

Е.Б. Яницкий, В.А. Дунаев

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ КОВДОРСКОГО АПАТИТ-ШТАФФЕЛИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. Изложены методика и результаты проведенных авторами исследований с целью определения рациональных параметров сети эксплуатационной разведки Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения, для чего была изучена анизотропия изменчивости содержания компонентов, определяющих качество руды P_2O_5 , CO_2 ; установлена зависимость погрешности геологических показателей от параметров сети опробования и обоснована ее допустимая величина, для чего использованы данные детальной разведки по сети 6,5×6,5 м участка месторождения размером 90×135 м. Доказано, что в пределах буровзрывного блока до его опробования невозможно определить направление и величину анизотропии содержания P_2O_5 и CO_2 , определены рациональные (на уровне допустимой погрешности) параметры сети сопровождающей разведки (опробовать шлейф отложения шлама каждой скважины буровзрывного блока) и опережающей эксплуатационной разведки (проводить ее по сети 25×(12,5–13) м).

Ключевые слова: апатит-штаффелитовое месторождение, пятиокись фосфора, модуль карбонатности, опережающая и сопровождающая разведка, геометрия и плотность сети опробования, планирование горных работ.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-118-131

Ковдорское апатит-штаффелитовое месторождение расположено вблизи западного контакта Ковдорского массива ультраосновных и щелочных пород девонского возраста, который прорывает толщу метаморфических пород, преимущественно гнейсов, верхнего архея. В экзоконтакте массива по гнейсам сформировался ореол фенитов. С этим массивом генетически связан рудно-карбонатитовый узел, представленный Ковдорским апатит-магнетитовым месторождением и спиралевидной в плане зоной карбонатитов [4], к южному кольцевому фрагменту которой и приурочено апатит-штаффелитовое месторождение, разведанное в 1973–1977 гг. и доразведанное в 2009–2013 гг., зале-

гающее в мел-палеогеновой коре выветривания карбонатитов и вмещающих их фенитов, фенитизированных гнейсов. В 2015 г. начата промышленная эксплуатация месторождения [3].

Надежной информационной основой планирования добычи фосфатной руды в режиме усреднения при открытой разработке минерального сырья является достоверная геометризация пространственного распределения полезного компонента, основанная на результатах эксплуатационной разведки месторождения. Традиционно эксплуатационная разведка по целевому назначению разделяется на сопровождающую и опережающую добычу полезного ископаемого [5].

Необходимо отметить, что предварительно были, в том числе на основе анализа зарубежного опыта [15–18], определены способ и методика эксплуатационного опробования [13].

Достоверность геометризации руд и пород определяется таким важным классификационным признаком, как содер-

жание полезного компонента в точке опробования, которая представляет собой дискретную величину. Очевидно, что само абсолютное значение содержания в данной точке обусловлено закономерным процессом формирования месторождения и не является случайным. Вместе с тем, дискретный способ

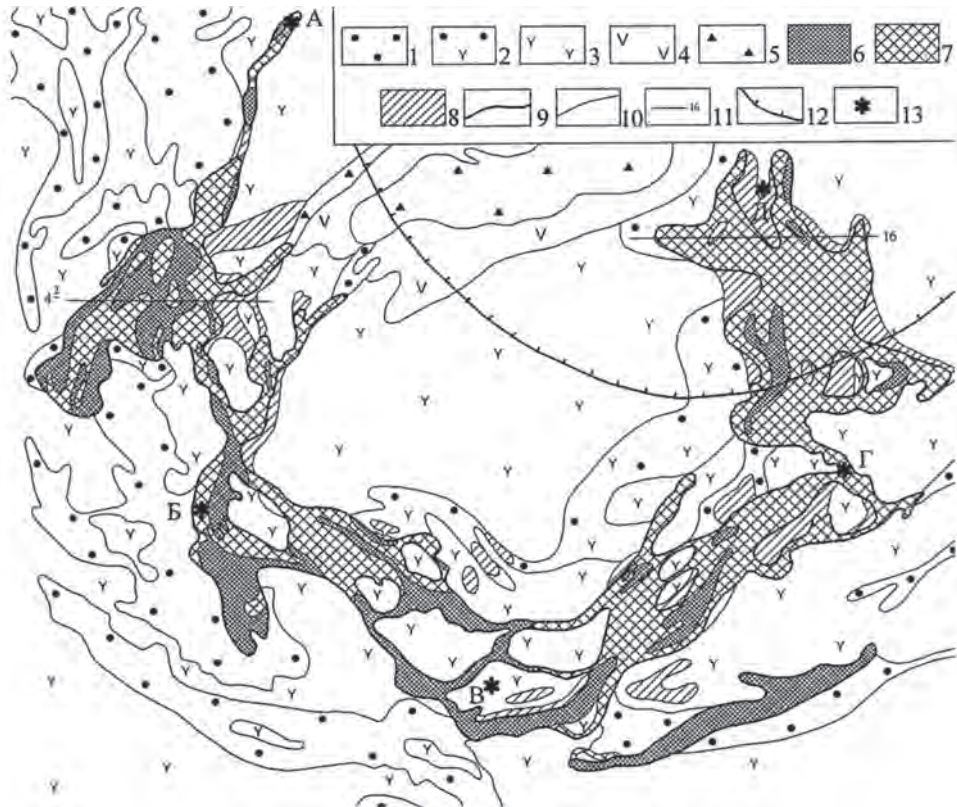


Рис. 1. Геологическая карта Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения. По Б.И. Сулимову (1977) с разрядкой и дополнениями автора [4]: 1 – карбонатиты; 2 – карбонатиты, насыщенные ксенолитами фенитов и фенитизированных гнейсов; 3 – фениты и фенитизированные гнейсы; 4 – ийолиты; 5 – апатит-форстерит-магнетитовые и маложелезистые апатит-форстеритовые руды; 6–8 – апатит-штаффелитовые руды (6 – богатые, 7 – рядовые, 8 – убогие; 9 – контур залежи апатит-штаффелитовых руд; 10 – граница между различными типами пород и руд; 11 – линии геологических разрезов и их номера; 12 – граница карьера рудника «Железный»; 13 – опорные точки ломаной линии, которая делит месторождения на участки с различной ориентировкой разведочных профилей

Fig. 1. Geological map of the Kovdor apatite-shtafellite deposit. BY B.I. Sulimov (1977) with author's spacing and amendments [4]: 1—carbonatite; 2—carbonatite saturated with fenite xenoliths and fenitized gneiss; 3—fenite and fenitized gneiss; 4—ijolite; 5—apatite-forsterite-magnetite and low-ferrous apatite-forsterite ore; 6–8—apatite-shtafellite ore (6—high-grade; 7—ordinary; 8—low-grade); 9—apatite-shtafellite deposit outline; 10—boundary of different kinds of rocks and ore; 11—geological sections and their numbers; 12—Zheleznyy open pit boundary; 13—reference points of broken line dividing the deposit into areas with differently oriented exploration profiles

изучения пространственной изменчивости определяет случайный характер геологоразведочных данных, а соответственно геометризация, может быть выполнена только стохастически, т.е. оценка точности имеет вероятностный характер [1]. Кроме того, поскольку при планировании (как текущем, так и оперативном) значение содержания в точке опробования представляет собой усредненную на высоту эксплуатационного уступа (или их групп) характеристику, то пространственные закономерности распределения полезного компонента можно считать нарушенными, т.е. результаты опробования следует рассматривать как конкретную реализацию случайной функции [6], что дает возможность при определении рациональных параметров сети эксплуатационной разведки применять аппарат математической статистики и теории вероятности.

Формирование выдержанного по качеству рудопотока для бесперебойной работы обогатительной фабрики в условиях интенсивного ведения горных работ в карьере, а также минимизация затрат на бурение, отбор и обработку проб, могут быть достигнуты только за счет применения рациональных сетей эксплуатационной разведки и эксплуатационного опробования, а их геометрия и плотность должны обеспечивать требуемый уровень достоверности оконтуривания руд и пород на каждом уровне планирования горных работ. При этом, поскольку основные технологические параметры буровзрывного блока (расстояние между скважинами и рядами, удельный расход взрывчатого вещества) определяются показателями сопротивления взрывному разрушению горных пород и не связаны с процессом планирования качественных и количественных показателей руды, подаваемой на фабрику, то сеть эксплуатационного опробования должна быть вписана в су-

ществующую сеть взрывных скважин. Эксплуатационная же разведка, в свою очередь, должна быть вписана в уже существующую сеть детальной разведки.

Методы определения параметров разведочных сетей можно разделить на две группы: эмпирические и аналитические [9]. К первой группе относятся методы аналогий, разрежения по опытным данным, сравнения результатов разведки и разработки месторождений. Группа аналитических или количественных [6] методов связана с применением эмпирических формул или положений теории вероятности и математической статистики (метод Каллистова, Богацкого, аналитический, энтропии, градиентов и др.). Каждый из методов опирается на определенное геолого-математическое обоснование и имеет свои недостатки. В зависимости от плотности исходных данных и уровня планирования (оперативное или текущее) горных работ могут быть применены различные способы обоснования рациональных параметров разведочных сетей, но в целом для их определения необходимо:

- иметь детально разведанный участок месторождения, которым в нашем случае является участок отбора в 2001 г. крупнотоннажной опытно-промышленной пробы, разбуренный станком СБШ-250МН по сети в среднем 6,5×6,5 м размером 90×135 м и расположенный на Западном фланге месторождения;
- изучить анизотропию изменчивости геологических показателей месторождения;
- установить зависимость погрешности геологических показателей от параметров сети опробования буровзрывного блока;
- обосновать допустимую погрешность оценки геологических показателей.

На вопросе количественной оценки допустимых погрешностей определения среднего содержания компонентов, рег-

Таблица 1

Основные статистические характеристики апатит-штаффелитовых руд
Major statistical characteristics of apatite-shtafellite ore

	<i>n</i>	\bar{X}	m_x	Mo	Me	σ	V	A	E
P ₂ O ₅ (в целом по месторождению)	8251	13,15	13,20	5,58	9,80	8,56	65,13	0,87	-0,51
Богатые руды (P ₂ O ₅)	2266	25,58	25,52	23,29	25,29	4,44	17,35	0,18	-0,84
Бедные руды (P ₂ O ₅)	5985	8,44	8,47	5,57	10,25	3,60	42,66	0,82	-0,27
CO ₂ (в целом по месторождению)	4883	1,81	1,78	1,29	1,65	1,07	58,86	0,63	-0,11
Богатые руды (CO ₂)	1709	2,18	2,17	1,64	1,74	0,97	44,48	0,14	-0,29
Бедные руды (CO ₂)	3262	1,60	1,56	1,22	1,84	1,06	66,24	1	0,65

Примечание: *n* – количество проб; \bar{X} – среднее содержание полезных компонентов, %; m_x – математическое ожидание, %; Mo – мода, %; Me – медиана; σ – среднее квадратичное отклонение; V – коэффициент вариации; A – коэффициент асимметрии; E – эксцесс.

ламентирующих качество руд, ошибок геометризации следует остановиться отдельно.

Нормативные документы ГКЗ РФ обязывают недропользователей проводить оценку допустимых погрешностей, но при этом методические рекомендации по ее проведению, а также критериальные их значения отсутствуют. Иногда величину допустимых погрешностей в рамках выполнения работ по обоснованию оптимальных параметров разведочной сети или сопоставлению данных разведки и разработки подменяют среднее квадратическим (стандартным) отклонением, дисперсией или точностью химического анализа, что не может считаться правильным. В нашем случае допустимая погрешность определяет возможные колебания в качестве подаваемой на фабрику руды, которые не окажут существенного влияния на ее производительность (содержание полезного компонента в концентрате, его выход). Очевидно, что достичь этого можно только путем внутрикарьерного усреднения добываемой руды. Формирование рудопотока осуществляется с учетом изменчивости качества исходного сырья и параметра допустимого его колебания в руде, поступающей на бункер обога-

тельной фабрики: содержание P₂O₅ 10–15%, модуль карбонатности не более 2,5%, допустимые среднесменные колебания содержания P₂O₅ 10% (отн.), которые и приняты в рамках работы в качестве допустимых величин отклонения.

Методика определения рациональных параметров сети эксплуатационного опробования заключалась в следующем. На первом этапе в горно-геологической системе ГИС ГЕОМИКС [2] была сформирована пространственно-координированная база данных опробования разведочных скважин, на основе которой определены статистические характеристики среднего содержания P₂O₅ и CO₂ (табл. 1, рис. 2–3).

На втором этапе палеточным способом (размер ячейки 6×6 м) для опытного участка выполнена оценка анизотропии изменчивости содержания P₂O₅ и CO₂ (рис. 4) по следующей методике. В ГИС ГЕОМИКС на основе данных опробования шлама взрывных скважин, пробуренных на опытном участке Западного фланга, выполнялось построение изолиний содержаний P₂O₅ и CO₂, рассчитываемых как средневзвешенное значение на высоту эксплуатационного уступа. Расчет средней изменчивости (*I*) и показателя анизотропии (*A*)

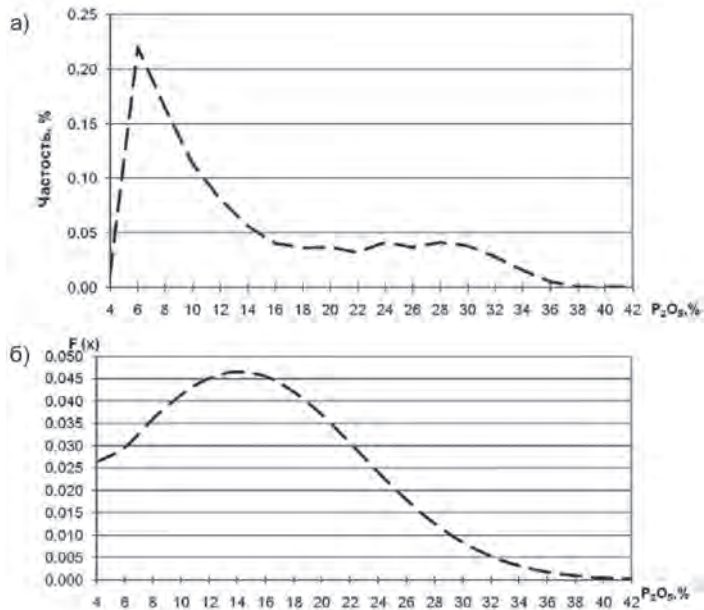


Рис. 2. Полигон вариационного ряда (а) и график плотности вероятности (б) содержания P_2O_5 в пробах скважин разведочного бурения

Fig. 2. Static series range (a) and probability density plot (b) for P_2O_5 content of samples from exploration drill holes

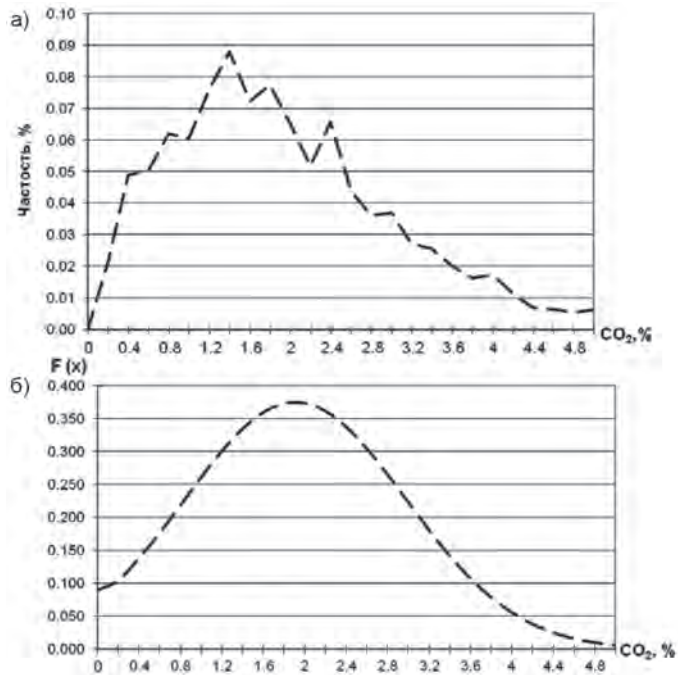


Рис. 3. Полигон вариационного ряда (а) и график плотности вероятности (б) содержания CO_2 в пробах скважин разведочного бурения

Fig. 3. Static series range (a) and probability density plot (b) for CO_2 content of samples from exploration drill holes

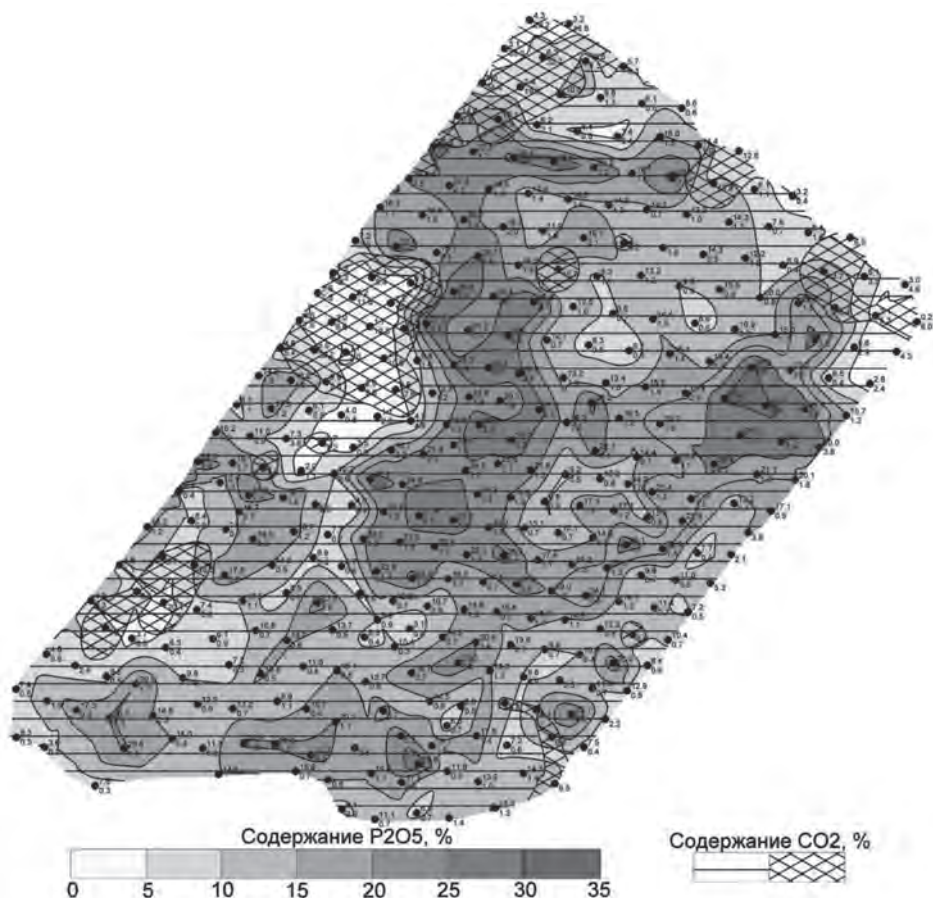


Рис. 4. Изолинии содержания P₂O₅ и CO₂ в пределах экспериментального блока Западного фланга Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения

Fig. 4. Contour lines of P₂O₅ and CO₂ contents within experimentation block in the West wing of the Kovdor apatite-shtafellite deposit

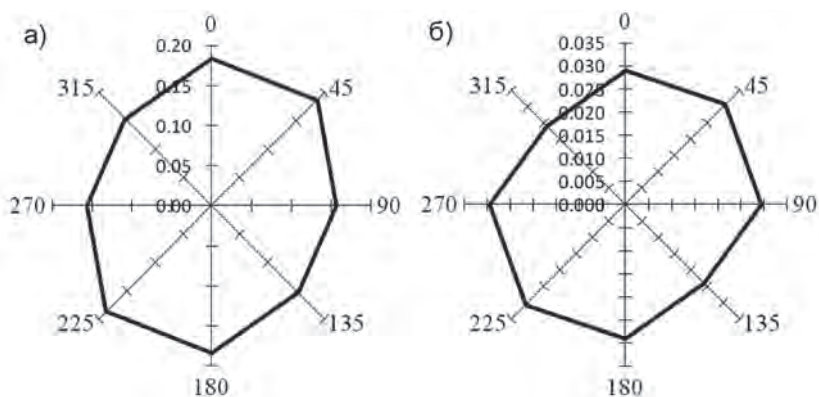


Рис. 5. Индикатрисы анизотропии содержаний P₂O₅ (а) и CO₂ (б) в рудах Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения

Fig. 5. Indicatrixes of anisotropy in P₂O₅ (a) and CO₂ (b) contents of the Kovdor apatite-shtafellite ore

выполнялся средствами ГИС ГЕО-МИКС по формулам [8]:

$$I = \frac{\sum n}{\sum l}; \quad A = \frac{l_{\max}}{l_{\min}},$$

где n – количество в контуре залежи контактов между различными типами руд и пород, пересекаемых одной линией; l – длина одной линии; l_{\max} , l_{\min} – направления наибольшей и наименьшей изменчивости соответственно.

В целом анизотропии изменчивости содержаний P_2O_5 и CO_2 не установлено, показатель анизотропии составляет 1,20 и 1,04 соответственно (рис. 5).

Плотность исходных данных и характер их размещения в пространстве позволяет для определения параметров сети эксплуатационного опробования месторождения АШР применить метод геометрической автокорреляции [6] с расчетом радиуса автокорреляции, значение которого и будет соответствовать рациональному шагу опробования. Процедура определения радиуса геометрической автокорреляции реализована в виде соответствующей компьютерной

технологии в системе ГИС ГЕОМИКС (рис. 6) по следующему алгоритму:

1. По данным шламового опробования опытного участка выполнялось построение изолиний содержаний P_2O_5 и CO_2 (см. рис. 4).

2. По полученным значениям P_2O_5 и CO_2 по каждой линии строились графики изменения содержаний (рис. 7), которые сглаживались по методу Каллистова с шагом сглаживания равным двум [7]. При недостаточном количестве проб вдоль намеченной линии или существенном нарушении принципа равномерности опробования (возникает на участках с невыдержанной сетью отбора проб), такие линии исключались из расчета или использовались частично.

3. Радиус геометрической автокорреляции рассчитывался по формуле [8]:

$$R = \frac{L}{(1 + 2 \cdot E)}$$

где R – радиус геометрической автокорреляции; L – длина линии сети; E – количество экстремумов сглаженной кривой.

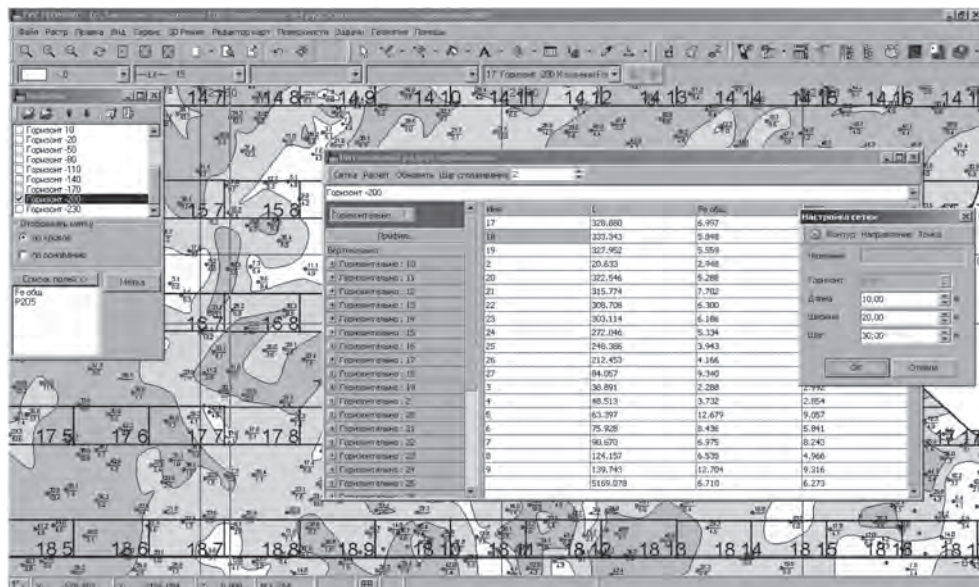


Рис. 6. Интерфейс функции расчета радиуса геометрической автокорреляции

Fig. 6. Interface of geometrical autocorrelation radius calculation

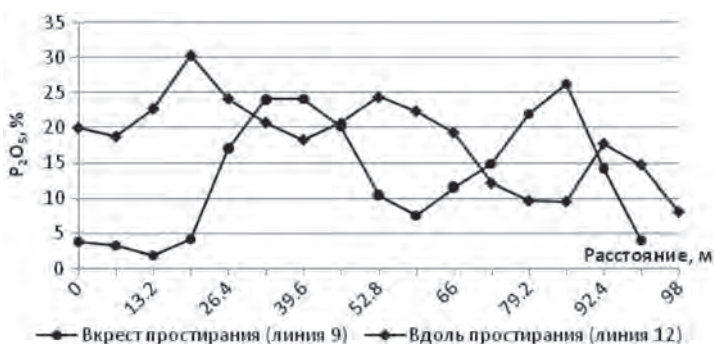


Рис. 7. Пример обработки данных опробования буровзрывных скважин методом геометрической автокорреляции

Fig. 7. Example of blast hole assaying data processing by the method of geometrical autocorrelation

Таблица 2

Радиус геометрической автокорреляции показателей качества апатит-штаффелитовых руд Ковдорского месторождения (вкрест простирания)

Radius of geometrical autocorrelation of quality indicators of apatite-shtafellite ore at the Kovdor deposit (across the strike)

Номер линии выборки	Количество экстремумов сглаженного графика		Длина линии выборки, м		Радиус геометрической автокорреляции	
	P ₂ O ₅	CO ₂	P ₂ O ₅	CO ₂	P ₂ O ₅	CO ₂
1	1	1	20,7	20,7	6,9	6,9
2	1	1	34,4	20,5	11,5	6,8
3	1	2	41,3	48,5	13,8	9,7
4	4	3	47,5	62,1	5,3	8,9
5	4	2	69,1	76	7,7	15,2
6	5	5	55,7	90,9	5,1	8,3
7	5	4	77,5	97	7,0	10,8
8	6	4	91,4	97,6	7,0	10,8
9	4	4	98,2	98,2	10,9	10,9
10	4	5	98,2	97,8	10,9	8,9
11	5	4	97,8	97,5	8,9	10,8
12	4	6	83,0	97,3	9,2	7,5
13	4	5	82,4	97,5	9,2	8,9
14	5	7	97,5	96,5	8,9	6,4
15	5	5	84,9	96,4	7,7	8,8
16	5	6	89,5	97	8,1	7,5
17	4	5	90,6	95,3	10,1	8,7
18	5	5	73,0	96,1	6,6	8,7
19	4	5	72,6	89,9	8,1	8,2
20	7	8	74,4	96,9	5,0	5,7
21	3	6	60,0	90	8,6	6,9
22	7	5	76,0	85,2	5,1	7,7
23	6	4	46,3	28,3	3,6	3,1
Средневзвешенное значение радиуса					8,2	8,8

Таблица 3

Радиус геометрической автокорреляции показателей качества апатит-штаффелитовых руд Ковдорского месторождения (вдоль простирания)*Radius of geometrical autocorrelation of quality indicators of apatite-shtafellite ore at the Kovdor deposit (along the strike)*

Номер линии выборки	Количество экстремумов сглаженного графика		Длина линии выборки, м		Радиус геометрической автокорреляции	
	P ₂ O ₅	CO ₂	P ₂ O ₅	CO ₂	P ₂ O ₅	CO ₂
1	5	7	102,5	102,5	9,3	6,8
2	7	9	107,2	154,4	7,1	8,1
3	8	7	124,0	148,5	7,3	9,9
4	9	5	141,5	141,5	7,4	12,9
5	11	10	154,2	154,1	6,7	7,3
6	7	6	139,3	139,3	9,3	10,7
7	6	12	99,2	137,4	7,6	5,5
8	6	6	114,8	114,8	8,8	8,8
9	7	9	126,4	126,4	8,4	6,7
10	6	7	104,0	131,7	8,0	8,8
11	7	9	126,0	126,0	8,4	6,6
12	6	6	97,1	124,0	7,5	9,5
13	7	7	75,2	117,0	5,0	7,8
14	6	7	109,3	113,6	8,4	7,6
15	2	6	58,2	92,1	11,6	7,1
Средневзвешенное значение радиуса					8,0	8,4

4. Оптимальному расстоянию между пробами соответствует средневзвешенный радиус геометрической автокорреляции наиболее изменчивого показателя, скорректированный таким образом, чтобы полученная сеть опробования встраивалась в существующую сеть буровзрывных работ.

В результате компьютерной реализации указанных выше алгоритмов установлены величины радиуса геометрической автокорреляции по компонентам, регламентирующим качество минерального сырья, вкрест (табл. 2) и вдоль (табл. 3) простирания рудного тела на экспериментальном участке.

Данные табл. 2, 3 с учетом принятой типовым проектом ведения буровзрывных работ в апатит-штаффелитовом карьере сети бурения (6,4×5,4 м) показы-

вают, что должна быть опробована каждая буровзрывная скважина.

Для проверки расчетных параметров сети эксплуатационного опробования построены качественные планы трех буровзрывных блоков по исходной и разреженной сети, по которым методом эксплуатационных блоков, реализованном в ГИС ГЕОМИКС, выполнен подсчет среднего содержания полезных компонентов и запасов руд.

В случае, если в пределах исходной сети имелись скважины без опробования, то расчет средних содержаний для таких скважин выполнялся по созданной блочной модели буровзрывного блока с параметрами ячейки 3×3×12 м. Расчет значений содержаний компонентов в ячейках блочной модели сделан методом скользящего среднего. Поскольку

анизотропия изменчивости содержания P_2O_5 в пределах участка не установлена, разрежение проводилось равномерно через ряд и через скважину.

В целом установлены следующие расхождения (отн.):

- по запасам:

богатые руды — среднее 47,9%, при колебаниях от 10,8 до 100%;

бедные руды — среднее 17,9, при колебаниях от 9,6 до 24,8%;

вмещающие породы — среднее 18,7, при колебаниях от 11,9 до 25,7%;

- по содержанию P_2O_5 :

богатые руды — среднее 40,7%, при колебаниях от 1,8 до 100%;

бедные руды — среднее 13,8, при колебаниях от 9,8 до 19,0%;

вмещающие породы — среднее 13,3, при колебаниях от 0 до 22,2%;

- по содержанию CO_2

(по одному блоку):

богатые руды — 100%;

бедные руды — 10,7%;

вмещающие породы — 5,9%;

Таким образом, установленные расхождения подсчетных параметров (в целом более 10% (отн.) доказывают необходимость опробования шлама каждой буровзрывной скважины.

Сеть скважин эксплуатационной разведки месторождения при условии методически правильного проведения его детальной разведки обычно вписывается в уже созданную сеть с учетом анизотропии разведываемых недр и соблюдением принципа равномерности [11] путем двойного сгущения относительно плотности сети для наиболее высокой категории разведанных запасов. В этой связи по изложенной выше методике выполнена оценка анизотропии внутреннего строения рудной залежи, а также геометрии и плотности существующей сети разведочных скважин на рассматриваемом месторождении в целом и по его участкам. При этом изменчивость внут-

реннего строения рудной залежи определялась количеством контактов между различными типами руд и пород, пересекаемых одной линией.

Установленные значения показателя анизотропии внутреннего строения для Западного (А-Б), Юго-Западного (Б-В) и Юго-Восточного (В-Г) участков близки между собой (1,73; 2,21; 1,93 соответственно) и в среднем составляет 1,96. Так как преобладающая часть Восточного участка (Г-Д) расположена в контуре карьера рудника «Железный», то в целом для рудной залежи в границах апатит-штаффелитового карьера можно принять значение показателя анизотропии ее внутреннего строения, равное 2,0 (см. рис. 1).

Коэффициент анизотропии изменчивости содержания P_2O_5 , определенный геостатистическим методом как отношение установленных на вариограммах длин зон влияния проб по простиранию и вкрест простирания рудной залежи, равен 2,7 [12]. Вариограммы строились с использованием всего массива данных опробования рудной залежи, сформированного по результатам детальной разведки. Таким образом, залежь фосфатных руд Ковдорского месторождения обладает явно выраженной анизотропией изменчивости внутреннего строения и содержания в ней основного полезного компонента P_2O_5 (вкрест ее простирания эта изменчивость как минимум в два раза больше, чем по простиранию).

Поскольку залежь имеет сложную конфигурацию, характеризуется наличием выступов, апофиз, пережимов или раздувов, расщеплением на ряд маломощных рукавов, то в объемах буровзрывного блока величина анизотропии может быть достоверно получена только по результатам химического опробования, что объясняет необходимость применения равномерной сети эксплуатационного опробования и различные величины по-

Таблица 4

Погрешность определения (% отн.) в контуре эталонного участка площади рудной залежи (S) и среднего содержания P_2O_5 (C) в зависимости от плотности сети опробования

Error (relative %) of the ore body area S and average P_2O_5 content C depending on assaying net density within a reference section

Параметры	Значения параметров при плотности сети скважин, м:				
	6,5×6,5	50×25	25×25 (40)	25×25	25×12,5
Руды богатые ($P_2O_5 > 18\%$)					
S, м ²	3388,9	6404,91	5293,69	4190,89	3417,09
S, % отн.	—	89,0	56,2	23,7	0,9
C, %	23,29	27,60	26,42	25,92	24,12
C, % отн.	—	18,5	13,4	11,3	3,6
Руды бедные ($P_2O_5 < 18\%$)					
S, м ²	8105,72	4848,92	6118,03	7195,65	7958,05
S, % отн.	—	-40,2	-24,5	-11,2	-1,8
C, %	11,41	11,39	9,38	9,41	10,59
C, % отн.	—	-0,2	-17,8	-17,5	-7,2

казателя анизотропии, полученные для всего месторождения и его локального участка.

В процессе детальной разведки участков А компактного размещения оруденения на западном фланге месторождения (см. рис. 1) разведан по сети в среднем 50 м (расстояние между профилями) на 25 м (расстояние между скважинами в профиле) с подсчетом запасов по категории В, а остальная часть месторождения по сети 100×25 м соответственно с подсчетом запасов категории С₁, в единичных блоках — С₂. При проведении доразведки сеть профилей по всему месторождению за исключением участка Г-Д сгущена в два раза с бурением скважин в новых профилях в среднем через 40 м. Таким образом, была сформирована неравномерная сеть, представленная чередованием профилей с плотностью скважин в среднем 25 и 40 м через 25 м на участке А (запасы категории В) и через 50 м на остальной части месторождения (запасы категорий С₁, С₂).

С учетом данной выше оценки анизотропии фосфатного оруденения и соблюдения принципа равномерности размер элементарной ячейки сети эксплуатационной разведки, которая хорошо впишется в созданную неравномерную сеть, составит 25×12,5(13) м. В результате на участке запасов категории В расстояние между скважинами в профилях детальной разведки будет равно в среднем 12,5 м, а в профилях доразведки — 13 м. На остальной площади месторождения сеть существующих профилей сгущается в два раза, а расстояние между скважинами в профилях до 12,5–13 м.

Экспериментальная проверка правильности выбранной геометрии и плотности скважин эксплуатационной разведки проведена на опытном участке Западного фланга месторождения. Суть проверки заключалась в оценке погрешности определения площади и среднего содержания P_2O_5 в контурах богатых и бедных руд, установленных в границах опытного участка по сети 50×25 м (детальная разведка), 25×25; 40 м (дораз-

ведка), 25×25 м и 25×12,5 м (табл. 4). Для реализации двух последних вариантов сети использованы данные опробования шарошечных скважин, позиция которых совпадала (+1–2 м) с узлами сети. Эталонном для сравнения служили значения указанных выше параметров, оцененные по всей совокупности пробуренных и опробованных шарошечных скважин.

В результате выявлено, что по мере сгущения разведочной сети закономерно уменьшаются погрешности оценки этих параметров, а при сети 25×12,5 м они достигают минимума и относительно предшествующего варианта сети (25×25 м) снижаются в разы. При этом погрешность определения среднего содержания P_2O_5 существенно ниже установленного технологическим регламентом критериального значения погрешности оценки качества поступающей на обогащение руды (+10% отн.). Таким образом, для опережающей эксплуатационной разведки месторождения наиболее приемлема сеть скважин, харак-

теризующаяся расстоянием между профилями 25 м, а между скважинами 12,5 (13) м.

Выводы

1. Параметры анизотропии содержания P_2O_5 и CO_2 обуславливаются неоднородностью вещественного состава, изменчивостью содержания компонентов в рудах и их технологических свойств на различных участках месторождения и, как следствие, невозможностью установления направления и величины анизотропии в пределах буровзрывного блока до его опробования.

2. На основе автоматизированного расчета радиуса геометрической автокорреляции определены рациональные параметры сети сопровождающей разведки. Опробованию подлежит шлейф отложения шлама каждой скважины.

3. Опережающую эксплуатационную разведку месторождения необходимо проводить по сети 25×12,5(13) м, что обеспечит получение достоверных данных на уровне допустимой погрешности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Н. Ф. Проблема геолого-промышленной оценки рудных месторождений // Известия вузов. Геология и разведка. — 1988. — № 6. — С. 53–59.
2. Волков Ю. И., Серый С. С., Дунаев В. А., Герасимов А. В. ГИС ГЕОМИКС для горной промышленности России и Казахстана // Горный журнал. — 2015. — № 5. — С. 8–13.
3. Дремина М. Ф., Пестриков А. А. Ковдорское месторождение апатит-штаффелитовых руд: строение, генезис, состав / Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Севера-Запада России. Труды XXIV молодежной научной конференции. — Апатиты, 2013. — С. 14–18.
4. Дунаев В. А., Яницкий Е. Б. Рудоконтролирующие факторы, особенности размещения и степень изменчивости оруденения Ковдорского апатит-франколитового месторождения // Научные ведомости БелГУ. Естественные науки. — 2013. — № 7 (160). — вып. 24. — С. 140–147.
5. Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Производство геологоразведочных работ: Учебник для вузов. — М.: Недра, 1985. — 288 с.
6. Каждан А. Б. О математическом описании изменчивости геологоразведочных параметров рудных залежей / Математические методы в геологии. — М.: Недра, 1968. — С. 92–99.
7. Каллистов П. Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке и опробовании // Советская геология. — 1956. — № 53. — С. 118–131.
8. Лебедев Г. В. Методы определения параметров систем опробования // Вестник Пермского университета. Геология. — 2007. — № 4 (9). — С. 76–90.
9. Смирнов В. И. О плотности разведочной сети // Советская геология. — 1957. — № 58. — С. 150–162.
10. Четвериков Л. И. Оценка анизотропии геологических объектов // Вестник Воронежского университета. Геология. — 2000. — вып. 9. — С. 26–31.

11. Четвериков Л. И. Теоретические основы разведки недр. — М.: Недра, 1984. — 156 с.
12. Никулин В. М., Быховец А. Н. Оценка степени разведанности и изменчивости оруденения Ковдорского апатит-штаффелитового месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 3. — С. 85–90.
13. Яницкий Е. Б., Дунаев В. А. Обоснование методики эксплуатационного опробования апатит-штаффелитовых руд Ковдорского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 3. — С. 87–97.
14. Яницкий Е. Б., Дунаев В. А. Оптимальное число экспериментальных скважин для обоснования методики шламowego опробования при открытой добыче минерального сырья // Известия вузов. Геология и разведка. — 2015. — № 3. — С. 69–72.
15. Monyiguu R. R. Operational aspects of the Granisle. Canadian Mining and Metallurg Bulletin, 1974, 64, N708, pp. 67–69.
16. Tournel A. G., Sous H. Ore-grade control in subhorizontal deposits / Trans. Inst. Mining and Metals, 1974, A 83, Iau, pp. 79–84.
17. Killin A. P., Copper / Canadian Mining Journal, 1970, 91, № 2, p. 14.
18. Aarocoss Misaon at increased production capacity / Skillings' Mining Review, 1968, 57, No 51, pp. 10–11. **IVAB**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Яницкий Евгений Брониславович¹ — кандидат географических наук, заместитель генерального директора по научной работе,

e-mail: yanez@geomix.ru,

Дунаев Владимир Александрович¹ — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом геологии и геоинформатики,

¹ ОАО «ВИОГЕМ».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 10, pp. 118–131.

Evaluation of rational operational exploration net parameters for the Kovdor apatite–shtafellite deposit

Yanitsky E.B.¹, Candidate of Geographical Sciences,

Deputy General Director for Scientific Work,

e-mail: yanez@geomix.ru,

Dunaev V.A.¹, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,

Professor, Head of Department,

¹ All-Russian Research Institute on Drainage of Mineral Deposits,

Protection of Engineering Constructions against Flood,

Express Mining Operations, Geomechanics, Geophysics,

Hydraulic Engineering, Geology and Surveying Business»

(JSC VIOGEM) Open Joint Stock Company, 308007, Belgorod, Russia.

Abstract. The article describes the procedure and results of the research aimed at rational parameters of operational exploration net at the Kovdor apatite–shtafellite deposit. To this effect, variability anisotropy of content of components P_2O_5 and CO_2 which govern this kind ore quality was determined, dependence of error of geological indications on the assaying net parameters was found and allowable value of the error was substantiated using the detailed exploration data of the net 6.5×6.5 m in the deposit area 90×135 m. It is proved that within a drilling-and-blasting block, without assaying, it is impossible to determine direction and value of anisotropy of P_2O_5 and CO_2 content. The rational (at allowable error level) parameters are determined for the tracking exploration net (assaying of drill cuttings of each hole in a drilling-and-blasting block) and advanced operational exploration net (size 25×12.5–13 m).

Key words: apatite–shtafellite deposit, phospholic anhydride, carbonate content modulus, advanced and tracking exploration, geometry and density of assaying net, mine planning.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-118-131

REFERENCES

1. Alekseev N.F. Problema geologo-promyshlennoy otsenki rudnykh mestorozhdeniy [Problem of commercial geological evaluation of ore deposits], *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*. 1988, no 6, pp. 53–59. [In Russ].
2. Volkov Yu.I., Seryy S.S., Dunaev V.A., Gerasimov A.V. GIS GEOMIKS dlya gornoy promyshlennosti Rossii i Kazakhstana [GIS GEOMIX for the mining industry of Russia and Kazakhstan], *Gornyy zhurnal*. 2015, no 5, pp. 8–13. [In Russ].
3. Dremina M.F., Pestrikov A.A. Kovdorskoe mestorozhdenie apatit-shtaffelitovykh rud: stroenie, genezis, sostav [Kovdor apatite–shtafellite deposit: Structure, genesis, composition]. *Aktual'nye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severa-Zapada Rossii. Trudy XXIV molodezhnoy nauchnoy konferentsii*. Apatity, 2013, pp. 14–18. [In Russ].
4. Dunaev V.A., Yanitskiy E.B. Rudokontroliruyushchie faktory, osobennosti razmeshcheniya i stepen' izmenchivosti orudneniya Kovdorskogo apatit-frankolitovogo mestorozhdeniya [Ore-controlling factors, occurrence and variability of mineralization at the Kovdor apatite–francolite deposit], *Nauchnye vedomosti BelGU. Estestvennyye nauki*. 2013, no 7 (160), issue 24, pp. 140–147. [In Russ].
5. Kazhdan A.B. *Poiski i razvedka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh. Proizvodstvo geologorazvedochnykh rabot*: Uchebnik dlya vuzov [Mineral prospecting and exploration. Geological exploration: Textbook for high schools], Moscow, Nedra, 1985, 288 p.
6. Kazhdan A.B. O matematicheskom opisaniy izmenchivosti geologorazvedochnykh parametrov rudnykh zalezhey [Mathematical description of variability of geological exploration parameters at ore deposits]. *Matematicheskie metody v geologii*, Moscow, Nedra, 1968, pp. 92–99.
7. Kallistov P.L. Izmenchivost' orudneniya i plotnost' nablyudeniy pri razvedke i oprobovaniy [Mineralization variability and observation density in exploration and assaying], *Sovetskaya geologiya*. 1956, no 53, pp. 118–131. [In Russ].
8. Lebedev G.V. Metody opredeleniya parametrov sistem oprobovaniya [Methods to determine parameters of assaying systems], *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 2007, no 4 (9), pp. 76–90. [In Russ].
9. Smirnov V.I. O plotnosti razvedochnoy seti [Exploration net density], *Sovetskaya geologiya*. 1957, no 58, pp. 150–162. [In Russ].
10. Chetverikov L.I. Otsenka anizotropii geologicheskikh ob'ektov [Estimation of anisotropy of geological objects], *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya*. 2000, no 9, pp. 26–31. [In Russ].
11. Chetverikov L.I. *Teoreticheskie osnovy razvedki nedr* [Theoretical framework of subsoil exploration], Moscow, Nedra, 1984, 156 p.
12. Nikulin V.M., Bykhovets A.N. Otsenka stepeni razvedannosti i izmenchivosti orudneniya Kovdorskogo apatit-shtaffelitovogo mestorozhdeniya [Estimating extent of exploration and variability of mineralization at the Kovdor apatite–shtafellite deposit], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008, no 3, pp. 85–90. [In Russ].
13. Yanitskiy E.B., Dunaev V.A. Obosnovanie metodiki ekspluatatsionnogo oprobovaniya apatit-shtaffelitovykh rud Kovdorskogo mestorozhdeniya [Validation of operational assaying procedure for apatite–shtafellite ore of the Kovdor deposit], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 3, pp. 87–97. [In Russ].
14. Yanitskiy E.B., Dunaev V.A. Optimal'noe chislo eksperimental'nykh skvazhin dlya obosnovaniya metodiki shlamovogo oprobovaniya pri otkrytoy dobyche mineral'nogo syr'ya [Optimal number of experimental holes for substantiation of drill cuttings assaying procedure in open pit mineral mining], *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*. 2015, no 3, pp. 69–72. [In Russ].
15. Monyiguy R.R. Operational aspects of the Granisle. *Canadian Mining and Metallurg Bulletin*, 1974, 64, N708, pp. 67–69.
16. Tournel A.G., Sous H. Ore-grade control in subhorizontal deposits. *Trans. Inst. Mining and Metals*, 1974, A 83, 1st part, pp. 79–84.
17. Killin A.P., *Copper Canadian Mining Journal*, 1970, 91, No 2, p. 14.
18. Aarcross Misaon at increased production capacity. *Skillsings' Mining Review*, 1968, 57, No 51, pp. 10–11.

