

УДК 622.1 (07)

А.М. Павлов, Е.А. Мильшин, В.А. Филонюк

**ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РУДНЫХ
ТЕЛ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ В УСЛОВИЯХ
ЗАКОНОМЕРНО-ПРЕРЫВИСТОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
МЕТАЛЛА НА ЗУН-ХОЛБИНСКОМ ЗОЛОТОРУДНОМ
МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Рассмотрен нетрадиционный подход к оконтуриванию промышленных рудных тел на стадии эксплуатации в условиях закономерного-прерывистого распределения металла в рудных телах и отсутствия визуальных границ его размещения в пространстве. Предложена соответствующая методика определения показателей качества извлечения металла из недр.

Необходимость разработки специальной методики оконтуривания промышленных руд на Зун-Холбинском золоторудном месторождении связана с тем, что на руднике меняется стратегия отработки запасов. Ориентация на богатые руды, которые имеют неравномерное и прерывистое распределение в пространстве, ставит всё больше и больше технологических проблем, связанных с обеспечением безопасности работ и необходимых показателей полноты и качества извлечения полезного ископаемого из недр, не говоря уже о геологических проблемах, касающихся поиска, обнаружения и объективной геометризации промышленных руд. Повышение производительности обогатительного комплекса до 350 тыс. т. руды в год будет сопряжено с понижением среднего её качества до приемлемых с экономической точки зрения пределов. Следовательно, возникает необходимость изменить подход к оконтуриванию промышленных

промышленных рудных тел и, как следствие, систему управления показателями качества извлечения металла из недр.

Пространственное распределение золота в рудных телах на Зун-Холбинском месторождении имеет сложный закономерный-прерывистый характер. Это будет показано на приведённых ниже рисунках. Мотив дискретности (прерывистости) идентичен или самоподобен (свойство фрактальности). Параметры структурных матриц, контролирующих дискретность распределения обогатённых золотом участков на различных масштабных уровнях, последовательно убывают от «месторождения» к «локальному срезу рудного тела» по нелинейному закону с коэффициентом, колеблющимся в пределах 2,0–2,5. Данное свойство характерно для многих детально изученных рудных месторождений золота [3].

На локальных масштабных уровнях структурно организованной системы

поля концентрации золота в рудном теле (уровень «блока» и «локального среза рудного тела») на фоне общего дискретного распределения золота отчётливо наблюдается нелинейный характер изотропного уменьшения численных значений содержаний золота от точек с относительно высоким содержанием. Это явление можно наблюдать в очистных блоках по данным опережающего эксплуатационного опробования, особенно в участках с высокой степенью контрастности содержаний золота.

Рассмотренные особенности распределения золота в пространстве рудных тел, отсутствие визуальных критериев ограничения промышленных руд, неоднородная гранулометрия золотин в руде и особые физико-механические свойства золота предопределяют низкую эффективность традиционной технологии геологического обеспечения горных работ, связанных с разведкой, подготовкой и выемкой промышленных запасов.

Одной из значимых помех, которые возникают в данной ситуации, является низкая достоверность определения содержания золота в единичной пробе, что ставит под сомнение корректность выделения границы промышленных руд по относительно высокому значению бортового содержания (например, используемое в настоящее время 3 г/т). Поскольку содержание в крайней пробе может изменяться в широком диапазоне, положение контура промышленных руд будет весьма условным [1-3].

Также существенной помехой будет являться прерывистость оруденения и связанная с ней нелинейность распространения повышенных значений концентраций золота в пространстве. При неадекватности геометри-

ческих параметров природной системы прерывистости с учетом ее иерархичности и тех же параметров сети разведки и опробования вообще не позволит корректно геометризовать промышленное рудное тело [3].

Условный характер границы и прерывистый характер оруденения не позволяют корректно определить показатели приконтурных потерь и разубоживания. В сложившейся ситуации представляется целесообразным принципиально сменить технологию оконтуривания промышленных руд.

Основные позиции предлагаемого подхода:

1. Процесс геометризации рудного тела - это последовательное внутриконтурное таксономирование распределения золота по классам содержаний в направлении от богатых к бедным, а не наоборот, как принято в традиционном подходе. Это позволит выявить и правильно учесть природные границы внутренних неоднородностей, несущих основной запас металла, и, как следствие, объективно учесть зоны и степень влияния повышенных значений содержаний при их осреднении в условиях прерывистости и нелинейности поля концентрации золота в рудном теле.

2. Принятие в качестве бортового содержания нижнего предела промышленных содержаний 1 г/т для выделения условно непрерывного промышленного рудного тела путём «обрезки» наиболее крупного по масштабу таксона, объединяющего все более мелкие таксоны, контролируемые основной запас металла.

3. Использование осредненных значений содержания металла (средних содержаний по классам) вместо значений по одиночным пробам как при оценочных расчетах, так и при

выделении в рудном теле элементов неоднородности распределения металла различных масштабов. Это снимет проблему учёта ураганных проб.

По причине низкой достоверности содержания металла в единичной пробе логичен вопрос о корректности использования тех же содержаний по пробам при оценке качества руды в естественном залегании. Содержание в пробе зависит от попадания или непадения золотины в навеску, отправляемую на пробирный анализ. Исходя из этого целесообразно учитывать каждую пробу, но не с конкретным значением содержания в ней металла, а принадлежность ее к конкретному сорту руды, характеризующемуся неким классом содержаний с определенными пределами колебаний значений в единичных пробах и конкретным средним содержанием в целом по классу. Взаиморасположение проб, относящихся к определенному классу, позволит пространственно определить границы распространения данного сорта руды. Взвешивание повышенных содержаний по пробам на площадь распространения соответствующего класса позволит более объективно учесть её при усреднении.

4. Оконтуривание на стадиях эксплоразведки, окончательной подготовки запасов и выемке (эксплопробование), когда мы располагаем необходимым и достаточным объемом исходной информации, необходимо проводить по методике последовательного таксономирования поля концентрации золота. В этом случае границы промышленных руд будут являться природными границами аномальных концентраций золота, удовлетворяющей требованиям промышленности, т.е. минимально-промышленному содержанию в объекте се-

лекции, который будет иметь статус промышленного рудного тела, а фактически – это элемент неоднородности поля концентрации золота определенного иерархического (масштабного) уровня.

5. Методика последовательного таксономирования поля концентрации золота должна отвечать следующим требованиям:

- корректность, т.е. соответствовать природным закономерностям пространственного распределения золота;

- строгость и универсальность технологии выделения таксонов независимо от их масштаба.

Понимание сущности предлагаемой методики геометризации связано с более глубоким раскрытием указанных выше позиций. Рассмотрим их более подробно с использованием конкретного среза рудного тела с достаточным насыщением его данными опробования. Он будет служить в качестве иллюстрации предлагаемых методических решений. Это участок рудного тела «Вавиловское» на горизонте штольни №12 (рис. 2).

Исходя из опыта разведки, а в большей мере из опыта эксплуатации, на золоторудных месторождениях можно выделить следующие сортовые разновидности руд.

1. *Убогие руды.* Содержания в них колеблются в диапазоне следы – 1,0 г/т. Практически это не фабричная руда, лишь в условиях высокой степени окисления она может служить рудой для кучного выщелачивания.

2. *Средние (или рядовые) руды.* Содержания металла колеблются в интервале 1,0-10,0 г/т.

3. *Богатые руды.* Содержания в них изменяются в пределах 10,0 – 100,0 г/т.

Таблица 1

Средние содержания золота по сортам руд

	Классы содержаний по сортам, г/т			
	0-1,0	1,0-10,0	10,0-100,0	100,0-1000,0
Логарифмические границы классов (\ln)	-2,3 - 0	0 - 2,3	2,3 - 4,6	4,6 - 6,9
Логарифмическая середина класса ($\bar{\ln}$)	-1,15	1,15	3,45	5,75
Среднее содержание в классе ($\overline{\text{ant } \ln}$)	0,3	3,1	31,4	314,0

4. *Весьма богатые руды.* Колебания содержаний от 100 г/т и более.

С целью учёта свойства нелинейности поля концентрации золота нами выбраны логарифмические классы изменения содержаний в выделенной нами условной сортности, поэтому уровень концентрации металла в смежных классах отличается на порядок. Это обстоятельство в условиях больших погрешностей содержаний в единичных пробах позволит более корректно разделять руды по предложенным сортам.

Опять же, учитывая свойство нелинейности поля концентраций золота, среднее содержание металла в каждом сорте следует определять с использованием функции натурального логарифма (табл. 1).

Неотъемлемым условием принадлежности геометризуемого тела к промышленным будет наличие в нём включений богатых и весьма богатых руд. Чем больше таких включений будет внутри контура, тем будет выше качество руды в оконтуренном пространстве.

Учитывая фундаментальные свойства структурной организации в распределении золота в рудных телах и на месторождении в целом можно определенно считать, что форму и размеры промышленных участков в рудной зоне будет определять харак-

тер размещения обособлений рядовых и богатых руд, поскольку в них, как показывает статистика, сосредоточивается основной запас металла. Поэтому, прежде чем проводить оконтуривание промышленных руд, необходимо максимально корректно выделить и оконтурить участки размещения богатых и весьма богатых руд (класс содержаний 10,0-100,0 и 100,0 и более г/т). Естественно, для того, чтобы выполнить эту процедуру корректно, необходимо иметь достаточную плотность опробования. На выбранном для примера срезе рудного тела «Вавиловское» данное условие выполняется.

Выделение участков с аномальными (высокими) содержаниями золота в единичных пробах, по существу, это первый этап таксономирования поля концентраций золота. Он также должен быть выполнен корректно с точки зрения определения геометрии этих участков. Эта процедура выполняется с соблюдением общеизвестных правил интерполяции и экстраполяции, но при этом должна быть определена, точнее геологически обоснована, форма геометризуемого обособления аномальных руд в условиях отсутствия визуальных границ их локализации. В нашем случае это диско- или линзоподобные тела. Их ориентировка в

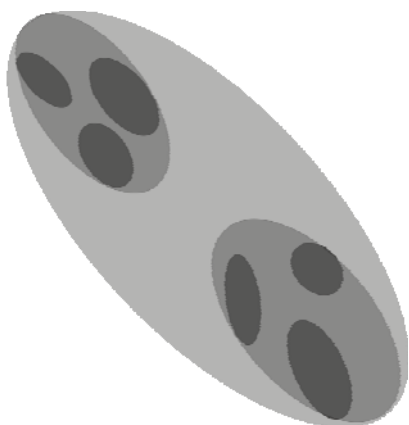


Рис. 1. Правило последовательного ограничения разномасштабных таксонов с помощью эллипса

пространстве в большинстве случаев может быть согласной лишь с ориентировкой тектонической расчлененности рудной зоны, т.е. с общим ее простиранием, хотя бывают и исключения.

Форма аномальных рудных обособлений в горизонтальном или вертикальном поперечном сечении зоны может быть эффективно аппроксимирована эллипсами (а в трёхмерном пространстве – эллипсоидами) с различными сочетаниями продольных и поперечных осей.

Площади таких обособлений, которые потребуются для оценочных расчетов определяются по формуле площади эллипса:

$$S = \pi \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{b}{2},$$

где a и b – размеры продольной и поперечной осей эллипса.

Почему в данном случае использована именно данная геометрическая форма? Эллипс (эллипсоид) – это уникальная фигура, с помощью которой можно довольно близко к истине учесть степень компактности распределения неоднородностей и элементы анизотропии участков их скопления. Использование одних лишь геологических факторов при оконтуривании

концентрационных неоднородностей, хотя логически и оправдано, но в действительности недостаточно эффективно. Свойство синергизма (кооперативного поведения) компонентов геологической среды предполагает структурную автономию подсистемы золота и ожидаемого «геологического контроля» распределения золота в пространстве со стороны определённых факторов не существует. Структурная организация золотой подсистемы обусловлена энерго-динамическими факторами (фрактальность этому доказательство), поэтому формы

выделения скоплений золота на всех иерархических уровнях будут подчиняться принципу «наименьшего действия», т.е. стремиться к компактности. Кроме этого эллипс достаточно легко изображается на карте с использованием графических редакторов в случае применения для этих целей компьютерных технологий.

Как видно, все участки, объединяющие богатые руды, т.е. оконтуренные по пробам от 10 г/т и выше расположены дискретно и неравномерно (рис. 2, а).

Локальные обособления с содержанием выше 100 г/т расположены внутри выделенных эллипсов. Показать их в масштабе схемы невозможно, но можно предположить, что размеры их на порядок меньше и они также в виде самых мелких эллипсов локализованы в виде дискретных обособлений внутри выделенных. На рис. 2, а видно, что в отдельных местах выделенные обособления сближены, т.е. они формируют скопления второго уровня.

Корректное ограничение этих скоплений можно произвести также с помощью эллипсов, но при этом необходимо соблюсти два требования.

Во-первых, в таксон второго уровня должны быть объединены таксоны первого уровня, расположенные примерно на одном и том же рас-

стоянии (расстояния измеряются между их центрами).

Во-вторых, объединяющий эллипс должен быть ориентирован таким образом, чтобы его линия касалась линий эллипсов, ограничивающих таксоны первого уровня, а его площадь была бы минимальной из всех возможных вариантов (рис. 1).

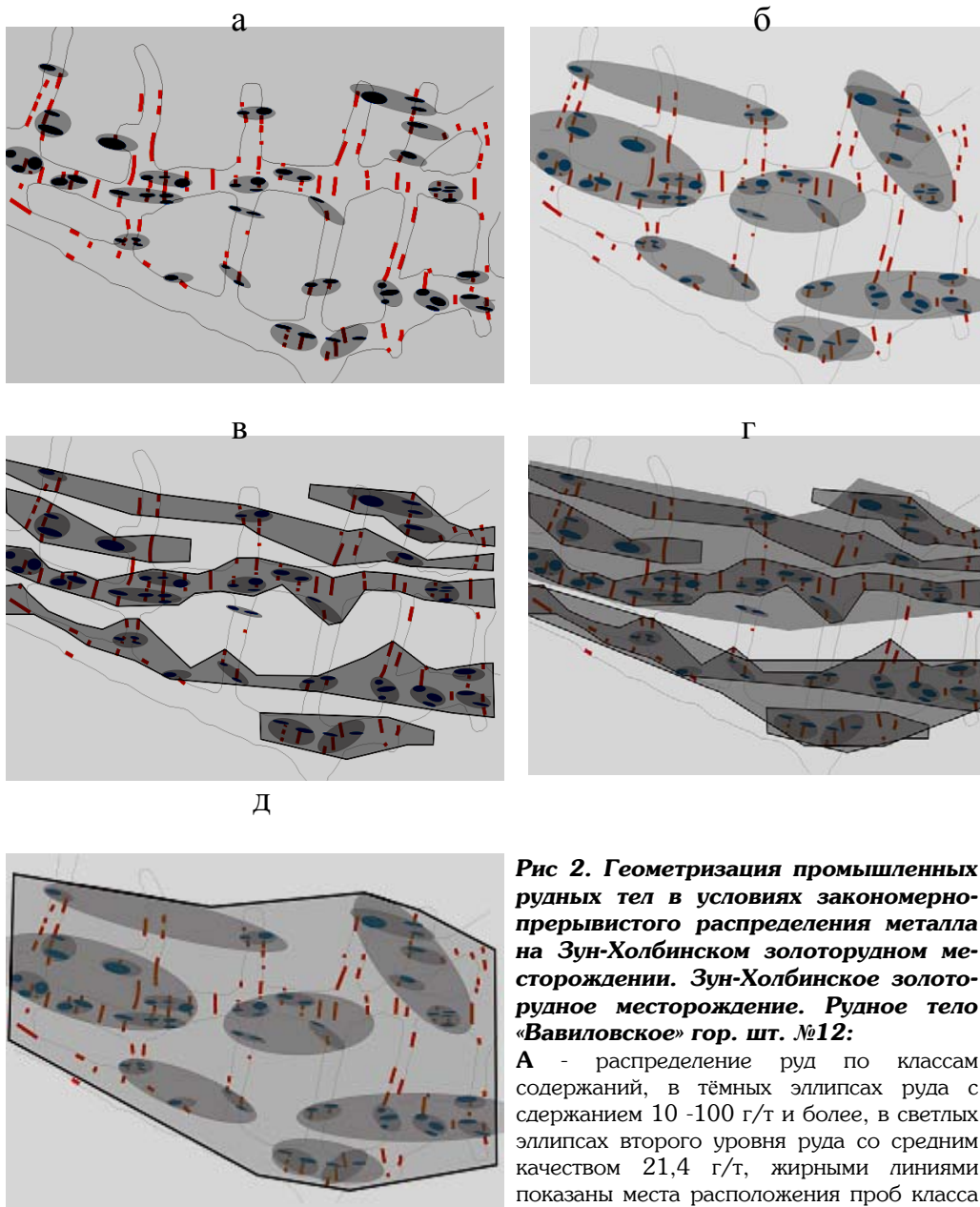


Рис 2. Геометризация промышленных рудных тел в условиях закономерно-прерывистого распределения металла на Зун-Холбинском золоторудном месторождении. Зун-Холбинское золоторудное месторождение. Рудное тело «Вавиловское» гор. шт. №12:

а - распределение руд по классам содержаний, в тёмных эллипсах руда с содержанием 10 -100 г/т и более, в светлых эллипсах второго уровня руда со средним качеством 21,4 г/т, жирными линиями показаны места расположения проб класса 1-10 г/т, остальное пространство пробами класса 0 – 1 г/т; **б** – таксономическая модель трёх последовательно входящих друг в друга уровней природной неоднородности аномальных концентрации золота. (жирная черта – места расположения проб в классе 1 - 10 г/т); **в** - вариант I (см. табл. 2) линейного оконтуривания таксонов второго уровня; **г** - совмещённые варианты I и III (см. табл. 2) линейного и зонально-линейного оконтуривания таксонов второго уровня; **д** - совмещённые варианты оконтуривания всей зоны, как единого рудного тела (вариант II и IV, см. табл. 2)

Соблюдение этих двух условий при выделении таксонов на любом масштабном уровне обеспечит корректность (строгость) и универсальность методики их оконтуривания, что предельно будет минимизировать влияние субъективного фактора.

Данный подход, когда четкие геологические критерии ограничения аномальных по концентрации металла участков отсутствуют, является оптимальным.

Практическое применение предлагаемого подхода к оконтуриванию таксонов показано на рис. 2, б. Полученная схема отображает характер природного распределения металла внутри рудной зоны.

Линейное или линейно-зональное оконтуривание применяется на окончательной стадии геометризации промышленного рудного тела. Оно реализуется в различных вариантах и практически не отличается от традиционного способа, только выполнялся он на основе выделенных таксонов второго уровня. Технология проведения контура та же, что и при таксономировании с использованием эллипсов, т.е. линия контура должна касаться линии крайних эллипсов, ограничивающих таксоны второго уровня. В данном случае контур будет объединять сближенные по простиранию рудной зоны таксоны второго уровня (рис. 2, в, г, д).

Расчеты по испытанным вариантам с выделением не эллиптических, а линейных или зональных форм локализации промышленных с ориентацией на бортовое содержание в 1 г/т, приведены в табл. 2.

Как видно, имея базу распределения таксонов второго уровня, несущих основной запас золота, можно подобрать оптимальный вариант оконтурива-

ния под заданное содержание в промышленной руде.

Определим как меняется размер таксона и качество руды внутри таксона по мере последовательного их перехода от малых по масштабу к более крупным.

На используемом нами примере о размерах таксонов можно судить по площадям их горизонтальных сечений, которые аппроксимированы нами формой эллипса. Проведенный статистический анализ данных снятых с карт (см. рис. 2) привел нас к следующим результатам (табл. 3).

Как видно из таблицы основное влияние на величину среднего содержания в таксоне оказывают классы рядовых и богатых руд, которые полностью выбраны таксонами второго уровня. С точки зрения практики предлагаемая методика оконтуривания не должна быть беспредельной.

Даже на используемом примере можно убедиться в том, что выделение таксонов следующего масштабного уровня по предлагаемой методике не добавят богатых участков, а наоборот, с нелинейным ускорением будут добавляться участки с рядовыми и убогими рудами. Поэтому после выделения таксонов второго уровня могут быть предложены и другие варианты таксономирования или объединения выделенных таксонов в непрерывное тело с использованием бортового содержания в 1 г/т.

При проведении предлагаемой процедуры последовательного оконтуривания должно соблюдаться основное требование – не потерять при оконтуривании ни одного таксона первого и второго уровня, поскольку именно эти масштабные уровни неоднородности являются носителями ос-

новного запаса металла (влияние свойства нелинейности в структурной организации поля концентрации золота).

Средняя степень заполнения площади таксона последующего масштабного уровня таксонами предыдущего находится на уровне 20 %. В нашем случае эта величина по иерархии возрастает от 18,2 % до 21,4 %. Возможно это закономерность, но доказать ее на данном материале невозможно, хотя и по среднему количеству объединяемых таксонов также наблюдается рост. Так среднее количество таксонов первого уровня в таксоне второго уровня составляет $0,8:0,4=2$, а среднее число таксонов второго уровня в таксоне третьего уровня соответственно $17,4:33\approx 4$. Незаполненная часть таксона любого уровня, кроме первого, составляет порядка 80,0 %. Она представлена двумя сортовыми категориями классов содержаний. Это классы 0-0,1 г/т и 1,0-10,0 г/т. Среднее соотношение объемов, а в нашем случае площадей, пространств соответствующих этим классам, позволит дать среднюю качественную характеристику в таксоне конкретного масштабного уровня.

Судя по статистическим показателям (стандарт, относительная ошибка определения среднего) вычисленные средние значения исследуемых параметров можно считать приемлемыми. В отдельных случаях среднее превышает утроенный стандарт, что свидетельствует о его статистической устойчивости (см. табл. 3).

Как видно из приведенных данных, параметры последовательно входящих друг в друга таксонов возрастают по нелинейному закону и отличаются между собой на порядок. Так средние

площади самых малых таксонов составляют доли квадратного метра, средняя площадь следующего по иерархии таксона составляют квадратные метры (до 10 м^2), ну а средние площади таксонов следующего уровня исчисляются двузначными числами и не превышают 100 м^2 .

Рассмотрим среднее качество руды внутри таксона. Как видно из схем (см. рис. 2), в таксонах каждого масштабного уровня будет иметь место определенное соотношение выделенных сортов (табл. 4) руд по классам содержаний. Безусловно, это соотношение будет изменчивым. Тем не менее, вверх по иерархии, следуя закону фрактального роста, соотношение объемов распространения классов содержаний закономерно будет изменяться в сторону увеличения доли весьма убогих и убогих концентраций металла. Это приведет к постепенному «разбавлению» влияния рядовых и богатых сортов руды (см. табл. 4).

Для разработки обоснованных рекомендаций по минимизации потерь и разубоживания необходимо, прежде всего, конкретно определиться, что следует иметь в виду при использовании этих понятий в условиях оконтуривания дискретных скоплений металла в виде последовательно входящих друг в друга таксонов.

Вначале обсудим ситуацию с оценкой разубоживания. Для рассуждений используем схематический рисунок, где показан сугубо частный случай (рис. 3).

Пусть заштрихованные эллипсы это скопления руды с промышленным содержанием. Поскольку они достаточно сближены, то могут при отработке попасть внутрь единого технологического контура, который изображен в виде эллипса второго уров-

ня. На него, очевидно, и будет ориентирована выемка промышленных руд. В этой ситуации вся площадь в пределах технологического контура за вычетом площадей трех промышленных таксонов будет заполнена разубоживающей породой с содержанием в ней металла, которое будет зависеть

№ Таблица 2

Статистические показатели линейного и линейно-зонального таксономирования

Варианты таксонов третьего уровня линейной или зональной формы	Площадные доли влияния (в долях единицы)			Средне взвешенное содержание по варианту г/т
	Суммарная площадь таксонов второго уровня $\bar{c} = 21,4$ г/т	Класс рядовых со-держаний $\bar{c} = 3,2$ г/т	Класс убогих со-держаний $\bar{c} = 0,3$ г/т	
Вариант I (рис. 2-в)	0,30	0,3	0,4	7,5
Вариант II (рис. 2-б)	0,40	0,5	0,1	10,2
Вариант III (рис. 2-г)	0,13	0,57	0,3	4,7
Вариант IV (рис. 2-д)	0,12	0,44	0,44	4,1

Примечание: Данные для расчетов сняты графическим способом с соответствующих рисунков.

Таблица 3

Результаты статистического анализа размеров разномасштабных элементов неоднородности поля концентраций золота (рудное тело «Вавиловское»)

Уровни неоднородности	Число элементов N	Средние статистические параметры					
		Статистические показатели	Полуоси эллипсов, м		Площадь эллипса, S, м ²	Заполнение эллипса м ² /%	Незаполненная часть эллипса м ² /%
			а	в			
I	55	Средние	0,7	0,2	0,4	0,4/100	-
		Стандарт	0,2	0,1	0,3	-	-
		Отн. ошибка, %	4,3	7,8	11,0	-	-
II	26	Средние	2,0	0,7	4,4	0,8/18,2	3,6/81,8
		Стандарт	0,6	0,2	2,2	0,5	2,0
		Отн. ошибка, %	5,9	6,0	9,1	12,1	19,9
III	7	Средние	9,7	2,7	81,3	17,4/21,4	64/78,6
		Стандарт	2,6	0,8	32,6	8,9	26,6
		Отн. ошибка, %	10,9	12,8	16,7	20,8	17,0

Таблица 4

Статистическая оценка вероятных средних содержаний золота в таксонах различных масштабных уровней

Уровни неоднородности	Доли влияния различных классов содержаний (в долях единицы)				Средне взвешенное содержание в таксоне г/т
	Логарифмические средние по классам, г/т				
	314	31,5	3,2	0,3	
I	0,2	0,8	-	-	88,0
II	0,05	0,1	0,8	0,15	21,4
III	0,015	0,05	0,7	0,23	8,6

от соотношения площадей распространения классов убогих и рядовых содержаний. Этот вид разубоживания можно определить как внутреннее разубоживание (R_1).

Вместе с этим, проектный технологический контур, как правило, находится внутри выемочного пространства, т.е. за его пределами в отработку попадает законтурная порода, но уже со своим содержанием металла, также зависящим от соотношения объемов, приходящихся на классы рядовых и убогих руд. Этот вид следует считать внешним разубоживанием (R_2).

Исходя из выявленных закономерностей нелинейного измерения содержаний внутри таксонов и за их пределами при последовательном их объединении можно вначале эмпирически, а затем теоретически установить математически формализованную зависимость таких изменений как универсальный закон для конкретного объекта.

Пусть на нашей схеме внутреннее разубоживание (R_1) представлено рудной массой содержащей 60 % рядовых руд (среднее 3,2 г/т) и 40 % убогих руд (среднее 0,3 г/т). Среднее содержание в данной массе составит:

$$\bar{C}_1 = \left(\frac{3,2 \cdot 0,6 + 0,3 \cdot 0,4}{0,6 + 0,4} \right) = 2,0 \text{ г/т}$$

Пусть в законтурной массе (R_2) соотношение рядовых и убогих составит соответственно 30 % и 70 %. В этом случае содержание во внешней разубоживающей массе составит

$$\bar{C}_1 = \left(\frac{3,2 \cdot 0,3 + 0,3 \cdot 0,7}{0,3 + 0,7} \right) = 1,2 \text{ г/т}$$

Общее разубоживание в расчете на слой в 1 м можно определить как $R = R_1 + R_2 = S_1 \cdot 1 \cdot \gamma + S_2 \cdot 1 \cdot \gamma = \gamma(S_1 + S_2)$ где S_1 и S_2 –соответственно площади разубоживающих пород для R_1 и R_2 , м^2 ; γ – плотность разубоживающих пород, т/м^3 .

Среднее содержание в разубоживающих породах будет равно:

$$\bar{C}_R = \left(\frac{\bar{C}_1 \cdot S_1 + \bar{C}_2 \cdot S_2}{S_1 + S_2} \right)$$

Если условно принять в нашем примере $S_1=100 \text{ м}^2$, а $S_2=90 \text{ м}^2$, то

$$\bar{C}_R = \left(\frac{2 \cdot 100 + 1,2 \cdot 90}{100 + 90} \right) =$$

$$\frac{200 + 108}{190} \approx 1,6 \text{ г/т.}$$

Общее количество разубоживающей массы при средней ее плотности $2,6 \text{ т/м}^3$.

$$R = 2,6 \cdot (100 + 90) = 494 \text{ т.}$$

Количество золота в этой массе составит

$$Q = R \cdot \bar{C}_R = 494 \cdot 1,6 = 790,4 \text{ г} \approx 0,8 \text{ кг}$$

Как видно, здесь все просто. Ситуа-

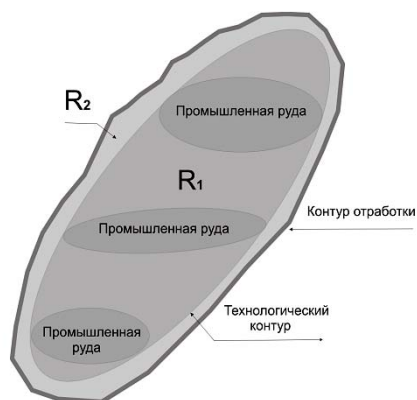


Рис. 3. Схема формирования разубоживания промышленных руд при отработке сближенных тел, объединённых в едином технологическом контуре. Пояснения в тексте

ция еще упрощается если технологический и промышленный контур совпадают. В этом случае рассчитывается только внешнее разубоживание R_2 .

Если на представительном эмпирическом материале выявить закономерность изменения соотношения классов средних (рядовых) и убогих руд в незаполненной части таксонов по мере роста их размеров, то можно вывести и математически формализовать ту самую, выше упомянутую закономерность, которая для месторождения будет универсальной и позволит в любых вариантах оконтуривания определять величину разубоживания и при необходимости, изменяя положение контура, минимизировать данный показатель.

Теперь о потерях. В данном случае мы будем рассматривать лишь ту категорию потерь, которая связана с оконтуриванием промышленных руд в условиях прерывистого оруденения.

Это потери в горном массиве. Далее рассмотрим потери в целиках в том числе приконтурные потери в случае неполной выемки запасов из оконтуренного промышленного блока.

Как было показано выше, предлагаемая методика оконтуривания промышленных руд начинается с выявления и оконтуривания элементов неоднородности того масштабного уровня, который контролирует основной запас металла в промышленном блоке, т.е. участки весьма богатых, богатых и рядовых руд. Далее выбирается оптимальный вариант оконтуривания сближенных таких участков, обеспечивающий заданное среднее качество руды с учетом возможного разубоживания. На данном этапе оконтуривания может возникнуть ситуация, когда отдельные таксоны с богатой рудой невозможно объединить с другими в оптимальном варианте. Поэтому такой таксон может быть оставлен в недрах из-за нецелесообразности его индивидуальной отработки по причине малых объемов руды. Этот случай следует интерпретировать как потери промышленной руды в недрах.

Вообще данный вид потерь следо-

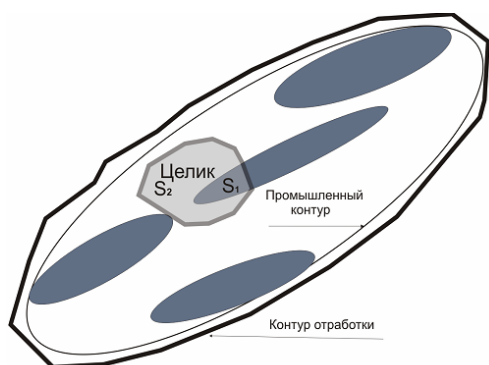


Рис. 4. Схема к расчёту потерь в целиках в условиях прерывистого оруденения. Пояснения в тексте

вало бы оценивать исходя из природного баланса распределения металла в недрах.

Вернемся к примеру из предыдущего раздела. Рудное тело «Вавиловское» в горизонтальном срезе представляет достаточно мощную минерализованную зону со средним качеством руды 4,1 г/т (см. табл. 2). Если отработать всю зону мы возьмем весь металл и не допустим потерь. Но это качество по экономическим соображениям неприемлемо. Чтобы поднять содержание в руде мы на стадии оконтуривания частично «отсекаем» низкие сорта руд (класс убогих руд) и вместе с этим теряем металл в этой оставляемой в недрах руде. Это тоже потери металла, но потери в некондиционных рудах. Вместе с ними могут быть отсечены и отдельные пространственно обособленные участки с промышленными рудами, т.е. возникает ситуация только что описанная выше. Эти потери должны учитываться как потери промышленных (по качеству) руд, локализованных в малых участках пространства, отработка которых экономически нецелесообразна.

Подобный подход делает процедуру учета потерь металла в недрах в процессе оконтуривания промышленных руд достаточно «прозрачной», главное, удобной для проведения не формальный, а вполне корректной оценки качества извлечения полезного ископаемого из недр.

Приконтурные и внутриблоковые потери (потери в целиках) в условиях прерывистого оруденения, когда контур проведен по предложенной методике, т.е. на основе корректно выполненного таксономирования поля концентраций золота, оцениваются достаточно просто. Для этого требуется две вещи. Это таксономическая

схема или модель блока, где показано пространственное распределение таксонов с аномальными концентрациями металла и известно соотношение объемов, соответствующих классам рядовых и убогих концентраций металла в рудах. К этой информации необходима точная маркшейдерская привязка не вынутых частей блока. Совмещение того и другого позволит оценить объем потерянной руды и среднее ее качество, как средневзвешенное на доли пространства соответствующих различным качественным характеристикам руд в оставленных в блоке рудах.

Пусть внутри отработанного блока с прерывистым распределением богатых руд (таксоны второго уровня, со средним качеством руды 21,4 г/т) и остальной частью блока с соотношением рядовых и убогих руд 70,0 % и 30,0 % соответственно оставлен целик (рис. 4). Это горизонтальный срез рудного тела толщиной 1 м. Оценить потери руды и металла в данном случае очень просто. В площадь целика попало два сорта руды: часть богатого таксона (площадь S_1) с содержанием 21,4 г/т и остальная часть (площадь S_2) рядовые и убогие руды со средним качеством:

$$\bar{C} = \frac{0,7 \cdot 3,2 + 0,3 \cdot 0,3}{0,7 + 0,3} = \frac{2,2 + 0,1}{1} = 2,3 \text{ г/т}$$

Зная площади сортов руды можно определить общие потери руды и среднее ее качество.

$$P = \gamma(S_1 + S_2) \cdot H$$

где P - количество руды, т; γ - плотность руды, т/м³; H - высота целика, м; S_1 и S_2 , площади распространения сортов руды, м².

Примем, что $S_1=3 \text{ м}^2$, $S_2=20 \text{ м}^2$, плотность $\gamma=2,6 \text{ г/т}$, тогда количество руды будет равно:

Таблица 5

**Результаты тестирования методики оконтуривания
(блок 1441, слой 1635-1638 м)**

эллипсы первого уровня					эллипсы второго уровня				
Площадь таксона, м ²	Ср. содерж. По пробам, г/т	Произвед. Ср. по пробам x площадь таксона	Средн. Лог. класса, г/т	Произвед. Ср. лог.х площадь таксона	Площадь таксона, м ²	Ср. содерж. По пробам, г/т	Произвед. Ср. по пробам x площадь таксона	Средн. Лог. класса, г/т	Произвед. Ср. лог.х площадь таксона
					4	28	112	31,4	125,6
					4	19,5	78	31,4	125,6
					4	21	84	31,4	125,6
1	124	124	314	314	22,3	43,5	970	31,4	700,2
1	133	133	314	314	7,2	39	280,8	31,4	226,1
					4	26,7	106,8	31,4	125,6
					8	36	288	31,4	251,2
					4,6	40,5	186,3	31,4	144,4
					5,8	12	69,6	31,4	182,1
					12,2	15	187,5	31,4	383,1
					9,7	33,5	325	31,4	304,6
					2,9	47	136,3	31,4	91,1
1	142	142	314	314	42	40,4	1697	31,4	1319
					13	46,5	604,5	31,4	408,2
3	133	399	314	942	143,7	35,7	5125,8	31,4	4512
Итоговые данные в нарастающем порядке					146,7	37,7	5524,8	37,2	5454

$$P = 2,6(20 + 3) \cdot 1 = 2,6 \cdot 23 \cdot 1 = 59,8 \text{ т}$$

Среднее качество руды:

$$\bar{C} = \frac{21,4 \cdot 3,0 + 2,3 \cdot 20}{23} = 4,8 \text{ г/т}$$

Оценка приконтурных потерь руды и металла должна проводиться аналогично. Как видно, подход к решению данного вопроса ничем не отличается от традиционного.

Отличие заключается лишь в том, что в расчетах используются не конкретные содержания в пробах, а усредненные по сортовым категориям руд.

Таким образом, оконтуривание промышленных руд с использованием таксономического анализа поля концен-

траций золота раскрывает истинную сущность показателей потерь и разубоживания в условиях прерывистого оруденения и открывает возможность эффективного управления качеством извлечения полезного ископаемого из недр. Использование усредненных характеристик качества руды при оценке показателей потерь и разубоживания существенно упрощает процесс оценочных расчетов и повышает статистическую устойчивость результата.

При практическом применении предложенной методики геометризации рудных тел на стадии эксплуатации месторождения непременно возникнут вопросы и, в первую очередь, о том,

эллипсы третьего уровня					эллипсы четвертого уровня				
Площадь таксона, м2	Ср. содерж. По пробам, г/т	Произвед. Ср. по пробам x площадь таксона	Средн. Лог.класса, г/т	Произвед. Ср. лог.х площадь таксона	Площадь таксона, м2	Ср. содерж. По пробам, г/т	Произвед. Ср. по пробам x площадь таксона	Средн. Лог.класса, г/т	Произвед. Ср. лог.х площадь таксона
51,4	7	359,8	9,7	498,6	673,5	9,9	6666,7	10	6705
82,9	20	1658	20,7	1716					
137	7,2	987,8	10,3	1413					
154	20,4	3131	17,6	2702					
425	14,4	6137	14,9	6329	673,5	9,9	6666,7	10	6705

насколько будут отличаться конечные результаты, если расчёт качества руды в классах будет вестись по конкретным пробам или через середины выделенных логарифмических классов. Второй вопрос – насколько полно определены и отработаны запасы, подсчитанные на основе традиционной технологии оконтуривания промышленных руд.

Для получения ответов на эти вопросы проведено специальное тестирование предлагаемой методики на материалах отработки блока 1441-С₁ гор. 1640-1690 м, рудное тело «Вавиловское-3». Блок погашен с использованием технологии разработки рудного тела горизонтальными слоями с закладкой твердеющими смесями. Рудное тело

в данном блоке имеет сложно-прерывистое строение и относительно высокие содержания в промышленной руде.

Для ответа на первый вопрос был детально проанализирован отработанный слой в интервале абсолютных отметок 1635-1638 м. В табл. 5 показаны результаты тестирования.

Как видно из приведённых результатов ответ на первый вопрос однозначен. Оценки среднего качества руды в контурах таксонов как по пробам, так и через срединные значения по выделенным логарифмическим классам очень близки и практически совпадают. В данном случае высокий класс содержаний, генерирующий эффект «ураганных содержаний»,

введён без всякой нивелировки и за счёт корректного учёта его зон влияния негативного влияния на результат пробы этого класса не оказали. Полученные результаты дают основания для расчёта среднего качества руды в таксонах через срединные значения в выделенных классах содержаний, опираясь лишь на результаты таксономирования поля концентраций золота.

Это в значительной мере упрощает процедуру расчётов и минимизирует влияние субъективного фактора на конечный результат.

Тестирование выявило закономерность в пространственной локализации

**Анализ возможных данных подсчета запасов блок 1441
при оконтуривании по классам**

Номер слоя	Отметка слоя	Класс 1			Класс 2			Разубожива- ние, %	Класс 3			Разубожива- ние, %	Потери в массиве		
		Площадь, м ²	Содержа- ние, г/т	Металл, кг	Площадь, м ²	Содержа- ние, г/т	Металл, кг		Площадь, м ²	Содержа- ние, г/т	Металл, кг		Площадь, м ²	Содержа- ние, г/т	Металл, кг
Горизонт 1640	1635	147	37,7	45,7	425	14,4	51,4	40	674	10	56,6	52	50	31,4	12,9
1	1638	493	20,7	111,4	993	10,5	113,9	50	1201	8,8	115,4	17	80	31,4	27,4
2	1642	255	21,6	45,1	587	11,3	54,3	56	737	9,1	54,9	20	4	31,4	1,0
3	1645	283	20,7	48,0	694	10,4	59,1	60	1078	6,8	60,0	36	1	31,4	0,3
4	1648	322	20,9	55,1	564	13,3	61,4	43	978	7,8	62,5	42	15	31,4	3,9
5	1651	233	23,6	45,0	431	14,1	49,8	46	578	10,7	50,7	25	6	31,4	1,5
6	1654	180	17,8	35,0	348	12,1	46,0	48	682	6,3	46,9	49			
7	1658	391	25,6	54,7	966	12,1	63,8	60	1116	10,6	64,6	13			
8	1660	107	25,5	22,3	194	14,3	22,7	45	408	7,0	23,4	52			
9	1663	277	21,6	49,0	628	11,5	59,1	55	951	7,7	60,0	34	19	31,4	4,9
10	1666	123	30,3	30,5	201	19,7	32,4	39	273	14,7	32,9	26			
11	1669	329	24,3	87,3	597	15,0	97,8	44	679	13,2	97,9	12			
12	1673	240	26,1	34,2	550	13,3	39,9	56	676	11,0	40,6	18	5	31,4	0,1
13	1675	201	22,9	37,7	429	11,8	41,5	55	603	9,0	44,4	27			
14	1678	226	24,0	29,6	484	12,9	34,1	53	509	12,3	34,2	5			
15	1680	171	19,0	17,7	405	9,9	21,9	58	435	9,2	21,9	7			
16	1682	88	28,1	20,3	391	8,8	28,2	77	470	7,1	27,3	29	58	31,4	1,5
Горизонт 1690	1685	544	19,0	84,7	919	9,7	73,0	41	1228	7,4	74,4	25			
Среднее по классам		256	22,4		544	12,0			751	8,8					
Всего метал- ла, кг				853,3			950,3				968,6				53,4
Всего		37989			78920			51	108630			27			



золота, подтверждающую фундаментальные свойства структурной организации поля его концентрации. Так богатые и весьма богатые руды по массе составляют 22 % от массы руды, оконтуренной эллипсом IV уровня, и содержат 81 % всего подсчитанного металла в этом контуре. Далее в эллипсах III уровня доля руды увеличивается до 63 %, а металл – до 91 %. Конечный результат в контуре эллипса IV уровня по слою показал 5657 т руды и 56,6 кг металла при среднем его содержании 10 г/т.

Проведённое сравнение данных тестовых расчётов по всем отработанным

слоям блока (табл. 6) с данными анализа движения запасов в период эксплуатации блока дало ответ на второй вопрос, который был поставлен перед тестированием. Если бы блок отработывался на основе предлагаемой методики оконтуривания, то количество добытой руды было бы почти в три раза больше и количество металла было бы на 200 кг больше, поскольку фактическая добыча руды из блока составила 36794 т и 707,1 кг металла

Таким образом, проведённое тестирование подтвердило возможность использования предлагаемой методики на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Д.А. Неоднородность и неравномерность распределения золота по крупности его частиц и их влияние на оценку золотоносности золоторудных объектов. Автореф. кандидатск. диссертации. Улан-Удэ, 1999. 26 с.

2. Патушинская И.Л. Поведение золота при истирании золотосодержащих проб.

Расшифровка использованных терминов:

Таксон (от греч. taxís – порядок, ряд) – пространственно обособленное объединение группы дискретных объектов, связанных определённой степенью общности. В нашем случае – это ограниченное в пространстве скопление участков определённого масштаба с повышенной концентрацией золота, расположенных примерно на одинаковом расстоянии друг от друга.

Таксономический анализ – выделение в пространстве последовательно входящих друг в друга, т.е. иерархически взаимосвязанных, разномасштабных таксонов.

Фрактальность («фрактал» - дробный, греч.) – свойство равномерно-неравномерной пространственной упорядоченности в размещении разномасштабных дискретных элементов монопризнаковой подсистемы по принципу самоподобия (свойство диссипативных геологических структур).

Фрактальная структура – структура организации последовательного вхождения друг в друга разномасштабных дискретных элементов в монопризнаковой подсистеме по принципу самоподобия (принцип скейлинга или принцип «схожести» структур независимо от масштаба элементов).

//Обогащение руд. - Иркутск: ИПИ, 1985. С.85-89.

3. Филонюк В.А. Результаты фундаментальных исследований по проблеме минимизации фактора риска при освоении золоторудных месторождений. Сб. н. тр. "Иргиредмета" в честь 125-летия. Иркутск. 1998. с.34-50. **ИГАБ**

Коротко об авторах

Павлов А.М. – технический директор ОАО «Бурятзолото», кандидат технических наук;
Мильшин Е.А. – главный маркшейдер рудника Холбинский ОАО «Бурятзолото»;
Филонюк В.А. – профессор кафедры геологической съёмки, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Иркутского государственного технического университета, доктор геолого-минералогических наук.

Рецензент д-р геол.-минерал. наук А.П. Кочнев, профессор кафедры геологической съёмки, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Иркутского государственного технического университета.