

СТАНДАРТНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ (QA/QC) ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ ІСТОРИЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

Сафронова Н.Г.¹, safronovan@softmine.com.ua;

Баряцька Н.В.¹, д. геол. н., bariatskan@softmine.com.ua;

Сергєєва С.В.², sergeieva.svitlana@gmail.com;

1 – ТОВ «Софтмайн», м. Київ, Україна,

2 – ТОВ «Геологічна сервісна компанія», м. Київ, Україна

У статті розглянуто сучасні підходи до забезпечення та контролю якості геологічних і лабораторно-аналітичних даних (QA/QC) та можливості їх застосування для верифікації історичних геологічних даних. Охарактеризовано основні типи контрольних проб. Розглянуто особливості контролю якості, що застосовувався під час історичних геологорозвідувальних робіт. Запропоновано підхід до зіставлення традиційних процедур контролю з міжнародними QA/QC-програмами. Показано, що окремі історичні процедури за своїм функціональним призначенням можуть бути співвіднесені із міжнародними практиками QA/QC.

Ключові слова: контроль якості (QC), процедури забезпечення якості (QA), контрольні проби.

STANDARD QUALITY ASSURANCE AND QUALITY CONTROL (QA/QC) APPROACHES AND THEIR APPLICATION TO HISTORICAL GEOLOGICAL DATA VERIFICATION

Safronova N.¹, safronovan@softmine.com.ua;

Bariatska N.¹, Dr. Sci. (Geol.), bariatskan@softmine.com.ua;

Sergeieva S.², sergeieva.svitlana@gmail.com;

1 – Softmine LLC, Kyiv, Ukraine,

2 – Geological Service Company LLC, Kyiv, Ukraine

The paper considers modern approaches to quality assurance and quality control (QA/QC) of geological and laboratory analytical data and their application to the verification of historical geological data. The main types of control samples are characterized. The specific quality control practices applied during historical geological exploration are examined. An approach is proposed for correlating traditional quality control procedures with international QA/QC programs. It is demonstrated that certain historical procedures, based on their functional purpose, can be correlated with international QA/QC practices.

Keywords: Quality Assurance (QA), Quality Control (QC), control samples.

Вступ. Програми забезпечення та контролю якості (QA/QC) є невід'ємною складовою сучасних геологорозвідувальних робіт і спрямовані на забезпечення якості, надійності та достовірності геологічних даних, що використовуються для оцінки мінеральних ресурсів і запасів.

Це набуло критичного значення на тлі низки інвестиційних скандалів 1990-х років, пов'язаних із недостовірними або неналежно підтвердженими даними, що лежали в основі оцінки родовищ. Одним із найбільш відомих став скандал навколо родовища золота Busang в Індонезії, пов'язаний з компанією Bre-X Minerals у 1997 році, коли незалежна перевірка виявила фальсифікацію результатів опробування.

На тлі цих подій розвиваються стандарти публічної звітності про результати геологорозвідки, мінеральні ресурси та запаси: JORC Code (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves) - 1989р., PERC Reporting Standard (Pan-European Standard for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Reserves) - 1991р., NI 43-101 (National Instrument 43-101 Standards of Disclosure for Mineral Projects) - 2001р. та інші. Такі документи підвищують прозорість і достовірність оцінок та класифікацій для інвесторів та фондових ринків, встановлюючи вимоги до публічного розкриття інформації, включаючи QA/QC (таблиця 1).

Таблиця 1

**Вимоги до розкриття інформації щодо QA/QC геологічних даних
відповідно до основних міжнародних стандартів і кодексів**

Документ	Розділ / пункт	Вимоги до звітності щодо QA/QC
CRIRSCO International Reporting Template [6]	Таблиця 1 п. 3.5-3.6	Розгляд організації та контролю опробування, збереження проб і ланцюга їх передачі, внутрішніх та зовнішніх процедур QA/QC, а також процесу та періодичності аудиту і виявлених суттєвих ризиків
JORC Code [4]	Таблиця 1, розділ 1	Фокусується на якості первинного збору геологічних даних та процедурах QA/QC: пробопідготовці та відбору проб, якості аналітичних даних та лабораторних випробувань (застосування стандартів, холостих проб, дублікатів), оцінці/верифікації даних
NI 43-101 [7]	Форма 43-101F1, пункт 11	Короткий огляд характеру, обсягу та результатів застосованих процедур контролю якості, а також заходів із забезпечення якості, та їх результатів
PERC Reporting Standard [8]	Таблиця 1 пункт 3.5-3.6	Розкриття інформації щодо заходів та процедур QA/QC польових та лабораторно-аналітичних даних, використання дублікатів, холостих проб, стандартних зразків, аудитів процесів, незалежних лабораторій та перевірку цілісності бази даних. Передбачає розгляд суттєвих ризиків чи недоліків, виявлених під час перевірок
CIM Mineral Exploration Best Practice Guidelines [5]	Розділи 2.7.3 та 2.7.4	Огляд QA/QC-програми, контроль точності та прецизійності, передбачає використання холостих проб, сертифікованих стандартних зразків, дублікатів, та періодичних аудитів лабораторії; також передбачає перевірку даних перед внесенням до БД. Включає обов'язкове завірення первинної документації, зіставлення електронних записів із оригінальними лабораторними сертифікатами та перевірку даних компетентною особою

Типи контрольних проб та їхні функції. Система QA/QC використовує багато типів контрольних проб, що забезпечує інформацію про якість кожного етапу лабораторних випробувань. Процедури контролю якості необхідні для відстеження забруднення (contamination), достовірності (precision), точності (accuracy) та систематичної похибки (bias) із використанням різних типів контрольних проб [3]. Сучасна система QA/QC базується на чіткому регламенті для кожного типу контрольних матеріалів (Табл. 2).

Склад і частота введення контрольних проб у програмі QA/QC не є універсальними та визначаються специфікою родовища, методами опробування й аналітичними процедурами, а також вимогами до достовірності результатів. Якщо результати контролю перших партій проб демонструють стабільну якість процесу, частота введення окремих типів контрольних проб у наступних партіях може бути скоригована.

Контрольні матеріали мають інтегруватися безпосередньо у загальну послідовність рядових проб, щоб лабораторна партія містила необхідний набір контрольних проб. До нього можуть входити сертифіковані рудні стандарти (зокрема з низькими вмістами) для оцінки точності, холості проби для контролю забруднення та дублікати для оцінювання відтворюваності результатів. Важливо також забезпечувати їх репрезентативне розміщення у послідовності проб, зокрема з урахуванням розташування мінералізованих інтервалів.

За опублікованими даними дев'яти різних авторів, рекомендована кількість контрольних проб кожного типу відрізняється, тоді як їхня загальна кількість становить у середньому близько 20 % від загальної кількості рядових проб [1].

Таблиця 2

Регламент використання та критерії відповідності контрольних проб у системі QA/QC [1]

Назва контрольної проби		Короткий опис	Мета (ціль) застосування	Критерії відповідності	Метод Статистичної обробки
англійською	українською				
Standard / Certified Reference Material (CRM)	Стандартний зразок або стандарт	Сертифікований матеріал відомого складу з матричною відповідністю	Моніторинг якості аналізу (відтворюваності і правильності результатів виміру)	$\pm 2-3$ абс. стандартних відхилень (SD) від сертифікованого значення	Діаграми Шухарта
Preparation / Field Blank (FB/PB)	Холоста проба підготовки або холоста польова проба	Не сертифікований матеріал з об'єкту досліджень, який не містить компонент, що визначається	Моніторинг можливого забруднення проб у ході пробопідготовки, аналізу	від 2-3 до 5 – нижньої межі виміру (LLD) лабораторної методики	
Coarse Blank (CB)	Холоста проба грубого матеріалу	Проба матеріалу стадії дроблення, яка не містить компонент, що визначається	Контролює можливе забруднення в процесі дроблення і розколювання	Те саме	
Certified Reference / Analytical Blank (AB)	Холоста аналітична проба	Сертифікований дотерттий матеріал, який не містить компонент, що визначається	Виявлення фонових або внесеного забруднення в процесі аналізу	Те саме	
Field Duplicate (FD)	Польовий дублікат	Проба, відібрана одночасно з основною з другої половини (або чверті) керну до її дроблення	Оцінка репрезентативності проби та методики опробування	в межах 30 % відносної розбіжності	
Coarse Duplicate (CD)	Дублікат грубого матеріалу	Проба, відібрана із залишків дроблення основної проби (зазвичай, крупність 2 мм) перед розтиранням	Перевірка якості пробопідготовки і відтворюваності лабораторного аналізу	в межах 20 % відносної розбіжності	Діаграма розсіювання / графік квантиль-квантиль
Pulp / Analytical / Fine Duplicate (AD)	Аналітичний дублікат	Проба, відібрана із залишків дотертого матеріалу основної аналітичної проби (крупність 140-200 меш)	Виявлення випадкових похибок аналізу проб шляхом оцінки відтворюваності результатів виміру	в межах 10 % відносної розбіжності	
Independent / External Control, Umpire / Third-party Laboratory Control (UL)	Зовнішній контроль	Аналіз дублікатів аналітичних проб, які пройшли внутрішній контроль, незалежною лабораторією, здійснений тим же методом	Оцінювання значущості систематичної розбіжності результатів виміру основної лабораторії	використання t -критерія Стюдента	

На рис. 1 показано розподіл контрольних проб за типами у реальних програмах QA/QC та відповідні рекомендації, наведені у наукових публікаціях.

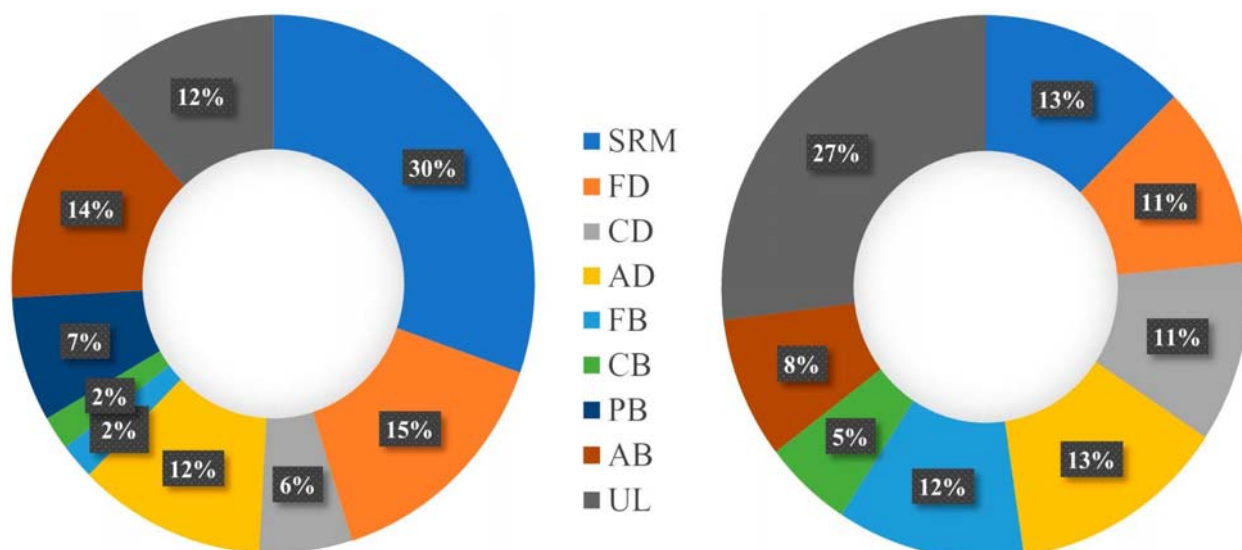


Рис. 1. Порівняння співвідношення, контрольних проб різних типів типами у реальних програмах QA/QC (а) та за даними літературних джерел (б):

SRM – сертифіковані стандарти, FD – польові дублікати, CD – дублікати грубого матеріалу, AD – аналітичні дублікати, FB – польові холості проби, CB – холості проби грубого матеріалу, PB – холості проби пробопідготовки або польові холості проби, AB – аналітичні холості проби, UL – зовнішній лабораторний контроль

У реальних програмах QA/QC серед контрольних проб переважають сертифіковані стандарти (SRM), кількість яких становить 30%, тоді як у наукових публікаціях цей показник удвічі менший і становить 13%. Натомість кількість зовнішнього лабораторного контролю (UL) за літературними даними досягає 27%, тоді як у реальних програмах становить 12%. Відмінності також спостерігаються для польових дублікатів (FD), аналітичних (AB) та польових (FB) холостих проб та дублікатів грубого матеріалу (CD). Наведені дані свідчать про дещо різний розподіл типів контрольних проб у практичних програмах QA/QC та опублікованих рекомендаціях, водночас їхня сумарна кількість у обох випадках становить близько 20% від кількості рядових проб.

QA/QC історичних даних. У радянській та пострадянській геологічній практиці стандартні (класичні) процедури QA/QC не застосовувались. Проте використовувались такі заходи, як контроль виходу керну, буріння контрольних (ревізійних) свердловин [10] та інші відповідно до галузевих нормативних документів НСАМ, СОУ. Якість лабораторних досліджень перевірялася переважно за допомогою дублікатів проб, які повторно аналізувалися в тій самій лабораторії (внутрішній контроль) та іншій незалежній лабораторії (зовнішній контроль) [2].

Контроль якості відбору проб, підготовки, обробки та лабораторного аналізу здійснювався на всіх етапах геологічної розвідки, а кожна операція контролювалася за допомогою певного типу стандартів, дублікатів проб, що можна співвіднести з контрольними пробами, які використовуються в міжнародній геологічній практиці.

Для інтеграції історичних геологічних даних у сучасні міжнародні звіти необхідно зіставити традиційну номенклатуру контрольних проб із термінологією QA/QC. Важливо показати, на якому етапі дослідження традиційна проба набуває відповідності міжнародним стандартам. Кожна операція за такого підходу контролюється певним типом проби, перелік яких наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Кореляція традиційних підходів та міжнародної системи QA/QC за типами проб

Контрольована операція	Назва контрольної проби		Мета контролю
	традиційна	міжнародна	
Опробування	польовий дублікат (половинка керна, борозни)	Field Duplicate	Оцінка якості методики опробування
Дроблення	дублікат (після дробарки)	Coarse Duplicate	Перевірка роботи обладнання та однорідність проб
Обробка проб (просіювання, стирання, квартування, тощо)	дублікат пробопідготовки	Coarse / Pulp Duplicate	Контроль виходу матеріалу під час пробопідготовки; перевірка якості перемішування та скорочення проб
Аналіз	аналітичний дублікат для внутрішнього контролю	Pulp / Analytical Duplicate	Збіжність та виявлення випадкових похибок
	дублікат для зовнішнього контролю	External Control/ Umpire Pulp	Виявлення систематичних розбіжностей (зсуву) лабораторії
Буріння / Опробування / Аналіз	проби з ревізійних / контрольних свердловини	Twin Holle Samples	Комплексна перевірка

Встановлення високого ступеня відповідності історичних даних стандартним практикам QA/QC дає змогу оптимізувати обсяг додаткових робіт, необхідних для їх верифікації, зокрема повторного опробування керна (re-sampling of the drill core), аналізу дублікатів проб (re-analysis of duplicate samples) та завірного / контрольного буріння (twin hole drilling).

Висновки:

У стандартних програмах забезпечення та контролю якості (QA/QC) застосовується широкий спектр контрольних проб для перевірки різних операцій і процесів. Загальна кількість контрольних проб та співвідношення їхніх типів можуть змінюватися залежно від виду корисної копалини, складності геологічної будови, ступеня нерівномірності розподілу корисного компонента, стадії геологічного вивчення та інших факторів.

Процедури контролю радянського і пострадянського часу суттєво відрізняються від стандартних процедур QA/QC, що відповідають міжнародним стандартам звітності CRIRSCO. Це може ускладнювати верифікацію історичних даних і вимагати значних обсягів додаткових робіт з переопробування, повторних аналізів і контрольного буріння.

Для ефективної інтеграції історичних геологічних даних у міжнародну звітність традиційні типи контрольних проб доцільно зіставляти з відповідними типами проб системи QA/QC з урахуванням їх призначення, контрольованої операції та регламенту застосування.

Список використаних джерел:

1. Баряцька Н., Сергеева С. Використання контрольних проб для забезпечення і контролю якості (QA/QC). Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, №101, 2023. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.101.11>
2. СОУ 73.1-41-08.00.45:2007. Стандарт Державної геологічної служби від Мінприроди України. Геологічне вивчення надр. Кількісний хімічний аналіз гірських порід, металічних та неметалічних корисних копалин. Контроль якості геологічний (чинний від 2008-04-01). Вид. офіц. Київ: Держгеонадра. 2008 р.

3. Abzalov, M.Z. (2008). Quality control of assay data: a review of procedures for measuring and monitoring precision and accuracy. *Exploration and Mining Geology*. 2008, 3–4 (17), 131–144.
4. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. JORC Code 2012. https://jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf
5. CIM Mineral Exploration Best Practice Guidelines 2018 https://mrmr.cim.org/en/practice-guidelines/exploration/?utm_source=chatgpt.com
6. International Reporting Template for the Public Reporting of Exploration Targets, Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves. – Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards. June 2024. – 78 p. <https://crirsc.com/documentation/crirsc-international-reporting-template/>
7. NI 43-101 Standards of Disclosure for Mineral Projects, Form 43-101F1 Technical Report and Related Consequential Amendments <https://mrmr.cim.org/media/1017/national-instrument-43-101.pdf>
8. Pan European Reserves and Resources Reporting Committee (PERC) Standard for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves 2021. <https://mrmr.cim.org/media/1153/perc-reporting-standard-2021.pdf>
9. SEDAR+ <https://sedarplus.ca>
10. Sergeieva S., Bariatska N. Quality Assessment of Laboratory Tests: Traditional Approaches and Current Best Practices. XVI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment", Kyiv, 2022.