тіла корисної копалини або еталонних моделях. За лінійного кореляційного зв'язку виду $C = a\Pi + b$ вміст компонента чи елемента-індикатора по інтервалу опробування визначають за рівнянням регресії. За нелінійного зв'язку $C = f(\Pi)$ інтерпретацію проводять з використанням або безпосередньо кореляційного графіка (рівняння регресії), або двох-трьох лінійних функцій, які задовільно апроксимують виявлену залежність.

7. Встановлення кореляційної залежності між вимірюваними параметрами і вмістом компонента, що визначається

7.1. Кореляційну залежність між показаннями геофізичної апаратури і вмістом кожного з компонентів, що визначається (калібрувальний графік) встановлюють за допомогою статистичної обробки результатів зіставлення даних геологічного опробування й геофізичних вимірювань по опорних інтервалах у свердловинах і гірничих виробках, а також за моделями, складеними з монолітних штуфних зразків чи керну. Використання модельних інтервалів дає змогу найповніше врахувати геологічні й геофізичні особливості об'єкта, оцінити їх вплив на точність і достовірність опробування, скоротити терміни розробки та апробації методики геофізичного опробування. При цьому кореляційну залежність, встановлену за монолітними зразками, необхідно підтвердити (або скоригувати) результатами геофізичного і геологічного опробування опорних інтервалів свердловин і гірничих виробок.

За опорні інтервали в свердловинах і гірничих виробках беруть перетини тіла корисної копалини чи окремі інтервали, які характеризують основні тіла корисної копалини за простяганням і падінням у межах окремих ділянок і родовища в цілому та задовольняють наведені нижче вимоги.

Геологічну документацію розвідувальних виробок виконують із детальністю, що забезпечує відображення основних особливостей внутрішньої будови тіла корисної копалини (природні різновиди корисної копалини, її структурно-текстурні особливості, характер контактів тіл корисної копалини і вміщуючих порід, розподіл корисних компонентів, вторинні зміни, кількість, місце залягання і петрографічний склад породних прошарків тощо).

Результати геологічної документації ув'язують за глибиною з однозначно встановленими на діаграмах каротажу контактами тіл корисної копалини, петрографічних різновидів порід розрізу, внутрішніх породних прошарків, прошарків із підвищеним вмістом компонентів і т. д. При ув'язуванні глибин за основу беруть дані каротажу. Невідповідності між даними каротажу й геологічною документацією усувають зіставленням діаграм каротажу і графіків безперервного геофізичного опробування керну (для методів, де реалізована ця можливість).

Невідповідність даних геологічної документації та результатів геофізичних вимірювань у гірничих виробках усувають повторною документацією виробок і контрольних геофізичних вимірювань.

Кернові й борозневі проби відбирають по інтервалах, виділених на діаграмах каротажу і на графіках вимірювань по стінках гірничих виробок з урахуванням порейсового виходу керну і природного типу корисної копалини (інтервал опробування має бути представлений корисною копалиною одного природного типу).

Якщо геологічне опробування в силу об'єктивних причин було виконане до проведення геофізичних вимірювань, інтервали на діаграмах каротажу і графіках вимірювань у гірничих виробках мають відповідати одиничним або об'єднаним пробам. У цьому разі для ув'язування інтервалів геологічного й

геофізичного опробувань додатково використовують аналогію діаграми розподілу вмісту корисного компонента по геологічному чи геофізичному опробуванню керну і форми діаграм геофізичних вимірювань.

Надійне зіставлення даних геологічного і геофізичного опробування свердловин забезпечується за лінійного виходу керну по опорних інтервалах 100 %.

Якщо кількість інтервалів із повним виходом керну не забезпечує статистичне представництво зіставлення цих даних, то як опорні використовують інтервали з граничним виходом керну, для якого доведено відсутність вибіркового стирання.

Граничний вихід керну встановлюють для кожного природного типу корисної копалини за результатами зіставлення даних кернового опробування (за класами виходу керну) з даними борозневого, валового або технологічного опробування. Крім того, як завірочні можна використовувати результати зіставлення даних геофізичного опробування керну і стінок свердловин, отриманих одним і тим самим методом, а також результати зіставлення сумарних потужностей внутрішніх породних прошарків і характеру їх розподілу, встановлених за геологічною документацією і даними каротажу.

Відбір борозневих проб і опробування керну в опорних інтервалах виконують із застосуванням механічних пробовідбірників і кернорізного обладнання, що виключає вибіркове викришування корисних і непродуктивних (породоутворюючих, жильних та ін.) мінералів. Достовірність борозневого опробування завіряють надійнішим способом, як правило, валовим.

Випадкові похибки кернового й борозневого опробування визначають за результатами основного і контрольного опробування, виконаного одним і тим самим способом відбору, обробки та аналізу проб. Основне й контрольне опробування по опорних інтервалах доцільно проводити зі 100 % внутрішнім і зовнішнім контролем аналітичних робіт, результати якого мають відповідати вимогам методичних рекомендацій із застосування Класифікації запасів

родовищ корисних копалин державного фонду надр до відповідної корисної копалини.

7.2. Побудову графіків кореляційної залежності (калібрувальних графіків) показників апаратури від вмісту аналізованого компонента виконують з урахуванням наведених нижче вимог.

Діапазон вмістів визначених компонентів у пробах, відібраних в опорних інтервалах, має охоплювати всі класи вмістів у кожному з виділених природних типів корисних копалин. Застосовують не менш як чотири класи. Для основних компонентів вони відповідають бідним, рядовим, багатим балансовим запасам корисної копалини і мінералізованим породам (вміст корисних компонентів нижчий від бортового вмісту).

Кожен клас вмістів у кожному природному типі корисної копалини подають не менше як 11 інтервалами (пробами) з лінійним еквівалентом, що відповідає пробі оптимальної геометрії.

При побудові кореляційних залежностей ураховують речовинний склад корисних копалин, їх структурно-текстурні особливості, а також технологію проходки розвідувальних виробок. З цією метою на зведене поле кореляції виносять точки з позначенням природного типу корисної копалини, кута стикання пластів у шаруватих середовищах, глибини розміщення інтервалу, номінального діаметра свердловин і т. д. Для опорних інтервалів, однорідних за кожним із цих чинників, розраховують індивідуальні кореляційні залежності.

Однорідність порівняльної вибірки встановлюють за критерієм 3Δ або критерієм Смирнова ξ , при цьому кількість виключених окремих інтервалів не повинна перевищувати 5 % обсягу вибірки. Виключені інтервали вносять у дефектову відомість із зазначенням причин грубих розбіжностей між даними геологічного й геофізичного опробувань;

Критеріями можливості використання на родовищі одного або кількох рівнянь регресії є значення систематичних розбіжностей між даними геологічного опробування і даними геофізичних вимірювань, інтерпретація яких виконана з використанням усіх залежностей, встановлених на родовищі.

За відсутності значущих систематичних розбіжностей як робоче приймають рівняння, що забезпечує найменшу випадкову похибку геофізичного опробування.

Кореляційну залежність добирають у процесі розрахунку кількох рівнянь регресії із застосуванням поліномів 1-, 2-, ..., n -го ступеня. За оптимальне приймають рівняння з найменшою кількістю коефіцієнтів, для якого систематичні розбіжності в усіх класах вмістів між даними геологічного і геофізичного опробування незначні, випадкові розбіжності мінімальні, а коефіцієнт кореляції r або кореляційне відношення Θ не менше за 0,8.

Визначають залежності $C = f(I)$, розраховують коефіцієнти регресії, коефіцієнт кореляції або кореляційне відношення, їхні похибки і середнє квадратичне відхилення даних опробування від рівняння (лінії) регресії, а також оцінюють достовірність виявленого зв'язку за формулами і схемами, наведеними у відповідних інструкціях з урахуванням вимог, зазначених у п. 5.5.

7.3. Достовірність визначення вмісту корисних компонентів або шкідливих домішок за прийнятими як робочі рівняннями регресії оцінюють під час додаткового зіставлення даних рядового геологічного і геофізичного опробування по інтервалах, що найбільше задовольняють вимоги п. 7.1. Дані по опорних інтервалах, які є основою для побудови кореляційних (калібрувальних) графіків, для оцінювання достовірності рядового опробування не використовують.

7.4. Як робочі допускається використовувати рівняння регресії, встановлені для родовища корисних копалин аналогічного за мінеральним і хімічним складом, а також за структурними і текстурними особливостями корисної копалини досліджуваному родовищу. Достовірність прийнятих кореляційних залежностей оцінюють відповідно до п. 7.3.

8. Використання результатів геофізичного опробування при підрахунку запасів корисних копалин

8.1. Для використання результатів геофізичного опробування при підрахунку запасів корисних копалин необхідно, щоб геолого-геофізичні умови родовища (ділянки) відповідали вимогам розділу 5, а геофізичні вимірювання та інтерпретація їхніх даних були виконані з дотриманням вимог положень розділів 6, 7.

8.2. Геофізичні методи приймають за рядовий спосіб опробування, а їхні дані використовують для підрахунку запасів, якщо одночасно виконуються наведені нижче положення.

Нижня межа кількісних визначень концентрацій корисних компонентів або шкідливих домішок відповідає положенням п. 5.2.

Середньоквадратичні похибки власне геофізичних вимірювань (збіжність і відтворюваність результатів вимірювань) задовольняють положення п. 6.3, а результати зовнішнього контролю, виконаного в обсязі не менш як 10 %, підтверджують правильність вимірювань.

Точність визначення мінімальної кондиційної потужності тіл корисної копалини (або максимальної потужності внутрішнього породного прошарку) і глибини його залягання має відповідати положенням п. 5.5, 6.4.

Систематичні розбіжності між даними геофізичного і геологічного опробування інтервалів, що задовольняють положення п. 7.1, у всіх класах вмісту компонентів, що визначаються мають бути статистично незначущими. Їх значущість оцінюють за критерієм Стюдента для рівня значущості 0,05 за обсягу вибірки не менш як 20. За статистичної обробки дані по окремих інтервалах рекомендовано групувати в класи із середнім значенням між результатами геологічного й геофізичного опробування.

Кількість контрольних зіставлень по перетину тіла корисної копалини або її частин, що характеризує природні типи корисних копалин, має становити не менш як 10–20 % обсягу геофізичного опробування залежно від складності будови тіла корисної копалини.

Рівнозначність геологічного і геофізичного методів опробування (щодо випадкових помилок) підтверджують однорідністю дисперсій даних обох методів по секційних інтервалах випробування перетинів тіл корисної копалини, що відповідає положенням п. 7.1. Перевірку виконують за критерієм Фішера для рівня значущості 0,05 за кількості інтервалів (проб) у вибірках не менш як 20 по кожному природному типу корисної копалини.

Кількісна оцінка відносних середньоквадратичних похибок геофізичного опробування за одиничними інтервалами в кожному класі вмісту кількісно оцінюють за формулою (1.7) (додаток 1). Перевищення випадкових похибок геофізичного опробування випадкових помилок геологічного опробування вважають статистично незначущим, якщо доведено однорідність дисперсій даних обох методів опробування. За вкрай нерівномірного розподілу компонента, що визначається допускається зіставлення результатів випробування по об'єднаних пробах або по перетину тіл корисної копалини.

8.3. У разі, якщо за окремими внутрішніми інтервалами перетинів тіла корисної копалини дані геофізичного опробування унеможливають достовірне встановлення вмісту компонента, що визначається через кавернозність стінок свердловин, при визначенні середнього вмісту по перетину цим інтервалам надають таких значень:

- якщо в родовищі встановлено переважний розвиток кавернозності по внутрішніх породних прошарках, а дані додаткових геофізичних досліджень (методами ГК, ГГК, позірною опору і т. д.) і геологічної документації керну (за будь-якого його виходу) засвідчують відсутність промислової мінералізації у внутрішньому інтервалі, щодо неї приймають середній вміст компонента, характерного для зазначених прошарків;
- якщо закономірність у розвитку кавернозності не встановлюється, а дані вимірювань додатковими геофізичними методами і геологічної документації керну вказують на наявність промислової мінералізації в межах інтервалу, вміст аналізованих компонентів

щодо неї приймають таким, що дорівнює середньому по решті частини перетину.

8.4. Разом із випробуванням свердловин і гірничих виробок результати ядерно-геофізичних і магнітних досліджень рекомендовано використовувати для вирішення низки завдань, які потребують суворого дотримання окремих положень цього розділу. До таких завдань належать:

- вивчення характеру мінливості зруденіння, її кількісна оцінка як основа для оптимального вибору геометрії вимірювань і вимог до достовірності опробування незалежно від його способу (питання оцінювання мінливості зруденіння під час метрологічних досліджень методів геологічного й геофізичного опробування розглядалось під час попередніх етапів дослідження по темі);
- визначення коефіцієнта лінійної рудоносності;
- вивчення вибіркового стирання керну і викришування матеріалу при відборі борозневих геологічних проб;
- уточнення глибин залягання, внутрішньої будови і потужності тіл корисної копалини;
- вибір інтервалів геологічного опробування і скорочення його обсягу, в тому числі, за рахунок виключення явно некондиційних інтервалів;
- оперативний контроль якості бурових робіт; виявлення розбурених і пропущених при опробуванні інтервалів і напівкількісна оцінка вмісту в їх межах корисного компонента;
- отримання даних для складання представницьких групових і технологічних проб із кернового матеріалу без попереднього лабораторного аналізу та ін.

У комплексі з іншими геофізичними методами дослідження свердловин геофізичні методи опробування можна успішно використовувати для літологічного розчленування і кореляції геологічних розрізів, виділення зон тріщинуватості, розривних порушень, водоносних горизонтів; оцінювання

пористості і міцності властивостей гірських порід; вивчення глибини розвитку кори вивітрювання та ін.

8.5. Точність визначення середніх густини і вологості, а також точність геофізичних вимірювань, результати яких використовують для вирішення визначених вище завдань, на кількісному рівні, оцінюють у комплексі із застосуванням вищенаведених положень.

9. Зміст і оформлення матеріалів геофізичного опробування

9.1. У звітах із підрахунком запасів, де використовуються результати геофізичних методів опробування, в складі матеріалів, передбачених інструкціями (методичними рекомендаціями) щодо змісту, оформлення і порядку подання на розгляд Державної комісії України по запасах корисних копалин матеріалів геолого-економічних оцінок родовищ металічних і неметалічних корисних копалин, рекомендовано додатково надавати перелічені нижче матеріали.

9.2. Карту геологічної вивченості родовища із зазначенням місць знаходження свердловин і гірничих виробок, за якими перетини тіл корисної копалини або поодинокі її інтервали прийняті за опорні при побудові кореляційних залежностей та оцінюванні достовірності геофізичного опробування.

9.3. Зведену геолого-геофізичну документацію свердловин і гірничих виробок з опорними інтервалами, вихідні дані по яких використані для побудови кореляційних залежностей і калібрувальних графіків.

У зведеній документації належить надавати:

– детальний геологічний розріз по осі свердловини (по лініях відбору проб зі стінок гірничої виробки) із зазначенням порейсового виходу керну (геометрії борозни і техніки її відбору), потужності перетинів тіла корисної копалини, внутрішніх прошарків порід та виходу керну по кожному з них, а також кутів падіння, глибини залягання покрівлі і підшви тіла корисної копалини, вмісту корисних компонентів і шкідливих домішок по секційним геологічним пробам;

– детальний геолого-геофізичний розріз із зіставленням діаграм геофізичних вимірювань у свердловинах та безперервних вимірювань керну в масштабі деталізації, графіки геофізичних вимірювань по лініях стінок гірничої виробки, діаграми розподілу компонентів, що визначаються за даними досліджень основним і додатковими геофізичними методами із зазначенням потужності перетинів тіла корисних копалин і внутрішніх прошарків порід, глибини залягання покрівлі і підшви тіла корисної копалини, а також інтервалів з кавернозністю стінок свердловини, за якими геофізична інформація не однозначна.

Текстові додатки:

- метрологічний паспорт-журнал на кожен робочий комплект апаратури;
- таблиця обсягів бурових, гірничих і геофізичних робіт на родовищі (за стадіями, методами геофізичних досліджень у свердловинах і гірничих виробках);
- таблиці зіставлення основних, повторних і контрольних геофізичних вимірювань з розрахунками систематичних і випадкових (середньоквадратичних) похибок;
- вихідні дані для ув'язки показань приладів на імітаторах порід і руд, робочих заходах складу або фізичних властивостей, в калібрувальних пристроях, складених з монолітних штуфних зразків або керну, на опорних інтервалах контрольно-калібрувальних свердловин або гірничих виробок;
- таблиці зіставлення вмістів корисних компонентів за даними аналізу двох частин керну, пов'язаних борозневих, кернових і борозневих (борозна по сліду свердловини), кернових і валових проб;
- таблиці зіставлення кернових, борозневих і валових проб з розрахунками систематичних і випадкових похибок геологічного опробування;
- вихідні дані геологічного опробування і геофізичних вимірів, що використовуються для побудови кореляційних залежностей і калібрувальних графіків;

- таблиці зіставлення вмістів корисних компонентів за даними геофізичного і геологічного опробування з розрахунками систематичних і випадкових похибок геофізичного опробування;

- таблиці зіставлення потужностей перетинів тіл корисної копалини і середній вміст в них за результатами геологічного і геофізичного опробування;

- вихідні дані для оцінки вибіркового стирання кернових проб (таблиці зіставлення вмістів корисних компонентів, потужностей тіл корисної копалини і внутрішніх породних прошарків по класах виходу керну – за результатами геологічного і геофізичного опробування);

- перелік дефектних інтервалів, результати геофізичного опробування за якими не використовуються для підрахунку запасів, із зазначенням причин;

- журнал геофізичного опробування з результатами оконтурювання тіл корисної копалини по потужності відповідно до встановлених кондицій.

У розрахункових таблицях середніх вмістів компонентів, що аналізують, і потужностей тіл корисної копалини по перетину, розрізах і підрахункових блоках вказують методи їх визначення (геофізичне або геологічне опробування).

РОЗРАХУНКОВІ ФОРМУЛИ ДЛЯ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ОПРОБУВАННЯ

Умовні позначення:

n – кількість інтервалів опробування;

$C_{Gi}, \bar{C}_G$ – вміст компонента в одиничному інтервалі геологічного опробування і середній вміст по інтервалах опробування;

$C_{G\Phi i}, \bar{C}_{G\Phi}$ – вміст компонента в одиничному інтервалі геофізичного опробування і середній вміст по інтервалах опробування;

C'_i, C''_i – вміст компонента в одиничному інтервалі за даними основного і контрольного (повторного) опробування (вимірювання);

$P_{\Phi i} - P_{\Phi}$ – значення геофізичного параметра по одиничних вимірюваннях у "безрудних" інтервалах; середнє значення фонового параметра;

P_c – середнє значення параметра по еталонних інтервалах або пробах із вмістом визначуваного компонента $\bar{C}_e$, що перевищує фоновий у 5 разів і більше.

Граничне виявлення (мінімальний граничний вміст C_{zp}) компонента, що визначається за результатами випробування порід:

$$C_{zp} = 3 \sqrt{\frac{\sum (P_{\Phi i} - P_{\Phi})^2}{n-1} \frac{\bar{C}_e}{P_c}}. \quad (1.1)$$

Відносна середньоквадратична похибка геофізичних вимірювань:

$$\varepsilon_{G\Phi}^c = \frac{1}{C_{G\Phi}} \sqrt{\frac{\sum (C'_{G\Phi i} - C''_{G\Phi i})^2}{2n}} \cdot 100 \% \quad (1.2)$$

Систематичні розбіжності між даними геологічного і геофізичного опробування:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum (C_{Gi} - C_{G\Phi i})}{n} = \frac{\sum \Delta_i}{n} = \bar{C}_G - \bar{C}_{G\Phi}. \quad (1.3)$$

Оцінка дисперсії даних геологічного і геофізичного опробування:

$$S_{\Gamma}^2 = \frac{\sum (C_{\Gamma i} - \bar{C}_{\Gamma})^2}{n-1} \quad S_{\Gamma\Phi}^2 = \frac{\sum (C_{\Gamma\Phi i} - \bar{C}_{\Gamma\Phi})^2}{n-1}. \quad (1.4)$$

Відносна середньоквадратична похибка геологічного опробування:

$$\varepsilon_{\Gamma}^c = \frac{1}{C_{\Gamma}} \sqrt{\frac{\sum (C'_{\Gamma i} - C''_{\Gamma i})^2}{2n}} \cdot 100 \% \quad (1.5)$$

Відносна середньоквадратична розбіжність між даними геологічного і геофізичного опробування:

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{1}{C_{\Gamma}} \sqrt{\frac{\sum (C_{\Gamma i} - C_{\Gamma\Phi i})^2}{n}} \cdot 100 \%. \quad (1.6)$$

Відносна середньоквадратична похибка геофізичного опробування:

$$\varepsilon_{\Gamma\Phi} = \sqrt{\varepsilon_{\Delta}^2 - \varepsilon_{\Gamma}^2}. \quad (1.7)$$

Розрахункова величина критерію Стюдента:

$$t_{\Delta} = \frac{|\bar{\Delta}| \sqrt{n}}{S_{\Delta}}, \quad (1.8)$$

де

$$S_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}}. \quad (1.9)$$

Розрахункова величина критерію Фішера:

$$F = \frac{S_{\Gamma\Phi}^2}{S_{\Gamma}^2}. \quad (1.10)$$

Розрахункова величина критерію Смирнова:

$$O = \max \frac{|\Delta_i - \bar{\Delta}|}{S_{\Delta}}. \quad (1.11)$$

**Гранично допустимі відносні середньоквадратичні похибки
геофізичних вимірювань за класами вмісту компонентів
металічних і неметалічних корисних копалин ($\varepsilon_{\Gamma\Phi}^{\Delta}$, %)**

Компонент	Клас, %	$\varepsilon_{\Gamma\Phi}^{\Delta}$	Компонент	Клас, %	$\varepsilon_{\Gamma\Phi}^{\Delta}$	Компонент	Клас, %	$\varepsilon_{\Gamma\Phi}^{\Delta}$
Li ₂ O	>1	7	Cr ₂ O ₃	>5	5	Cd	>0,1	11
	0,5–1	10		1–5	6		0,02–0,1	22
	0,2–0,5	13		0,2–1	8		<0,02	30
	0,1–0,2	17		0,05–0,2	11	Sn	>5	5,0
	0,05–0,1	22	Mn	>3	5		1–5	6,0
	0,01–0,05	30		0,5–3,0	6		0,5–1	7,5
BeO	>5	5		0,2–0,5	10		0,2–0,5	10
	1–5	5,5		0,1–0,2	13		0,1–0,2	15
	0,5–1	7,0		0,05–0,1	20		0,05–0,1	20
	0,2–0,5	10		<0,05	30		0,02–0,05	25
	0,1–0,2	12	Fe	>10	5		<0,02	30
	0,05–0,1	15		5–10	6	Sb	>5	5
	0,02–0,05	20		1–5	10		2–5	6
	0,01–0,02	25		0,2–1	17		0,5–2,0	12
B ₂ O ₃	>10	5		0,05–0,2	25		0,1–0,5	20
	3–10	7	Co	>0,5	5		<0,1	30
	1–3	10		0,1–0,5	6	BaO	>40	5,0
	0,1–1,0	22		0,05–0,1	10		20–40	6
	<0,1	30		0,01–0,05	25		10–20	9,0
F	>5	5	Ni	>1	5		5–10	12
	2–5	8		0,5–1,0	7,0		1–5	15
	1–2	10		0,2–0,5	10		0,5–1	17
	0,5–1	12		0,02–0,2	20		0,1–0,5	23
	0,2–0,5	15	Cu	>3	5		<0,1	30
	0,1–0,2	17		1–3	5,5	ΣTR_2O_3	>10	5
	0,05–0,1	21		0,5–1,0	8,5		1–10	7,0
	<0,05	30		0,2–0,5	13		0,5–1	10
Na ₂ O	>25	5		0,1–0,2	17		0,2–0,5	13
	5–25	6,0		0,05–0,1	25		0,1–0,2	20
	0,5–5	15		<0,05	30		0,05–0,1	25
	<0,5	30		>5	5		<0,05	30
Al ₂ O ₃	>10	5	Zn	2–5	6,0	WO ₃	>5	6
	5–10	8		0,5–2	11		2–5	7
	2–5	11		0,2–0,5	13		1–2	8
	1–2	15		0,1–0,2	17		0,5–1	9
	0,1–1	25		0,02–0,1	22		0,1–0,5	16
							0,05–0,1	18
SiO ₂	>20	5	As	>2	5		0,02–0,05	25
	5–20	7		0,5–2,0	6	Au (крупне), г/т	>128	10
	2–5	10		0,05–0,5	16		64–128	12
	1–2	12		0,01–0,05	25		16–64	18
	0,2–1	20		<0,01	30		4–16	25
	<0,2	30	Rb ₂ O	>1	12		<4	30
P ₂ O ₅	>1	5,0		0,5–1	15			

Закінчення додатку 2

	0,3–1,0	7		0,2–0,5	17	Hg	>1	6,5
	0,1–0,3	11		0,1–0,2	22		0,2–1,0	8,5
	0,05–0,1	15		0,05–0,1	25		0,04–0,2	17
	0,01–0,05	22		0,01–0,05	30		0,01–0,04	20
	<0,01	30		>40	5		0,005–0,01	25
S	>10	5	Sr ₂ O	10–40	6	Pb	>5	5
	2–10	6		2–10	7,5		2–5	6,0
	1–2	9		0,5–2	16		1–2	8,5
	0,5–1	12		0,1–0,5	23		0,5–1	11
	0,3–0,5	15	Nb ₂ O ₅	1–10	9	U	0,2–0,5	13
	0,1–0,3	17		0,5–1	11		0,1–0,2	17
	0,05–0,1	20		0,2–0,5	13		>1	5,0
	<0,05	30		0,1–0,2	16		0,1–1	5,0
K ₂ O	>5	6,5		0,05–0,1	20		0,03–0,1	6,5
	1–5	11		0,02–0,05	23		0,01–0,03	8,0
	0,5–1	15		>1	8		0,01	15
	<0,5	30		0,5–1,0	12	Ag г/т	>300	5,0
CaO	>20	5	V ₂ O ₅	0,2–0,5	15		100–300	7,0
	10–20	6		0,1–0,2	20		50–100	12
	5–10	8		0,01–0,1	25		20–50	13
	1–5	10		>1	5		10–20	15
	0,5–1	15	Mo	0,5–1,0	6		1–10	22
	0,2–0,5	20		0,2–0,5	8,5		0,5–1	25
	<0,2	30		0,1–0,2	13			
	>5	5		0,05–0,1	18			
TiO ₂	1–5	6,0		0,02–0,05	23			
	0,2–1	10						
	0,05–0,2	19						
	<0,05	30						

Оцінка мінливості зруденіння при метрологічних дослідженнях методами геологічного і геофізичного опробування

При опробуванні продуктивних перетинів істотний внесок в похибку як геологічного, так і геофізичного опробування робить помилка аналогії, обумовлена неоднорідністю розподілу рудного компонента, яка може помітно перевищувати технічні похибки обробки й аналізу проб, а також інструментальні та методичні похибки геофізичних вимірювань.

З огляду на неповторюваність умов відбору кернових і борозневих проб розділити вплив технічних похибок геологічного опробування і природної неоднорідності об'єкта розвідки неможливо.

Геофізичне опробування через високу дискретність отримуваних даних (крок квантування 5–10 см за каротажу свердловин і 1–2 см за безперервного опробування керна) і можливість неодноразового вимірювання одного й того самого рудного обсягу дає змогу із сумарною помилкою опробування виділити помилку, обумовлену природною мінливістю зруденіння. За такими даними можна найбільш обґрунтовано обрати для конкретного об'єкта оптимальну довжину секційної проби (інтервал усереднення), а також обґрунтовано визначити похибку опробування і вимоги до технічної похибки геологічного й геофізичного опробування, в тому числі у тих випадках, коли фактична довжина проби відрізняється від лінійного еквівалента проби оптимальної геометрії.

Помилку аналогії встановлюють за результатами серії вимірювань по двох суміжних (роз'єднаних на задану відстань) перетинах рудного тіла. Зіставленням повторних замірів по одній і тій самій лінії визначають "технічну" похибку геофізичних вимірювань, а порівнянням повторних замірів за різними суміжними обсягами – сумарну похибку. Похибку аналогії $\sigma_{\text{ан}}$ для прийнятої геометрії вимірювання обчислюють за формулою $\sigma_{\text{ан}} = \sqrt{\sigma_{\Sigma}^2 - \sigma_{(\Gamma\Phi)\text{в}}^2}$.

На практиці таку схему можна реалізувати тільки в певних умовах, однією з яких є виключення впливу на результати визначення σ_{Σ} і $\sigma_{(ГФ)в}$ неконтрольованих похибок, обумовлених насамперед можливими порушеннями геометрії вимірювань і ділянки виміру при виконанні циклу геофізичних вимірювань (основних і повторних) по суміжних об'ємах.

Незмінність ділянки виміру можна забезпечити тільки в разі безперервних і контрольованих переміщень блока детектування відносно об'єкта опробування, тобто тільки за безперервних вимірів по стовбуру свердловин (каротаж) або безперервного опробування керна (монолітні зразки). За точкових вимірів із кроком більш як $1/3$ розміру ділянки рівномірного огляду детектором поверхні опробування умова незмінності ділянки виміру не забезпечується. Істотним і необхідним для збереження геометрії вимірювань є стандартна форма стовбура свердловин. Керн і монолітні зразки, які використовують для складених інтервалів, також мусять мати правильну (стандартну) форму (поверхню).

Наведені вище умови, визначають обмежені можливості вибору об'єктів для кількісного оцінювання природної мінливості:

- при опробуванні рудних перетинів із використанням борозневого опробування або геофізичних методів із глибинністю 10–20 см – це суміжні стовбури (на відстані 10–20 см) короткометражних свердловин або еталонні інтервали відповідним чином складені з керна таких свердловин, відібраних монолітних зразків; вибір короткометражних свердловин обумовлений необхідністю збереження постійної відстані між суміжними стовбурами, що за глибини свердловин більшої від перших метрів практично неможливо;
- при опробуванні рудних перетинів по керну або геофізичними методами з глибинністю менш як 3–5 см – це короткометражні свердловини або еталонні інтервали, складені з керна цих або рядових геологічних свердловин; у такому разі будь-які вимоги до

виходу керна не ставляться, оскільки зіставлення результатів геофізичних вимірювань і геологічного опробування не є обов'язковим; можливе часткове використання свердловин безкernового буріння, якщо забезпечується надійне виділення природних типів руд; вибір короткометражних свердловин обумовлений необхідністю контролю положення свердловинного приладу за основних і повторних вимірювань по протилежних твірних (суміжних обсягах) стовбура свердловини за допомогою спеціальних штанг.