
Оценка разведанности запасов при подсчете запасов традиционными методами

Бабина Т.О.
ООО «ОРЕОЛЛ»

Оценки степени разведанности запасов является одной из наиболее важных задач в теории и практике геологоразведочных работ.

Разведанность запасов определяется детальностью изучения геологических, горно-технических, технологических, инженерно-геологических, гидрогеологических и других особенностей объекта, а также надежностью определения технико-экономических показателей освоения месторождения.

По степени разведанности запасы относятся к определенной категории в рамках действующей классификации.

Запасы разделяются на категории А, В, С1 и С2

Классификация запасов по степени изученности.

При определении категорий рассматривается детальность изучения следующих свойств:

- формы, размеров и условий залегания тел полезного ископаемого, их внутреннего строения, изменчивости свойств полезного ископаемого, тектонических нарушений;
- природных разновидностей руд, технологических типов и сортов полезного ископаемого, их качества по всем предусмотренным промышленностью параметрам;
- минеральных форм нахождения полезных и вредных компонентов;
- контуров рудных тел и условия их проведения.

Изученность характеристик (свойств) месторождений по категориям

свойства	Категории запасов			
	A	B	C ₁	C ₂
<p>-форма, размеры и условия залегания тел п.и., закономерности изменчивости морфологии и внутреннего строения</p> <p>-безрудные и некондиционные участки</p> <p>-разрывные нарушения</p>	<p>установлены и изучены полностью</p> <p>выделены и оконтурены</p> <p>установлены положение и амплитуды смещений</p>	<p>установлены основные особенности</p> <p>определено пространственное положение</p> <p>установлено положение крупных нарушений</p>	<p>выяснены основные особенности, оценена изменчивость и прерывистость</p> <p>оценено наличие зон нарушений</p>	<p>оценены по геологическим, геофизическим и геохимическим данным ,</p> <p>подтверждены ограниченным количеством горных выработок и скважин</p>
<p>-природные разновидности,</p> <p>-промышленные типы и сорта п.и., их состав, свойства</p> <p>-качество по всем предусмотренным промышленностью параметрам</p>	<p>Определены</p> <p>выделены и оконтурены,</p> <p>охарактеризовано</p>	<p>Определены</p> <p>выделены и при возможности оконтурены</p> <p>охарактеризовано</p>	<p>Определены</p> <p>определены, установлены общие закономерности размещения, количественные соотношения типов</p> <p>охарактеризовано</p>	

свойства	Категории запасов			
	A	B	C ₁	C ₂
минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов	изучены распределение и формы нахождения в минералах, продуктах переработки и переделов	определены	определены	
контур рудных тел и условия его проведения *	определен по данным детального опробования горных выработок и скважин	определен по результатам опробования скважин и горных выработок	определен по результатам опробования скважин и горных выработок с учетом геофизических и геохимических данных	определен на основании опробования единичных скважин, горных выработок и естественных обнажений с учетом геологических построений, геофизических и геохимических данных

*Рудные интервалы для оконтуривания рудных тел выделяются в соответствии с установленными кондициями.

Оценка изученности данных свойств носит качественный характер

Необходимая и достаточная степень разведанности запасов твердых полезных ископаемых определяется в зависимости от сложности строения месторождений, в соответствии с которой они делятся на 4 группы.

Группировка месторождений твердых полезных ископаемых по сложности строения производится по следующим основным признакам:

- размеры и морфологические особенности рудных тел;
- характер изменчивости (устойчивость) мощности и внутреннего строения рудных тел;
- нарушенность залегания пликативной и разрывной тектоникой;
- выдержанность качества, равномерность распределения основных ценных компонентов.

При отнесении месторождений к той или иной группе могут использоваться количественные показатели изменчивости основных свойств оруденения, характерные для каждого вида полезного ископаемого.

Группировка месторождений по сложности строения

Признаки	Группа по сложности строения			
	I	II	III	IV
размеры и морфологические особенности	крупные, средние, пластовые, пластообразные, линзовидные	крупные, средние, пластовые, пластообразные, линзовидные, штокверки и трубки	средние и мелкие, пластообразные, линзовидные, штокверки, жилы и трубки	мелкие, реже средние, линзы, штокверки, жилы, трубки
-изменчивость мощности, -внутреннее строение	устойчивая простое	неустойчивая сложное	очень изменчивая очень сложное	резко изменчивая, чрезвычайно сложное
нарушенность залегания тектоникой	ненарушенные, слабо-нарушенные	нарушенные	интенсивно нарушенные	интенсивно нарушенные
-выдержанность качества, -равномерность распределения осн. ценных компонентов	выдержанное, $V_c = 10-30\%$ равномерное	невыдержанное, $V_c = 30-80\%$ неравномерное	значительно невыдержанное, $V_c = 80-150\%$ очень неравномерное	Резко невыдержанное, $V_c > 150\%$ прерывистое, гнездовое
Достаточная изученность по категориям запасов	A, B, C ₁	B, C ₁	C ₁ C ₂ в ограниченном объеме	C ₁ C ₂ до 50%

----- характерные формы и преобладающие значения коэффициентов вариации содержаний по разведочным пересечениям для месторождений разных видов минерального сырья.

- Оценка разведанности (достоверности) запасов разных категорий является особо актуальной задачей в связи с интеграцией России в мировую экономику. В настоящее время она не имеет удовлетворительного решения, как в российской классификации, так и в зарубежных стандартах.
- Основные научные подходы к ее решению базируются на количественных показателях изменчивости свойств полезного ископаемого, ошибки в определении морфологии и пространственного положения рудных тел и определении точности вычисления средних значений геологоразведочных параметров.
- В России возможности использования этих подходов обсуждались в разведочной литературе в течение длительного времени. В 2008 г были разработаны соответствующие «Методические рекомендации...», которые в настоящее время не утверждены.

Разведанность запасов.

- - позволяют проводить квалификацию запасов по геологической изученности;
 - - позволяет давать стоимостную оценку объектов
 - - дают возможность о определять параметры разведочной сети
 - – связь с надежностью определения технико-экономических показателей
 - - определяет качество планирования добычных работ и эффективность управления рудопотоками в процессе эксплуатации.
-

Для решения поставленной задачи требуется определить **критерии разведанности** - т.е. показатели, связанные с параметрами разведочной сети (шаг по направлениям, геометрия, число разведочных пересечений и т.п.) и характеристиками природных свойств объекта, определяющими его экономическую значимость.

Действующая классификация и группировка запасов ГКЗ РФ использует две основные характеристики:

- изменчивость геологоразведочных параметров (мощности, содержания, метрапроцента и др.);
- морфологические свойства рудных тел – размеры по разным направлениям, внутреннее строение залежей и их тектоническую нарушенность.

Указанные характеристики чаще имеют качественное описание. Для их количественной оценки используются:

- коэффициенты вариации и другие статистические показатели;
- размеры тел, различные контурные модули, коэффициент рудоносности, показатели сложности и п.т.

В разведочной литературе обсуждаются два критерия разведанности геологических особенностей объекта – **погрешность (точность)** оценки запасов и средних значений геологоразведочных параметров и ошибки в определении пространственного положения рудных тел (**ошибки геометризации**).

Способы определения значений этих критериев в конкретных условиях можно разделить на:

- аналитические (с использованием аппарата мат. статистики)
- эмпирические (по результатам экспериментов)

Аналитические методы используют количественные характеристики свойств объектов, что позволяет широко применять метод аналогии.

Эмпирические методы обычно не предполагают количественного определения свойств объектов, что сужает возможность распространения полученных данных на другие объекты.

Переход от показателей получаемых эмпирическими методами к количественные характеристики свойств объектов практически нигде не рассматривалась.

Аналитические методы

Погрешность оценки

запасов, среднего содержания, метропроцента, объемов (площади, мощности).

Выбор одного из подсчетных параметров в качестве наиболее информативного признака.

В качестве информативного признака, используемого при статистической оценке качества геологоразведочных работ, принимается наиболее изменчивый подсчетный параметр, величина погрешности определения которого коррелируется с величиной погрешности запасов руды или полезного компонента в разведочных блоках.

Погрешность оценки параметров (Δ)

$$\Delta = t \cdot v / \sqrt{n}$$

t – значение критерия Стьюдента v – коэффициент вариации, %
 n – число наблюдений (пересечений)

Определение величины ошибок подсчета запасов и оценки средних значений геологоразведочных параметров с позиций математической статистики представляет собой отдельную, достаточно сложную задачу. Её сложность определяется следующими обстоятельствами:

- - в математической статистике оценка ошибок измерений базируется на знании параметров и вида закона распределения, которому должно соответствовать распределение эмпирических данных. В реальных ситуациях это соответствие наблюдается не всегда; при определении степени изменчивости свойств объекта по величине коэффициента вариации в большинстве случаев априорно принимается модель нормального распределения.
- - распределение геологоразведочных параметров – содержания, мощности, метропроцента – практически всегда имеет усеченный характер, так как из них исключаются данные в низких классах значений, не удовлетворяющие требованиям кондиций. Математический аппарат для оценки точности вычисления средних значений в этих условиях отсутствует.
- - погрешности замеров площади рудных тел на проекциях в зависимости от геометрии сети и сложности контура с теоретических позиций практически не анализировались, хотя этот параметр также определяет точность подсчета запасов.
- - запасы руды и полезного ископаемого определяются как произведение нескольких показателей – площади, средних мощности, плотности и содержания – каждый из которых обладает собственной изменчивостью и величиной ошибки. Определение погрешности оценки запасов руды и полезного компонента через суммирование дисперсий этих показателей, предлагаемое рядом авторов, является некорректным. Другие подходы пока математически не обоснованы.
- - общепринятые приемы оценки ошибок в определении средних значений параметров не учитывают наличие закономерностей в пространственном размещении признака (закономерная составляющая изменчивости) и влияние на нее геометрии разведочной сети.

Эмпирические методы

Разрежение является одним из методов обоснования рациональной плотности разведочной сети. Необходимость его применения определяется Методическими рекомендациями ...(2007г)

Метод, в сравнении с другими подходами, обладает существенными преимуществами:

- - результаты не зависят от принятой математической (статистической) модели;
- - результаты отражают природные особенности (изменчивость) объекта;
- - характеризует действительную связь между *критерием разведанности* и параметрами (геометрией) сети.

Исходными материалами для проведения исследований могут являться результаты сопровождающей эксплуатационной разведки или данные по участкам детализации, разведанным по относительно густой сети (10-20x10-20м). Использование сети с недостаточной исходной плотностью потребует введения поправок за собственную погрешность модели.

Основной недостаток при использовании метода разрежения заключается в том, что исходные данные обладают собственной ошибкой модели, которая тем выше, чем более редкая исходная разведочная сеть, используется.. Сеть не обладающая собственной ошибкой это сеть близкая по своим параметрам к объемам селекции.

В связи с этим возникает необходимость учитывать собственную ошибку используя аналитические методы.

Максимальное значение собственной относительной ошибки

$$S_c = V/\sqrt{n}$$

где V – коэффициент вариации

n – число пересечений на участке детализации

Минимальное значение собственной относительной ошибки C - величина эффекта самородков.

Пример.

Характеристика участка детализации (исходной модели) – сеть 10x10 м; длина – 100м; ширина – 60 м; средняя мощность рудного интервала – 10 м, число пересечений – 62, коэффициент вариации – 110%. Запасы руды – 160 тыс. тонн; планируемая производительность – 2 млн. т /год.

- Допустимая погрешность для запасов категории C_1 – 15%.
- **Учет всех вариантов** наложения разреженной сети; вычисление средних погрешностей;
- Пересчет на относительные среднеквадратичные ошибки с учетом поправочного коэффициента 1,2 и собственной ошибки модели

Данные разрежения сети (относительные ошибки)

вар-ты	10x20	20x20	20x30	30x30	40x40	40x60	50x50
	-16,3	18,2	-39,2	-23,1	63,8	-35,4	41,4
	16,3	-27,9	30,6	18,2	-42,6	37,7	-76,7
		-16,5	17,9	-17,9	-54,3	-76,7	73,2
		26,5	-15,8	49,6	44,8	66,5	38,1
			35,7	-48,7	-45,2	34,6	-51
			-28,8	27,8	-37,5	-51	83,2
				38,1	52,4	75,6	-65,1
				-33,5	47,7	57,2	59
				26,6	-30,7	-65,1	-54,2
					31,4	-54,2	69,1
					-28,8	53,7	62,9
					58,8	62,8	41,4
					36,3	-44,9	-44,9
					-18,4	-72,7	-72,7
					29,5	37,6	-40
					-16,2	70,5	77,5
						-40	47,8
						43,5	-46,3
						-46,3	62,7
						57	53,2
						48,4	35,3
						-60,1	-60,1
							-82,2
среднее	16,3	22,3	23	34,2	45,7	49,9	53,5

Собственная относительная ошибка модели: $S_c = V/\sqrt{n} = 110/\sqrt{62} = 14\%$

Суммарная относительная ошибка (с учетом S_c): $S_{\text{сум}}^2 = S^2 + S_c^2$

Пересчет среднеквадратичных ошибок для сетей разной геометрии (плотности) $P_{\text{уч}}$ на ошибки, применимые к блоку годовой производительности $P_{\text{гп}}$: $P_{\text{гп}} = P_{\text{уч}}/\sqrt{K}$;

$$K = 2000/160 = 12,5; \quad \sqrt{K} = 3,54$$

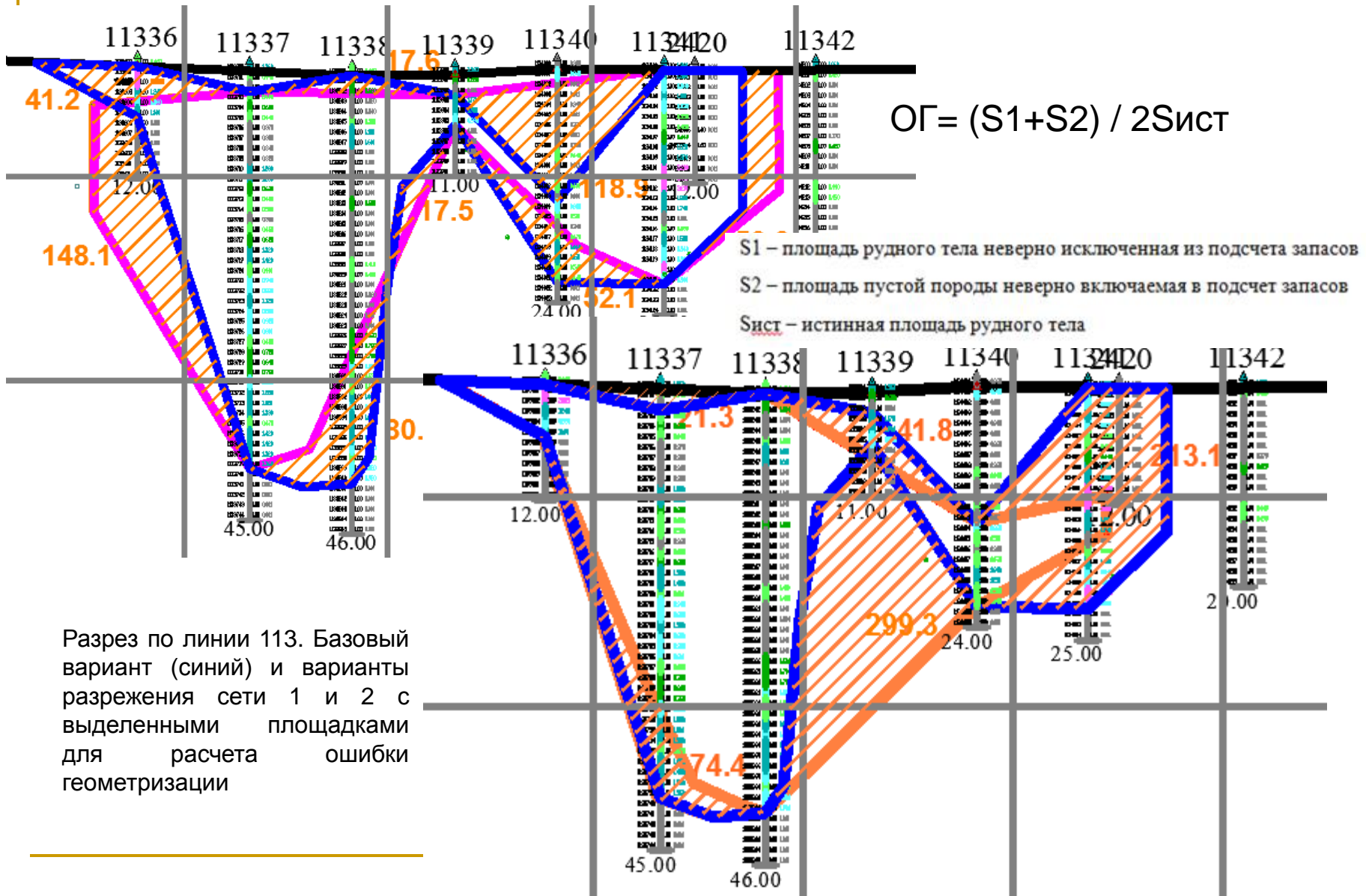
Данные пересчета ошибок

варианты	10x20	20x20	20x30	30x30	40x40	40x60	50x50
Ср.арифм	16.3	22.3	23	34.2	45.7	49.9	53.5
Ср.квадр.	19.6	26.8	27.6	41.0	54,8	59,9	64.2
Сумм. кв.	23,9	30,2	31,1	43,3	56,6	61,5	65,7
Для бл. год. пр.	6,75	8,53	8,78	12,23	16,0	17,37	18,55

Сравнение полученных значений с предельными, установленными для запасов разных категорий и формулировка выводов о достаточности (или недостаточности) выбранной разведочной сети.

Для разведки месторождения по категории C_1 в данном случае можно рекомендовать сеть 40x40 м.

Ошибка геометризации (ОГ)



Особенности использования ошибок геометризации

Преимущества:

- - прямо связаны с группировкой месторождений по сложности строения
- - зависят от плотности (геометрии разведочной сети)
- - определяют квалификацию запасов
- - характеризуют понимание особенностей геологического строения
- - влияют на результаты геолого-экономической оценки объекта, в том числе выбор систем отработки (особенно на ранних стадиях работ, когда использование запасов категории С2 для проектирования чревато ошибками и потерями.)

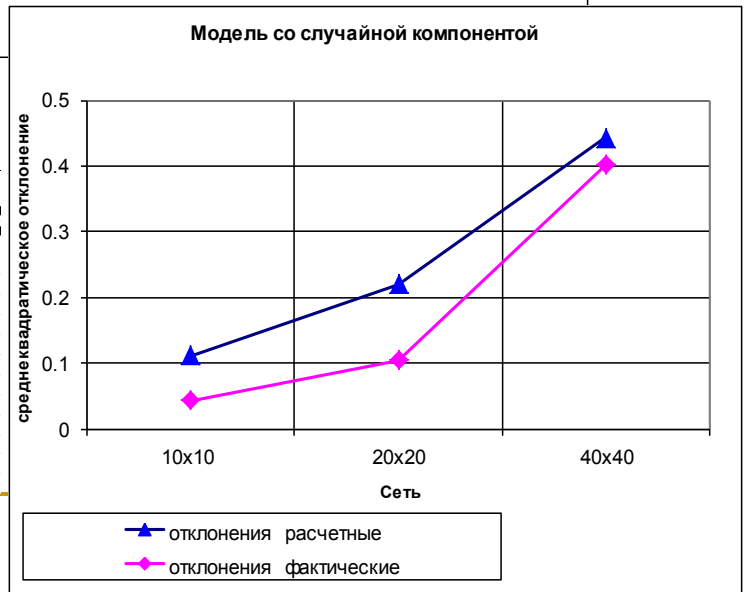
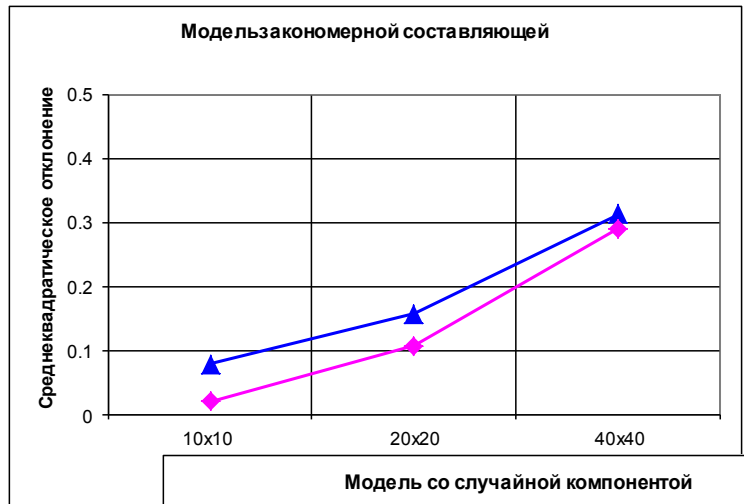
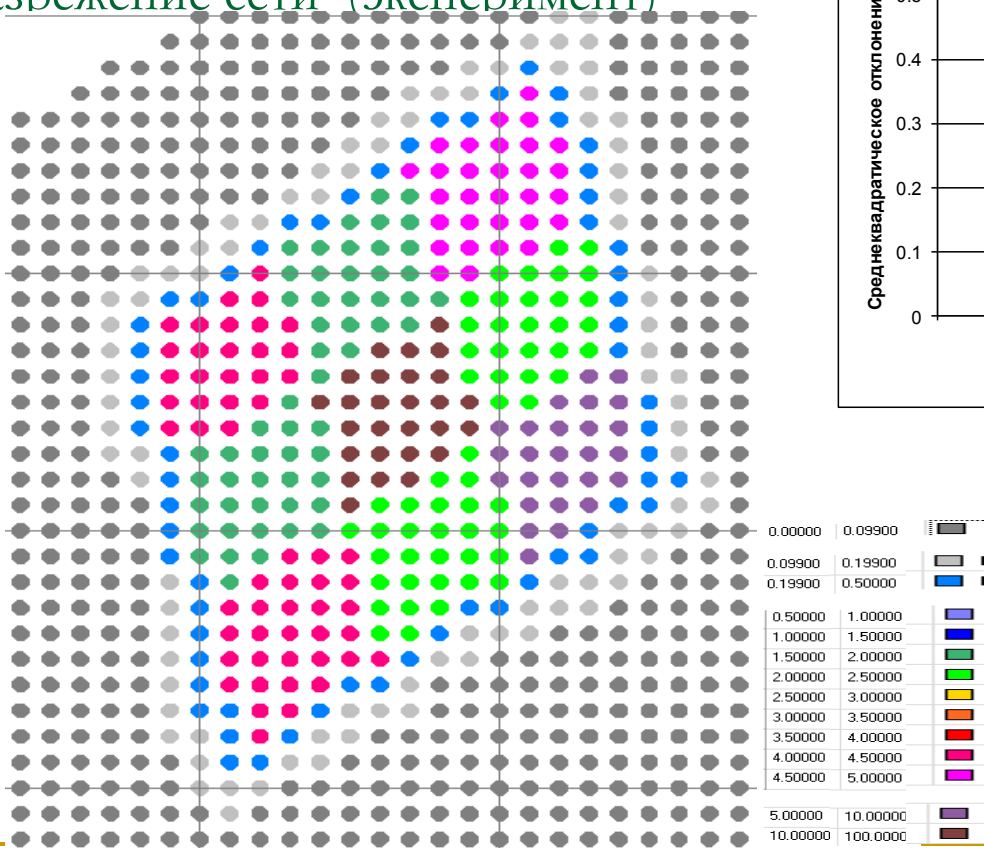
Проблемы использования:

- - затруднена оценка на ранних стадиях работ; метод аналогии разработан недостаточно (не определено, что считать крупными, средними или мелкими залежами)
- - требуют создания участков детализации
- - не установлена в достаточной мере связь величины ошибок геометризации с морфометрическими характеристиками;
- - влияние ошибок геометризации на погрешность оценки технико-экономических показателей освоения в количественном виде пока не определено.

сеть	число вар.	число р.п	откл факт	ср. сод.	коэф. вар.	откл. расч	откл. факт
модель со случайной компонентой							
5x5	1	230	0	4.06	0.841	0	0
10x10	4	57.5	0.033	4.06	0.841	0.111	0.043
20x20	16	14.38	0.18	4.06	0.841	0.22	0.104
40x40	64	3.59	0.275	4.06	0.841	0.443	0.401

сеть	число вар.	число р.п	откл факт	ср. сод.	коэф. вар.	откл. расч	откл. факт
исходная модель с закономерной составляющей							
5x5	1	250	0	4.06	0.616	0	0
10x10	4	62.5	0.016	4.06	0.616	0.078	0.02
20x20	16	15.62	0.046	4.06	0.616	0.156	0.107
40x40	64	3.91	0.234	4.06	0.616	0.312	0.29

Учет закономерной составляющей Разрежение сети (эксперимент)



Сопоставление данных разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых выполняется для контроля полноты отработки ранее утвержденных и обоснования достоверности вновь разведанных и подсчитанных запасов.

Результаты многочисленных сопоставлений данных разведки и эксплуатации на различных типах месторождений позволили установить:

- - примерный диапазон отклонений разведанных запасов полезных компонентов различных категорий и основных подсчетных параметров от «истинных», обусловленных природной изменчивостью оруденения;
- - равновероятность появления ошибок аналогии (распространения) различного знака;
- - устойчивую связь размера ошибок с уровнем изменчивости оруденения;
- - примерное равенство величин погрешностей запасов полезного компонента и наиболее изменчивого подсчетного параметра.

Значения предельных погрешностей (%) разведанных запасов по данным различных исследователей

Автор	Категория запасов			
	А	В	C ₁	C ₂
	Величина погрешности			
<u>Барышев Н.В.</u>	20	30-60	-	-
<u>Каллистов Н.Л.</u>	15-20	25-30	40-45	-
<u>Вилесов Г.И.</u>	10-15	-	-	-
<u>Крейтер В.М.</u>	15-20	20-30	30-60	60-90
<u>Джедалов А.Т.</u>	20	30	40	-
<u>Сергеев С.П.</u>	10-12	30-40	50-60	-
<u>Козак А.М.</u>	15-20	25-30	35-40	50-60
<u>Богацкий В. В.</u>	15	30	45	-
Краевский (Польша)	12,5	15	25	-
Венгерская геол. служба	10	20	30	50
Югославская служба	15	30	50	-
Болгарская геол. служба	10-20	30	50	-
Кубинская геол. служба	10	20	30	40
<u>Феттвайс (Германия)</u>	20	20-40	40-60	60-80

Не определено

Какие погрешности имеют в виду авторы

- среднеквадратические;
- среднеарифметические.

К каким объемам недр они относятся

- в целом к месторождению;
- к части месторождения (участку, блоку, блоку какого объема?).

Предельные значения ошибок для каждого вида сырья (и способа отработки)

Использование количественной оценки разведанности запасов месторождений в настоящее время

Оценка разведанности запасов **угольных месторождений** на основе ошибок геометризации прошла апробацию в ГКЗ и успешно используется .

Методические рекомендации по изучению **коренных месторождений алмазов** ориентированы на изучение, как точности оценки содержаний, так и на геометризацию объектов. Количественные требования по каждому из критериев разведанности для разных категорий запасов в них фактически определены.

Для других типов месторождения вопросы использования критериев разведанности еще не решены.

Решение проблемы оценки достоверности запасов, на наш взгляд, должно базироваться на следующих основных положениях:

- оценка величины запасов и средних значений геологоразведочных параметров носит вероятностный характер. Для месторождения в целом и для его отдельных частей следует установить предельные значения допустимых ошибок в определении запасов и их параметров. Детальность изучения таких участков отражается в категориях запасов, таким образом, категории запасов должны характеризоваться определенными значениями погрешностями в оценке запасов и геологоразведочных параметров.
- оценка величины ошибок в определении запасов и геологоразведочных параметров должна проводиться применительно к частям или объемам месторождения определенного размера, например к блокам, сопоставимым с годовой производительностью действующего или проектируемого предприятия.
- детальность изучения морфологических характеристик рудных тел и контуров оруденения должна характеризоваться особым критерием, в качестве которого можно использовать ошибки геометризации, предельные значения которых также устанавливаются для каждой категории запасов

Исследования по данной проблеме необходимо проводить в следующих направлениях:

- - математическое и экспериментальное обоснование приемов оценки ошибок в подсчете запасов и в определении средних значений геологоразведочных параметров;
- - разработка приемов учета влияния на величину погрешностей пространственных закономерностей в размещении оруденения применительно к геометрии существующей разведочной сети;
- - обоснование допустимого уровня точности оценки запасов по категориям запасов и видам минерального сырья;
- - обоснование допустимых значений ошибок геометризации запасов по категориям и видам минерального сырья; учет предполагаемой системы отработки и условий измерений (на планах, проекциях, в разрезах).
- - обоснование рациональной плотности разведочной сети для каждой из категорий на конкретных объектах с учетом изменчивости свойств оруденения и возможных экономических рисков.
- - определение оптимальных соотношений категорий запасов для объектов на разных стадиях изучения.

Спасибо за внимание.
