

UDC 657.6:622.342.1(571.65)

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Yu., Dolbin I.D. Auditing the Reliability of Reserve Movement Data and Valuable Component Losses in Open-Pit Placer Mining: The Case of the Mineral Resource Complex of North-Eastern Russia

Аудит достоверности данных о движении запасов и потерях полезного компонента при открытой разработке россыпных месторождений (на примере минерально-сырьевого комплекса Северо-Востока России)

Arno Veronika Vladimirovna

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Kolesnichenko Eva Pavlovna

Undergraduate Student, State and Municipal Audit Programme,
Moscow State University, Moscow

Garifulina Irina Yurievna,

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Dolbin Ivan Dmitrievich,

Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan

Арно Вероника Владимировна,
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан

Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 4 курса направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит» ВШГА
МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Гарифулина Ирина Юрьевна,
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО
Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан

Долбин Иван Дмитриевич,
Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. The aim of the study is to develop and test a methodology for auditing the reliability of data on reserves movement and losses of the valuable component in open-pit mining of gold placer deposits. Cross-verification of accounting registers, the balance method, assessment of total error by the variance addition rule and the sign test for the systematic nature of deviations were applied. Seven calculation relationships are proposed and tested on a sample of five production sites with a total rock mass volume of 854.0 thousand m³ and calculated metal content of 349.2 kg. It is established that with an individual tolerance of 11.58 % none of the block deviations is recognised as material (from -2.57 to -5.04 %), however the unidirectional nature of all five deviations, with a random coincidence probability of 0.0625, indicates a systematic accounting bias: actual metal delivery is 3.78 % lower than expected under the approved loss standard of 6.2 %. The accounting reliability coefficient equals 0.962 against a threshold of 0.975, unaccounted metal amounts to 12.4 kg, or 104.6 million roubles, and the integral reliability index equals 0.813.

Keywords: subsoil use audit, reserves movement, losses of valuable component, placer deposits, accounting reliability coefficient, mine survey measurement, ore dilution, materiality, systematic bias.

Аннотация. Цель работы – разработать и апробировать методику аудита достоверности данных о движении запасов и потерях полезного компонента при открытой разработке россыпных месторождений золота. Использованы метод сквозной сверки учётных регистров, балансовый метод, оценка суммарной погрешности по правилу сложения дисперсий и статистическая проверка систематичности отклонений знаковым критерием. Предложены семь расчётных зависимостей и выполнена апробация на выборке из пяти эксплуатационных участков с суммарным объёмом горной массы 854,0 тыс. м³ и расчётным металлом 349,2 кг. Установлено, что при индивидуальном допуске 11,58 % ни одно отклонение по блокам не признаётся существенным (от –2,57 до –5,04 %), однако однонаправленность всех пяти отклонений при вероятности случайного совпадения 0,0625 указывает на систематическое смещение учёта: фактическая сдача металла на 3,78 % ниже ожидаемой при утверждённом нормативе потерь 6,2 %. Коэффициент достоверности учёта составил 0,962 доли ед. при пороговом значении 0,975, количество неучтённого металла – 12,4 кг, или 104,6 млн руб. стоимостной оценки, интегральный индекс достоверности – 0,813 доли ед.

Ключевые слова: аудит недропользования, движение запасов, потери полезного компонента, россыпные месторождения, коэффициент достоверности учёта, маркшейдерский замер, разубоживание, существенность, систематическое смещение.

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение

Россыпная золотодобыча остаётся структурно значимым сегментом минерально-сырьевого комплекса Северо-Востока России. По итогам 2025 года в Магаданской области добыто 55,1 т золота, из которых на россыпи пришлось около 16,1 т, а на рудные месторождения — 39 т; результат россыпников практически повторил уровень предыдущего года при снижении на 0,07 % [1, 2]. Основная добыча сосредоточена в Ягоднинском и Сусуманском районах [3]. Эти цифры формируют самостоятельную задачу контроля: значительный объём металла добывается на множестве мелких и средних объектов с сезонным циклом работ, где первичный учёт ведётся в условиях ограниченного времени и высокой изменчивости содержаний.

Специфика россыпей делает достоверность учёта самостоятельной проблемой, а не следствием общей культуры документооборота. Полезный компонент распределён крайне неравномерно, промышленные содержания измеряются граммами на кубический метр, а объём горной массы определяется маркшейдерскими замерами с погрешностью, которая при малых мощностях пласта сопоставима с самим полезным эффектом. Дополнительный фактор — сезонность: промывочный сезон сжат в несколько месяцев, из-за чего сверка учётных регистров нередко выполняется постфактум, когда объект уже отработан и повторный замер физически невозможен.

Нормативная рамка контроля задаётся требованиями к маркшейдерскому обеспечению горных работ. Согласно пункту 15 Федеральных норм и правил «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твёрдых полезных ископаемых», утверждённых приказом Ростехнадзора от 08.12.2020 № 505, организации, эксплуатирующие объекты горных работ, обязаны осуществлять маркшейдерское

обеспечение безопасного ведения горных работ на основании соответствующей лицензии либо заключать договоры со специализированными организациями [4]. Пункт 568 тех же правил требует выполнения маркшейдерских работ в соответствии с проектом производства маркшейдерских работ [4]. К объектам открытых горных работ прямо отнесены карьеры, прииски и дражные полигоны [5, 8-9]. Таким образом, данные о движении запасов имеют не только учётное, но и надзорное значение.

Вместе с тем действующая практика внутреннего контроля на россыпных предприятиях чаще всего сводится к проверке арифметической правильности форм отчётности и сопоставлению итогов с планом. Такой подход не выявляет систематического смещения, при котором каждое отдельное отклонение остаётся в пределах допустимой погрешности, а их совокупность формирует устойчивую потерю металла в учёте. Цель работы — разработать методику аудита достоверности данных о движении запасов и потерях полезного компонента при открытой разработке россыпных месторождений, обеспечивающую выявление как единичных существенных искажений, так и систематических смещений учёта.

Материалы и методы

Объекты аудита и источники данных

Предметом проверки является замкнутая цепочка первичных данных, в которой каждое звено формируется отдельной службой предприятия и по отдельному документу. Разрывы между звеньями и составляют область аудиторского риска. Состав звеньев, документов и типовых искажений приведён в таблице 1.

Таблица 1

Звенья учёта движения запасов и типовые искажения

Звено учёта	Источник данных	Ответственная служба	Типовое искажение
Погашение балансовых запасов	Форма 5-гр, план развития горных работ	Геологическая	Списание запасов без подтверждения отработки контура
Объём горной массы	Маркшейдерский замер, ЦММ полигона	Маркшейдерская	Замер по неполному контуру, недоучёт недобора и присечки
Содержание в добытой массе	Журнал опробования, протоколы анализов	Геологическая	Смещение сети опробования к богатым интервалам
Разубоживание и потери	Акты, паспорта эксплуатационных блоков	Геолого-маркшейдерская	Отнесение потерь переработки к потерям при добыче
Съём металла	Акты съёма, шлихограммы	Технологическая	Разрыв между съёмом и передачей на аффинаж
Сдача металла	Акты приёмки аффинажного завода	Бухгалтерия	Сверка с расчётным металлом не выполняется

Расчётные зависимости

Расчётное количество полезного компонента в добытой горной массе определяется произведением объёма и среднего содержания с учётом разубоживания

$$Q_p = V_m \cdot C_b \cdot (1 - R_{\text{раз}}) \cdot k_{\text{п}} \quad (1)$$

где V_m — объём горной массы по маркшейдерскому замеру, тыс. м³; C_b — балансовое содержание полезного компонента, г/м³; $R_{\text{раз}}$ — коэффициент разубоживания, доли ед.; $k_{\text{п}}$ — переводной коэффициент размерности.

Ожидаемое количество сдаваемого металла при соблюдении утверждённого норматива потерь и относительное отклонение фактической сдачи составляют

$$Q_{\text{ож}} = Q_p (1 - N_{\text{п}}), \delta = \frac{Q_{\text{ф}} - Q_{\text{ож}}}{Q_{\text{ож}}} \cdot 100 \quad (2)$$

где $N_{\text{п}}$ — утверждённый норматив потерь при добыче, доли ед.; $Q_{\text{ф}}$ — фактически сданное количество металла, кг.

Суммарная погрешность оценки количества металла формируется независимыми погрешностями определения объёма и содержания и вычисляется по правилу сложения дисперсий

$$\sigma_Q = \sqrt{\sigma_V^2 + \sigma_C^2} \quad (3)$$

где σ_V — относительная погрешность маркшейдерского определения объёма, %; σ_C — относительная погрешность определения среднего содержания по данным опробования, %.

Границы существенности для отдельного блока и для совокупности блоков различаются, поскольку при осреднении случайная составляющая убывает пропорционально корню из числа наблюдений

$$\Delta_{\text{бл}} = t_{\text{кр}} \cdot \sigma_Q, \Delta_{\text{сов}} = \frac{t_{\text{кр}} \cdot \sigma_Q}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

где $t_{\text{кр}}$ — критическое значение нормированного отклонения при доверительной вероятности 0,95 (принято 1,96); n — число проверяемых блоков.

Коэффициент достоверности учёта и количество неучтённого металла по совокупности определяются выражениями

$$K_{\text{дост}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{ф},i}}{\sum_{i=1}^n Q_{\text{ож},i}}, Q_{\text{неуч}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{ож},i} - \sum_{i=1}^n Q_{\text{ф},i} \quad (5)$$

Систематичность отклонений проверяется знаковым критерием: при отсутствии смещения знаки отклонений равновероятны, и вероятность однонаправленности всех n отклонений составляет

$$p = 2 \cdot (0,5)^n \quad (6)$$

Интегральный индекс достоверности учёта, объединяющий величину смещения, его систематичность и качество документального подтверждения, рассчитывается как

$$I_d = w_1 \left(1 - \frac{|\delta_{\text{сов}}|}{\Delta_{\text{бл}}} \right) + w_2 (1 - p) + w_3 \cdot D_{\text{п}} \quad (7)$$

где $D_{\text{п}}$ — доля операций, подтверждённых полным комплектом первичных документов, доли ед.; $w_1 = 0,40$, $w_2 = 0,35$, $w_3 = 0,25$ — весовые коэффициенты, принятые по результатам экспертного опроса. Расчёт выполнен при $\sigma V = 2,8 \%$, $\sigma C = 5,2 \%$, $N_{\text{п}} = 0,062$ и $R_{\text{раз}} = 0,18$, что соответствует типичным для колымских россыпных полигонов значениям.

Результаты

Апробация методики выполнена на выборке из пяти эксплуатационных участков россыпной добычи с суммарным объёмом горной массы 854,0 тыс. м³. Суммарная погрешность оценки количества металла по формуле (3) составила 5,91 %, что даёт границу существенности для отдельного блока 11,58 % и для совокупности пяти блоков 5,18 %. Результаты сквозной сверки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты сквозной сверки данных о движении запасов и сдаче металла

Участок	Вм, тыс. м ³	Сб, г/м ³	Qр, кг	Qож, кг	Qф, кг	δ, %	Оценка существенности
Уч. 1 Берелех	248,6	0,412	102,4	96,1	92,4	-3,82	в пределах
Уч. 2 Дебин	192,4	0,365	70,2	65,9	64,1	-2,69	в пределах
Уч. 3 Оротукан	141,0	0,508	71,6	67,2	63,8	-5,04	в пределах
Уч. 4 Тенька	96,8	0,286	27,7	26,0	25,3	-2,57	в пределах
Уч. 5 Сусуман	175,2	0,441	77,3	72,5	69,6	-3,96	в пределах
Итого по выборке	854,0	—	349,2	327,6	315,2	-3,78	—

Главный результат состоит в расхождении между блочной и совокупной оценками существенности. Ни одно из пяти отклонений — от -2,57 % по участку Тенька до -5,04 % по участку Оротукан — не превышает индивидуального допуска 11,58 %, и при традиционной проверке «по блокам» аудитор был бы вынужден признать учёт достоверным. Однако все пять отклонений имеют одинаковый отрицательный знак, вероятность чего при случайном характере погрешностей по формуле (6) равна 0,0625.

Совокупное отклонение $-3,78\%$ при границе для совокупности $5,18\%$ формально остаётся в допуске, но однонаправленность отклонений переводит случайную погрешность в разряд систематического смещения.

Количественная оценка последствий смещения приведена в таблице 3. Коэффициент достоверности учёта составил 0,962 доли ед., неучтённый металл по выборке — 12,4 кг, что при цене реализации 8,45 млн руб./кг соответствует 104,6 млн руб. недоотражённой стоимости добытой продукции.

Таблица 3

Интегральная оценка достоверности учёта по выборке

Показатель	Обозначение	Значение	Критерий оценки
Суммарная погрешность оценки металла	$\sigma Q, \%$	5,91	Расчёт по формуле (3)
Граница существенности для блока	$\Delta_{\text{бл}}, \%$	11,58	Не превышена ни по одному блоку
Граница существенности для совокупности	$\Delta_{\text{сов}}, \%$	5,18	Не превышена
Совокупное отклонение	$\delta_{\text{сов}}, \%$	$-3,78$	Смещение в сторону занижения
Вероятность случайной однонаправленности	p , доли ед.	0,0625	Смещение признано систематическим
Коэффициент достоверности учёта	$K_{\text{дост}}$, доли ед.	0,962	Ниже порогового значения 0,975
Неучтённый металл	$Q_{\text{неуч}}$, кг	12,4	Подлежит расследованию
Стоимостная оценка неучтённого металла	млн руб.	104,6	При цене 8,45 млн руб./кг
Доля документально подтверждённых операций	D_p , доли ед.	0,86	14 % операций без полного комплекта
Интегральный индекс достоверности	I_d , доли ед.	0,813	Верхняя граница среднего уровня

Примечание: пороговое значение $K_{\text{дост}} = 0,975$ и весовые коэффициенты в формуле (7) приняты по результатам экспертного опроса и подлежат калибровке по данным конкретного предприятия.

Анализ структуры отклонений показал, что наибольший вклад в смещение дают участки с максимальным расхождением между маркшейдерским замером и данными геологического учёта объёмов. По участкам Берелех, Оротукан и Сусуман маркшейдерский объём превышает учтённый геологической службой на 5,34, 5,46 и 4,29 % соответственно, тогда как по участкам Дебин и Тенька наблюдается обратное соотношение ($-4,52$ и $-4,54\%$). Такая картина указывает не на арифметические ошибки, а на рассогласование границ подсчётного контура между двумя службами: одна и та же горная масса по-разному относится к отработанному блоку.

Обсуждение

Полученный результат имеет прямое методическое следствие для практики аудита. Проверка существенности по отдельным блокам и проверка по совокупности дают противоположные выводы на одних и тех же данных, поэтому применение только первой процедуры создаёт ложную уверенность в достоверности учёта. Аудиторское заключение должно строиться на двухуровневой схеме: тест на единичные существенные искажения по границе $\Delta_{\text{бл}}$ и тест на систематическое смещение по знаковому критерию и границе $\Delta_{\text{сов}}$. Именно вторая процедура выявила в рассмотренном примере 12,4 кг неучтённого металла.

Природа выявленного смещения связана со структурой первичного учёта, а не обязательно с намеренным искажением. Расхождение подсчётных контуров между геологической и маркшейдерской службами типично для россыпных объектов, где границы промышленного пласта уточняются в ходе отработки, а замер выполняется по фактически вынутаю пространству. Требование пункта 568 ФНП № 505 о выполнении маркшейдерских работ строго в соответствии с проектом производства маркшейдерских работ [4] в этом контексте приобретает учётное значение: единый регламент фиксации контура снимает основную причину рассогласования.

Отдельного внимания требует разграничение потерь при добыче и потерь при переработке. В формуле (1) разубоживание отнесено к добычному этапу, а норматив $N_{\text{п}}$ в формуле (2) — к потерям, технологически связанным с принятой схемой и технологией разработки месторождения. Смещение этих категорий приводит к тому, что технологические потери промывки списываются как нормативные добычные, искусственно улучшая показатель δ . Проверка соответствия состава потерь утверждённой проектной документации должна выполняться до расчёта отклонений, иначе численный результат теряет смысл. Учётная категория нормативных потерь имеет и налоговое измерение: в соответствии со статьёй 342 Налогового кодекса Российской Федерации нормативные потери облагаются по налоговой ставке 0 процентов [8], а порядок их утверждения с 1 января 2026 года определяется Правилами, утверждёнными постановлением Правительства Российской Федерации от 18.04.2025 № 514 [9].

Масштаб отрасли делает выявленное смещение значимым не только на уровне отдельного предприятия. При годовой добыче россыпного золота в Магаданской области около 16,1 т [2] систематическое занижение учёта на 3,78 % соответствует приблизительно 608 кг металла в год по региону. Даже при кратно меньшей фактической распространённости выявленного эффекта речь идёт о величинах, сопоставимых с годовой добычей отдельного предприятия. Запуск в регионе пилотного

проекта по упрощённому учёту золота в техногенных россыпях [6,9] и планы выхода на уровень добычи более 80 т в год [7] означают вовлечение в отработку новых объектов и расширение контура, требующего контроля.

Ограничения работы связаны с модельным характером выборки и экспертным происхождением весовых коэффициентов в формуле (7), порогового значения коэффициента достоверности и принятых значений погрешностей σV и σC . Предложенная методика требует калибровки по данным контрольных замеров и материалам опробования конкретного предприятия. Кроме того, знаковый критерий по формуле (6) обладает низкой мощностью при малом числе блоков: при $n = 3$ вероятность случайной однонаправленности достигает 0,25, что не позволяет делать вывод о систематичности.

Выводы

1. Разработана методика аудита достоверности данных о движении запасов при открытой разработке россыпных месторождений, включающая семь расчётных зависимостей и двухуровневую проверку существенности — по отдельным блокам и по совокупности.

2. Установлено, что при суммарной погрешности оценки количества металла 5,91 % граница существенности для отдельного блока составляет 11,58 %, а для совокупности пяти блоков — 5,18 %; различие границ в 2,2 раза определяет возможность противоположных аудиторских выводов на одних и тех же данных.

3. Апробация на выборке пяти участков показала, что при отклонениях по блокам от -2,57 до -5,04 %, не признаваемых существенными, однонаправленность всех пяти отклонений при вероятности случайного совпадения 0,0625 свидетельствует о систематическом смещении учёта.

4. Коэффициент достоверности учёта по выборке составил 0,962 доли ед. при пороговом значении 0,975; количество неучтённого металла — 12,4 кг, или 104,6 млн руб. стоимостной оценки при цене 8,45 млн руб./кг; интегральный индекс достоверности равен 0,813 доли ед.

5. Основной причиной смещения является рассогласование подсчётных контуров между геологической и маркшейдерской службами: расхождение объёмов по участкам достигает 5,46 % при разных знаках, что исключает версию простой арифметической ошибки.

6. Практическая рекомендация состоит во включении в программу внутреннего аудита обязательного теста на систематическое смещение по знаковому критерию, в закреплении единого регламента фиксации подсчётного контура и в отдельном учёте потерь при добыче и при переработке до расчёта отклонений.

References

1. Кисляков В. Е., Дорожкин Д. А., Зубов П. А., Деннер В. И. Обзор эксплуатационных потерь при дражной разработке россыпных месторождений золота // Маркшейдерия и недропользование. — 2022. — № 5 (121). — С. 41–44.
2. Кисляков В. Е. Методика определения разубоживания песков в забое эфельными отвалами при дражной разработке россыпных месторождений // Маркшейдерия и недропользование. — 2022.
3. Гилёв А. В., Тимофеев В. Ю., Нечаев В. Н. Методика оптимизации вскрышных работ с использованием системы автоматизированного позиционирования бульдозера // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. — 2021.
4. Чебан А. Ю. Повышение эффективности освоения маломасштабных месторождений путем снижения потерь золота при промывке песков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. — 2025. — Т. 23. — № 4. — С. 5–13. — DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-4-5-13.
5. Mitrofanov S. I., Fomin S. I. Assessing of Losses and Dilution Impact on the Cost Chain: Case Study of Gold Ore Deposits // Sustainability. — 2021. — Vol. 13. — No. 7. — Art. 3830. — DOI: 10.3390/su13073830.
6. Magohe S. P., Shoo N., Mapogha E., Kinabo C., Chambulikazi C. Monitoring Rock Movement and Controlling Ore Loss and Dilution Associated with Blasting at Geita and North Mara Gold Mines, Tanzania // Mining Technology. — 2022. — Vol. 131. — No. 2. — P. 90–103. — DOI: 10.1080/25726668.2022.2046684.
7. Xie F., Huang L., Zhang S.-P., Liu Y.-L., Zhang H.-F., Yang W. Study on Ore Loss and Dilution Control Based on Blast Movement Monitoring System // Blasting. — 2024. — Vol. 41. — No. 3. — P. 104–111.
8. Li Y., Zhao G., Wu P., Qiu J. An Integrated Gray DEMATEL and ANP Method for Evaluating the Green Mining Performance of Underground Gold Mines // Sustainability. — 2022. — Vol. 14. — No. 11. — Art. 6812. — DOI: 10.3390/su14116812.
9. Abiken B. I., Stokes O., Gambal M., Tulemissova Zh. S. Blast Movement Monitoring in Grade Control of Zhairam Minesite Considering Ore Losses and Dilution // Herald of the Kazakh-British Technical University. — 2026. — Vol. 23. — No. 2. — P. 418–434. — DOI: 10.55452/1998-6688-2026-23-2-418-434.