

Н. Баряцька, д-р геол. наук, голов. геолог
e-mail: BariatskaN@gmail.com

С. Сергєєва, метролог
e-mail: sergeieva.svitlana@gmail.com
ТОВ "Геологічна сервісна компанія",
вул. Боричів Тік, 22а, м. Київ, 04070, Україна

ВИКОРИСТАННЯ КОНТРОЛЬНИХ ПРОБ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ (QA/QC)

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Під час проведення геологорозвідувальних робіт якості даних, які лягають в основу оцінки ресурсів і запасів, надається надзвичайно важливе значення. Згідно з різними міжнародними регламентуючими документами та сучасною світовою передовою практикою, програми забезпечення і контролю якості (QA/QC) є необхідною частиною геологічної розвідки. Забезпечення якості (Quality Assurance – QA) використовується для запобігання проблемам з якістю, контроль якості (Quality Control – QC) спрямований на їхнє виявлення у випадку виникнення, і разом вони утворюють загальну систему якості – QA/QC. У статті розглядаються основні етапи історії розвитку QA/QC, яка бере свій початок у середньовіччі і триває в наш час.

У QA/QC аналітичних досліджень зазвичай використовуються контрольні проби різних типів та призначення: стандарти, холості проби підготовки, холості проби грубого матеріалу, холості аналітичні проби, польові дублікати, дублікати грубого матеріалу, аналітичні дублікати, а також зовнішній лабораторний контроль. Їхня кількість та співвідношення є основною темою даного дослідження. За опублікованими даними дев'яти різних авторів, рекомендована кількість контрольних проб кожного типу відрізняється, і в середньому кількість контрольних проб усіх типів становить близько 20 % від загальної кількості рядових проб.

Для висвітлення сучасного стану питання було проаналізовано 111 програм QA/QC по 87 рудних об'єктах за даними публічних звітів, розміщених емітентами біржі Торонто. Так, на практиці кількість контрольних проб не обов'язково досягає рекомендованих 20 % і сягає трохи більше 16 %.

Основні висновки щодо кількості та співвідношення контрольних проб можна сформулювати таким чином: (1) загалом спостерігається тенденція щодо збільшення кількості та різноманітності контрольних проб; (2) серед типів контрольних проб найчастіше використовуються так звані стандарти, а найменше – холості проби грубого матеріалу; (3) кількість та різноманітність контрольних проб також залежить від типу корисної копалини; (4) на більш пізніх геологорозвідувальних стадіях об'єкта відносна кількість контрольних проб зазвичай збільшується, але в окремих випадках може зменшуватись за умови задовільних результатів на попередніх стадіях, а також незмінності методики робіт і лабораторії.

Ключові слова: забезпечення і контроль якості, QA/QC, контрольні проби.

Вступ. У сучасних реаліях гарантія якості геологічних даних є необхідною умовою розвитку об'єктів геологорозвідувальної та видобувної галузі. Наразі небагато компаній, які займаються розвідкою і видобуванням корисних копалин, мають чітку і систематичну політику забезпечення якості.

М. Валле (Vallee, 1998) визначає три основних підходи: "невтручання", "улов як улов" і систематичний контроль якості, причому останній зустрічається дуже рідко. На його думку, з кінця 80-х років ця ситуація суттєво не поліпшилася. Результати численних аудитів і комплексних перевірок проектів з розвідки і видобування корисних копалин в Південній і Північній Америці, Азії, Африці та Європі (більшість з яких управляються північноамериканськими і австралійськими компаніями) показали, що комплексні програми геологічного контролю якості все ще виконуються відносно нечасто.

У результаті значного поширення процедур гарантії якості компанії дедалі частіше зацікавлені в реалізації таких програм, особливо за потреби державного фінансування. Але для керівництва проекту реалізація програми контролю якості включає в себе певні "небажані" зміни бюджету розвідки. Крім того, це потребує поліпшеної організації опробування, підготовки бази даних і обробки даних, динамічних відношень співробітництва з лабораторіями, а також відповідної підготовки геологічного персоналу.

Основні визначення. Забезпечення якості (Quality Assurance – QA) – комплекс заходів, що гарантує необхідну якість робіт. Контроль якості (Quality Control – QC) – система методів, процедур, перевірок для отримання і підтвердження потрібної якості. Отже, QA використовується для запобігання проблемам, QC спрямований на їхнє виявлення у випадку виникнення, і разом вони утворюють загальну систему якості – QA/QC (рис. 1).

Історія розвитку QA/QC (рис. 2). В Європі в кінці XIII ст. майстри почали об'єднуватися в гільдії, в яких діяли суворі правила щодо якості продуктів і послуг. На товари, що випускаються, ставились позначки, які були доказом якості для клієнтів усієї середньовічної Європи. Такий алгоритм називався "моделлю майстерності" (craftsmanship model) і зберігся аж до початку XIX ст. Фабрична система з упором на інспекцію продукції зародилася в середині 1750-х рр. у Великій Британії. В Америці наприкінці XIX ст. на підприємствах, де в основному використовувалась система управління, розроблена Федеріком Тейлором, задля уникнення потрапляння дефектної продукції до покупців почали створювати спеціальні інспекторські відділи.

У середині 1920-х рр. доктор У. Едвардс Демінг уперше ввів поняття сучасного контролю якості, відоме як принцип (або цикл) Демінга–Шухарта (PDCA – Plan-Do-Check-Act) – планування-дія-перевірка-коригування. Його соратник Уолтер Шухарт зосередився не лише на готовому продукті, але й на промислових процесах, для контролю якості яких запропонував використовувати статистичний контроль якості (statistical quality control – SQC) і контрольні діаграми. У 1926 р. в Нью-Йорку почала функціонувати Міжнародна федерація національних асоціацій зі стандартизації (International Federation of National Standardizing Associations – ISA).

Під час Другої світової війни у воєнному виробництві якість стала критично важливою. Збройні сили почали використовувати вибіркового контролю, таблиці відбору проб було опубліковано у вигляді воєнного стандарту Mil-Std-105. У 1944 р. було утворено Координаційний комітет ООН зі стандартизації (United Nations Standards Coordinating Committee – UNSCC).



Рис. 1. Співвідношення забезпечення і контролю якості

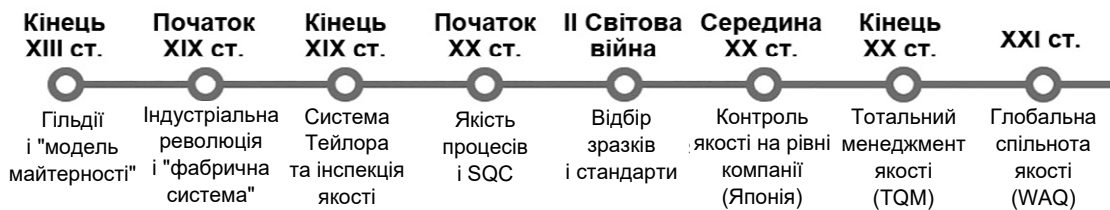


Рис. 2. Хронологічна шкала розвитку QA/QC (*The history of quality, n.d.*)

У 1947 р. в результаті об'єднання ISA і UNSCC, до складу яких на той час входило 25 країн, було створено Міжнародну організацію зі стандартизації (International Organization for Standardisation – ISO).

Після Другої світової війни, коли основні японські виробники перейшли з виробництва військової продукції на товари цивільного призначення, в Японії поширився підхід загального контролю якості на рівні компанії (Company-wide Quality Control). Він полягав у поліпшенні всіх організаційних і виробничих процесів за допомогою людей, які їх виконували.

Загальне управління якістю (Total Quality Management) у США стало прямою відповіддю на якісну революцію в Японії після Другої світової війни і було зумовлено конкуренцією в галузі якості виробництва. Директори великих корпорацій опікувалися не лише контролем, але й управлінням якістю.

Наразі до складу ISO входить 165 країн, розроблено 24 115 міжнародних стандартів, які охоплюють практично всі аспекти діяльності. Стандарти серії ISO 9000, що створені для вдосконалення систем менеджменту якості, прийняті більш ніж 190 країнами світу, вони можуть застосовуватися до будь-яких підприємств, незалежно від їхнього розміру, форм власності і галузі діяльності. Відповідність вимогам ISO 9001:2015 "Вимоги до систем менеджменту якості" (Quality Management Systems – Requirements), основними принципами якого є контроль достовірності і контроль якості, свідчить про рівень надійності компанії.

QA/QC для геологорозвідувальних робіт. Згідно з рекомендаціями Канадського інституту гірничої справи – CIM (*CIM Estimation...*, 2019), QA/QC необхідно враховувати під час збору, обробки та зберігання будь-яких даних, які зрештою використовуються для оцінки мінеральних ресурсів. Ця програма має бути пов'язана, окрім іншого, з перевіркою даних, виходом керну, розміром вибірки, пробопідготовкою, аналітичними методами, використанням контрольних проб, ефектами багатократних періодів збору даних і узгодженістю тривимірної інтерпретації. Результати програми QA/QC є частиною бази даних і повинні бути зареєстровані (*Баряцкая, Сафронова, 2019*).

Під час проведення геологорозвідувальних робіт якості даних, які лягають в основу оцінки ресурсів і запасів, завжди надавалося важливе значення. Однак до певного часу вимоги до якості таких даних не регламентувалося жодними документами.

У 1989 р. вийшло перше видання Кодексу JORC, а слідом за ним і інших – CME, CIM, SAMREC, PERC, NI 43-101 та ін. Своєрідним каталізатором послугував великий біржовий скандал, пов'язаний з аферою компанії Bre-X Minerals Ltd., яка виконувала геологічну розвідку золотого проєкту Бусанга в Індонезії (*Casey, 2019*).

Недовіра до класифікації ресурсів, яка виникла внаслідок цього, призвела до більш широкого використання процедур забезпечення якості (QA) і контролю якості (QC) у програмах розвідки корисних копалин. Австралійська фондова біржа (ASX) та інші біржі тепер потребують публікувати дані, які супроводжуються описом процедур опробування і QA/QC, що використовуються під час збору та аналізу розвідувальних проб. Компетентна / кваліфікована особа (competent person – CP, qualified person – QP) повинна описати характер прийнятих процедур контролю якості, включаючи типи та кількість контрольних проб, і вказати, чи досягнутий прийнятний рівень точності і прецизійності.

Фінансові установи тепер вимагають неупередженого аудиту геологічних і аналітичних даних, що зазвичай містять докладний огляд процедур QA/QC, які проводяться під час розвідки, включаючи підтвердження точності і прецизійності. Позитивним результатом аудиту QA/QC є "штамп затвердження" бази даних, без якого всі зусилля, витрачені на геологічне моделювання і класифікацію ресурсів, ставляться під сумнів. Погана практика QA/QC призводить до отримання оцінок ресурсів "у темряві" (in the dark).

Програми QA/QC розробляються перед початком робіт і дозволяють оцінити ступінь достовірності даних геологічного проєкту на будь-якій стадії робіт. Метою таких програм є кількісна оцінка і моніторинг будь-яких можливих помилок, а також надання інформації, яка може бути використана для оптимізації процедур відбору проб і аналізу з метою мінімізації кількості помилок.

Типи контрольних проб та їхні функції. Ефективна програма QA/QC – це програма, яка є активною, безперечною і переглядається протягом усього процесу збору даних, дозволяючи виконувати корегувальні дії на буровій, у процедурах опробування або в лабораторії. Процедури контролю якості необхідні для моніторингу

контамінації (contamination), прецизійності (precision), точності (accuracy), похибки (bias) і зазвичай включають використання різних типів контрольних проб для досягнення цієї мети (Abzalov, 2008). У табл. 1 розглядаються основні типи контрольних проб, мету їхнього застосування та критерії відповідності.

Таблиця 1

Типи контрольних проб				
Скорочення	Тип контрольної проби	Короткий опис	Мета (ціль) застосування	Критерії відповідності
SRM	Стандартний зразок або стандарт (Standard, Certified Reference Material)	Сертифікований матеріал відомого складу	Моніторинг якості аналізу (відтворності і правильності результатів виміру)	Приймається в межах $\pm 2-3$ абс. стандартних відхилень (SD) від сертифікованого значення
FB (PB)	Холоста проба підготовки або холоста польова проба (Preparation Blank, Field Blank)	Не сертифікована проба з матеріалу об'єкта досліджень, яка не містить компонент, що визначається	Моніторинг можливого забруднення проб у ході лабораторних процедур, а саме: пробопідготовки, аналізу, маркування	Приймається в діапазоні від 2–3 до 5 – нижньої межі виміру (LLD) лабораторної методики
CB	Холоста проба грубого матеріалу (Coarse Blank)	Проба матеріалу стадії дроблення, яка не містить компонент, що визначається	Контролює можливе забруднення в процесі дроблення і розколювання	Те саме
AB	Холоста аналітична проба (Certified Reference Blank, Analytical Blank)	Сертифікований дотертий матеріал, який не містить компонент, що визначається	Виявлення фонових або внесеного забруднення в процесі аналізу	Те саме
FD	Польовий дублікат (Field Duplicate)	Проба, відібрана одночасно з основною з другої половини (або чверті) керну до її дроблення	Оцінка репрезентативності проби та методики опробування (у т.ч. виміру)	Приймається в межах 30 % відносної розбіжності
CD	Дублікат грубого матеріалу (Coarse Duplicate)	Проба, відібрана із залишків дроблення основної аналітичної проби (зазвичай, крупність 2 мм) перед розтиранням	Перевірка якості пробопідготовки і відтворності лабораторного аналізу	Приймається в межах 20 % відносної розбіжності
AD	Аналітичний дублікат (Pulp Duplicate, Analytical Duplicate, Fine Duplicate)	Проба, відібрана із залишків дотертого матеріалу основної аналітичної проби (крупність 140-200 меш)	Виявлення випадкових похибок аналізу проб шляхом оцінки відтворності результатів виміру	Приймається в межах 10 % відносної розбіжності
UL	Зовнішній контроль (Independent / External Control, Umpire / Third-party Laboratory Control)	Аналіз дублікатів аналітичних проб, які пройшли внутрішній контроль, незалежною лабораторією, здійснений тим же методом	Оцінювання значущості систематичної розбіжності результатів виміру основної лабораторії	Оцінка здійснюється за допомогою критерію Стьюдента

Головною вимогою до оцінки мінеральних ресурсів за міжнародними стандартами є якість геологорозвідки і результатів аналітичних досліджень, яку ефективно забезпечують програми QA/QC. Чинні міжнародні стандарти та сучасна передова практика потребують, щоб QA/QC супроводжувала будь-яку геологорозвідувальну програму для підтвердження достовірності даних розвідки. Програма QA/QC спрямована моніторити всі принципові аспекти послідовності опробування з метою контролю і зменшення кількості випадкових і систематичних помилок. Міжнародна сертифікована лабораторія, у свою чергу, здійснює систематичний контроль усіх етапів проходження проб, використовуючи свої контрольні проби за аналогічною схемою. Обробка результатів внутрішнього лабораторного контролю здійснюється після проходження кожної партії проб, на відміну від вітчизняних лабораторій, де контроль проводиться поквартально.

Кількість дублікатів, стандартів і холостих проб може варіюватися в програмах QA/QC залежно від типу мінералізації, процедур тощо. Так, для крупного золота кількість холостих проб пробопідготовки збільшують, оскільки це критичний етап для даного типу зруденіння. У деяких випадках кількість таких холостих проб може зменшуватися у наступних партіях проб за умови отримання позитивних результатів у перших партіях.

Контрольні проби повинні включатися у послідовність проб таким чином, щоб у кожній лабораторній партії був присутній хоча б один рудний стандарт, одна холоста проба, один бідний стандарт і один дублікат.

Частота включення контрольних проб залежить від особливостей корисної копалини і ступеня вивченості об'єкта, їх розподіляють у партіях проб таким чином, щоб вони якомога частіше потрапляли у мінералізовані інтервали. Бажано холосту пробу вставляти після мінералізованого інтервалу. Рекомендована кількість контрольних проб кожного типу відрізняється також у різних авторів залежно від їхнього досвіду (табл. 2), і в середньому кількість контрольних проб усіх типів становить близько 20 % від загальної кількості рядових проб.

Для висвітлення сучасного стану питання, автори статті виконали аналіз 111 програм QA/QC по 87 рудних об'єктах за даними звітів, опублікованих у 2021 р. на офіційному сайті Sedar (*SEDAR, n.d.*) – файлової системи, що забезпечує публічний доступ до інформації, поданої емітентами біржі Торонто. Необхідно розуміти, що у цю статистику потрапили лише об'єкти із задовільними програмами QA/QC, які пройшли незалежний аудит при виході на біржу. Приклади наведено в табл. 3.

Середнє співвідношення контрольних проб різних типів у реальних програмах QA/QC показано на рис. 3.

Таблиця 2

Частота включення (залучення) контрольних проб за рекомендаціями різних авторів (згідно з (Simon Mendez, 2011), з доповненнями)

Автор, джерело	Опис	Рекомендована кількість контрольних проб
R.S. Rogers (Rogers, 1998)]	Дублікати, стандарти, холості проби: 1:20; зовнішній контроль: 5 %	~ 20 %
I. Neuss (Neuss, 1998)	2–5 % польових дублікатів, 2–5 % дублікатів грубого матеріалу, 5 %–10 % аналітичних дублікатів, 5–10 % зовнішнього контролю; 1 стандарт і 1 холоста аналітична проба на кожну партію	от 19 % до 25 %
S. Long (Long, 1998; 2000)	5 % дублікатів грубого матеріалу, 5 % аналітичних дублікатів, 5 % стандартів, одна аналітична холоста проба на партію (близько 3 %), 3 % зовнішнього контролю (з матеріалу аналітичних дублікатів)	~ 21 %
D. Sketchley (Sketchley, 1999)	На партію з 20 проб: 1 холоста проба, 1 стандарт, 1 дублікат; крім того, усі аналітичні дублікати слід проаналізувати в контрольній лабораторії	~ 20 %
L. Bloom (Bloom, 1999)	На партію з 20 проб: 1 холоста проба, 1 стандарт; крім того, відправка кожної десятої дотертої проби у незалежну лабораторію	~ 20 %
S. Lomas (Lomas, 2004)	На партію з 20 проб: 1 холоста проба, 1 стандарт, 1 дублікат грубого матеріалу і 1 аналітичний дублікат; крім того, 5 % дотертих проб слід проаналізувати в контрольній лабораторії (включаючи стандарти)	~ 25 %
A. Simon Mendez (Simon Mendez, 2011)	Дублікати – 6 % (польових дублікатів – 2 %, дублікатів грубого матеріалу – 2 %, аналітичні дублікати – 2 %), стандарти – 6 %, холості проби – 4 % (холості проби грубого матеріалу – 2 %, аналітичні холості проби – 2 %), зовнішній контроль – 4 %	~ 20 %
O. Альмендінгер (Альмендінгер, 2018)	Дублікати: польові – 2–5 %, грубого матеріалу – 2–5 %, аналітичні – 5 %; стандарти – 5–6 %, холості проби: польові – 2 %, аналітичні – 2 %; зовнішній контроль – 5 %	не менше 20 %
S. Dominy (Dominy et al., 2020)	Польові дублікати – 1:20, дублікати грубого матеріалу – 1:20, аналітичні дублікати – 1:20, стандарти – 1:20, холості проби – 1:20, зовнішній контроль – 1:20	до 30 % (максимальний варіант)

Таблиця 3

Кількість контрольних проб за програмами QA/QC реальних рудних об'єктів

Назва об'єкта (родовища)	Корисний компонент	Країна	Кількість контрольних проб	
			за типами	загальна
Malartic Mine 100	Au	Канада	SRM – 1:20, CD – 1:25, CB – 1:25, AB – 1:50, UL – 1:20	20 %
El Roble Mine	Au-Cu	Колумбія	Кернові проби: SRM – 1:16, FD – 1:25, FB + AB = 1:12, UL – 1:18	24,1 %
			Бороздові проби: SRM – 1:25, FD – 1:16, FB + AB = 1:20, UL – 1:8	27,8 %
Embayment	Co	Канада	SRM – 1:24, FD – 1:28, AB + PB – 1:40	10,2 %
Blanco	Li	Чилі	SRM – 7 %, FD – 14 %, AB – 4 %, UL – 2 %	27 %
Kato	Au-Ag	Японія	SRM – 1:35, FD – 1:35, AD – 1:35, AB – 1:35	8,6 %
La Libertad	Au-Ag-Cu	Нікарагуа	SRM – 1:39, FD – 1:39, CD – 1:39, AD – 1:39, AB – 1:39, UL – 3,6 %	16,4 %
Toropunto, Emmanuel, Maria Cecilia	Au-Ag-Cu-Mo	Перу	SRM – 4,1 %, FD – 2,7 %, CD – 2,7 %, AD – 4 %, CB – 2,7 %, AB – 2,7 %, UL – 1,44 %	20,3 %
Entrée/Oyu Tolgoi JV	Cu-Au-Mo	Монголія	SRM – 1:20, FD – 1:40, CD – 1:40, AD – 1:20, PB – 1:20, UL – 5 %	25 %
Mercedes	Au-Ag	Мексика	SRM – 3,9 %, FD – 1:30, AB – 0,4 %, PB – 2,3 %, UL – 1:30	13,3 %
Rovina Valley	Au-Cu	Румунія	Au: SRM – 3,4 %, FD – 3 %, CD – 2,6 %, AD – 3 %, CB – 3 %, AB – 3 %	18 %
			Cu: SRM – 2,2 %, FD – 3 %, CD – 2,6 %, AD – 3 %, CB – 3 %, AB – 3 %	16,8 %
Elmtree Gold	Au-Ag	Канада	SRM – 1:35, FD – 1:40, AD – 1:25, PB – 1:20, UL – 1:25	22,4 %
Mt Cattlin	Li-Ta	Австралія	SRM – 1:25, FD – 1:25, CB + AB – 1:25	12 %
Kgwakgwe Hill	Mn	Ботсвана	SRM – 6,9 %, FD – 1,3 %, AD – 1,2 %, AB – 3,75 %, UL – 2,5 %	15,7 %
Baptiste	Ni-Fe-Au-Cr	Канада	SRM – 9,8 %, AB – 3,47 %, UL – 4.54	17,8 %
Kaukua	Pd, Pt, Au, Cu, Ni	Фінляндія	SRM – 2,8 %, AB + FB – 1,5 %, UL – 11,07 %	15,4 %
Florida Canyon	Zn-Pb-Ag-Cu	Перу	SRM – 4,92 %, FD – 0,93 %, CD – 0,93 %, AD – 4,93 %, CB – 1,95 %, UL – 2,21 %	15,87 %
Zebediela	Ni	ПАР	SRM – 1:30, FD – 1:30, AB – 1:30, UL – 4,9 %	~15,6 %
Zacatecas	Ag-Au-кольорові метали	Мексика	SRM 1:16, AD – 1:16, PB – 1:16	~18,9 %
Canadian Malartic	Au-Ag	Канада	Regional Exploration 2014–2020: SRM – 5,2 %, AD – 2,3 %, AB – 2,6 %, UL – 5,3 %	15,4 %
			Mine Exploration 2017–2018: SRM – 5,4 %, AD – 2,4 %, AB – 2,6 %, UL – 3,2 %	13,6 %
			Mine Exploration 2019–2020: SRM – 5,4 %, AD – 2,4 %, AB – 2,4 %, UL – 1,2 %	11,4 %
Casino	Cu-Au-Mo	Канада	2019: SRM – 5 %, FD – 5 %, AB – 5 %, UL – 20 %	35 %
			2020: SRM – 5 %, FD – 5 %, AB – 5 %, UL – 5 %	20 %
Kiena Mine	Au	Канада	SRM – 5,9 %, FD – 5,1 %, AD – 5,1 %, PB – 5,6 %, UL – 3,9 %	25,6 %

*SRM (standard reference materials) – стандарти, FD (field duplicates) – польові дублікати, CD (coarse duplicates) – дублікату грубого матеріалу, AD (analytical duplicates) – аналітичні дублікати, FB (field blanks) – польові холості проби, CB (coarse blanks) – холості проби грубого матеріалу, PB (preparation blanks) – холості проби прободготовки, AB (analytical blanks) – аналітичні холості проби, UL (upire laboratory) – зовнішній контроль.



Рис. 3. Середнє співвідношення контрольних проб у програмах QA/QC

Аналіз показав, що на практиці кількість контрольних проб не обов'язково досягає рекомендованих 20 % і залежить від багатьох факторів (не завжди об'єктивних). У середньому кількість контрольних проб за 111 програмах QA/QC становило трохи більше 16 %.

Висновки. Основні висновки щодо кількості та співвідношення контрольних проб, що впливають з аналізу програм QA/QC (з опублікованих даних та реальних рудних об'єктів), можна сформулювати таким чином:

- загалом спостерігається тенденція щодо збільшення кількості та різноманітності контрольних проб – вважається, що це підвищує надійність результатів;
- серед типів контрольних проб найчастіше використовуються так звані стандарти, а найменше – холості проби грубого матеріалу;
- кількість та різноманітність контрольних проб також залежить від типу корисної копалини – чим складніше об'єкт, тим більше контрольних проб необхідно;
- на більш пізніх геологорозвідувальних стадіях об'єкта відносна кількість контрольних проб зазвичай збільшується, але в окремих випадках може зменшуватись за умови задовільних результатів на попередніх стадіях, а також незмінності методики робіт і лабораторії.

Список використаних джерел

- Альмендингер, О. (2018). Программа обеспечения и контроля качества QA/QC. <https://www.micromine.ru/qa-qc-quality-control/>
- Баряцкая, Н.В., Сафронова, Н.Г. (2019). Поэтапная проверка при трехмерном моделировании и оценке ресурсов рудных месторождений. *Геоинформатика*, 1 (69), 47–57.
- Abzalov, M.Z. (2008). Quality control of assay data: a review of procedures for measuring and monitoring precision and accuracy. *Exploration and Mining Geology*, 3–4 (17), 131–144.
- Bloom, L. (1999). The role of economic geologists in evaluating assay data quality.
- Casey, J.P. (2019). Mining scandals: four incidents that shook the industry. <https://www.mining-technology.com/features/mining-scandals-four-incidents-that-shook-the-industry/>
- CIM Estimation of Mineral Resources and Mineral Reserves. Best Practice Guidelines. (2019). Quebec: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 75 p.
- Dominy, S., Purevgerel, S., Esbensen, K. (2020). Quality and sampling error quantification for gold mineral resource estimation. *Spectroscopy Europe*, 32 (6), 21–27.
- Lomas, S. (2004). QAQC Program. General Discussion. *AMEC Internal document*.
- Long, S. (1998). Practical Quality Control Procedures in Mineral Inventory Estimation. *Exploration and Mining Geology*, 7 (1 and 2), 117–127.
- Long, S. (2000). Assay Quality Assurance-Quality Control Program for Drilling Projects at the Prefeasibility to Feasibility Report Level (3rd. Ed.). *MRDI, Internal report*.
- Neuss, I. (1998). Sampling "Legends"-What Can We Learn from Busang? *More Meaningful Sampling in the Mining Industry. Australian Institute of Geoscientists*, 2, 109–118.
- Rogers, R.S. (1998). Forensic Geology and Mineral Exploration Projects. *Exploration and Mining Geology*, 7 (1 and 2), 25–27.
- SEDAR: System for Electronic Document Analysis and Retrieval, Canadian Securities Administration. (n.d.). <https://www.sedar.com/>

- Simon Méndez, A. (2011) Discussion on Current Quality-Control Practices in Mineral Exploration. *Applications and Experiences of Quality Control*, 595–610.
- Sketchley, D. (1999). Case history guidelines for establishing sampling protocols and monitoring quality control. *Proceedings of CIMM Annual General Meeting Symposium on Quality Control of Resource Estimations: an ISO Perspective*.
- Simyn, A. (2007). Control Sample Insertion Rate: Is There an Industry Standard? *Program and Abstracts of the 23rd International Applied Geochemistry Symposium (IAGS), Oviedo, Spain, 14–19 June 2007, The Association of Applied Geochemistry, Oviedo*.
- The history of quality. (n.d.). <https://asq.org/quality-resources/history-of-quality#development>
- Vallee, M. (1998). Sampling quality control. *Exploration and Mining Geology*, 7, 107–116.

References

- Abzalov, M.Z. (2008). Quality control of assay data: a review of procedures for measuring and monitoring precision and accuracy. *Exploration and Mining Geology*, 3–4 (17), 131–144.
- Allmendinger, O. (2018). Quality assurance and quality control programme QA/QC. <https://www.micromine.ru/qa-qc-quality-control/> [in Russian]
- Bariatska, N., Safronova, N. (2019) Stage-by-Stage Verification for Three-Dimensional Modeling and Resource Assessment of ore Deposits. *Geoинформатика*, 1(69), 47–57. [in Russian]
- Bloom, L. (1999). The role of economic geologists in evaluating assay data quality.
- Casey, J.P. (2019). Mining scandals: four incidents that shook the industry. <https://www.mining-technology.com/features/mining-scandals-four-incidents-that-shook-the-industry/>
- CIM Estimation of Mineral Resources and Mineral Reserves. Best Practice Guidelines. (2019). Quebec: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 75 p.
- Dominy, S., Purevgerel, S., Esbensen, K. (2020). Quality and sampling error quantification for gold mineral resource estimation. *Spectroscopy Europe*, 32 (6), 21–27.
- Lomas, S. (2004). QAQC Program. General Discussion. *AMEC Internal document*.
- Long, S. (1998). Practical Quality Control Procedures in Mineral Inventory Estimation. *Exploration and Mining Geology*, 7 (1 and 2), 117–127.
- Long, S. (2000). Assay Quality Assurance-Quality Control Program for Drilling Projects at the Prefeasibility to Feasibility Report Level (3rd. Ed.). *MRDI, Internal report*.
- Neuss, I. (1998). Sampling "Legends"-What Can We Learn from Busang? *More Meaningful Sampling in the Mining Industry. Australian Institute of Geoscientists*, 2, 109–118.
- Rogers, R.S. (1998). Forensic Geology and Mineral Exploration Projects. *Exploration and Mining Geology*, 7 (1 and 2), 25–27.
- SEDAR: System for Electronic Document Analysis and Retrieval, Canadian Securities Administration. (n.d.). <https://www.sedar.com/>
- Simon Méndez, A. (2011) Discussion on Current Quality-Control Practices in Mineral Exploration. *Applications and Experiences of Quality Control*, 595–610.
- Simyn, A. (2007). Control Sample Insertion Rate: Is There an Industry Standard? *Program and Abstracts of the 23rd International Applied Geochemistry Symposium (IAGS), Oviedo, Spain, 14–19 June 2007, The Association of Applied Geochemistry, Oviedo*.
- Sketchley, D. (1999). Case history guidelines for establishing sampling protocols and monitoring quality control. *Proceedings of CIMM Annual General Meeting Symposium on Quality Control of Resource Estimations: an ISO Perspective*.
- The history of quality. (n.d.). <https://asq.org/quality-resources/history-of-quality#development>
- Vallee, M. (1998). Sampling quality control. *Exploration and Mining Geology*, 7, 107–116.

Надійшла до редколегії 07.10.22

N. Bariatska, Dr. Sci. (Geol.), Chief Geologist

e-mail: BariatskaN@gmail.com

S. Sergeieva, metrologist

e-mail: sergeieva.svitlana@gmail.com

Geological Service Company LLC,

22a Borychiv Tik Str., Kyiv, 04070, Ukraine

CONTROL SAMPLES USING FOR QUALITY ASSURANCE AND CONTROL (QA/QC)

In geological exploration, the quality of the data underlying of resource and reserve estimation is critically important. According to various international regulations and current world best practices, Quality Assurance and Quality Control (QA/QC) programs are a necessary part of geological exploration. Quality Assurance (QA) is used to avoid the problems with quality, Quality Control (QC) is aimed at detecting them in case of their occurrence, and together they form the overall Quality System – QA/QC. The article considers the main stages of the history of QA/QC development, which begins in the Middle Ages and continues in our time.

Control samples used to control analytical tests have different types and purposes / functions: standards, preparation blanks, coarse blanks, analytical blanks, field duplicates, coarse duplicates, pulp duplicates and umpire laboratory control. Their amount and ratio is the main topic of the research. According to the published data of nine different authors, the recommended control sample amount of each type is different. On average, the amount of control samples of all types is about 20% of the total number of routine samples.

In order to highlight the current state of the issue, the authors of the article have analyzed 111 QA/QC programs for 87 ore projects according to the public reports disclosed by the issuers of the Toronto Stock Exchange. So, in practice, the control sample amount does not necessarily reach the recommended 20 % and is slightly more than 16 %.

The main conclusions regarding the amount and ratio of control samples can be presented as follows: (1) the general increasing trend in the amount and variety of control samples is observed; (2) among the control sample types, the so-called standards are most often used, and the least used are coarse blanks; (3) the control sample amount and variety also depends on the mineral type; (4) at more advanced exploration stages of the project, the control sample relative number usually increases, but in some cases it may decrease if the results of the previous stages are satisfactory, and the methodology and laboratory are not changed.

Keywords: Quality Assurance, Quality Control, QA/QC, control samples.