

Лаптев Юрий Викторович

доктор технических наук,
зав. лабораторией управления качеством
минерального сырья (УКР)
Институт горного дела УрО РАН
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина - Сибиряка, 58
e-mail: ukr07@mail.ru

Яковлев Андрей Михайлович

младший научный сотрудник
лаборатории УКР
Институт горного дела УрО РАН,
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина - Сибиряка, 58
e-mail: krissey-puh@yandex.ru

Титов Роман Сергеевич

младший научный сотрудник
лаборатории УКР
Институт горного дела УрО РАН
620219, г. Екатеринбург,
ул. Мамина - Сибиряка, 58
e-mail: titovrs@mail.ru

**МЕТОДИКА ГЕОМЕТРИЗАЦИИ
КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГУСЕВОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД***

Аннотация:

В статье приведена методика геометризации качественных характеристик Гусевогорского месторождения титаномагнетитовых руд с применением геоинформационного обеспечения для повышения эффективности выделения технологических типов полезного ископаемого с целью повышения извлечения ценных компонентов

Ключевые слова: управление качеством, геометризация, геоинформационное обеспечение, Surpac, титаномагнетитовые руды, Гусевогорское месторождение

Laptev Yuriy V.

doctor of technical sciences,
the Head of the laboratory
of mineral raw materials quality control
the Institute of Mining UB RAS (IM UB RAS),
620219, Yekaterinburg,
Mamin – Sibiryak st., 58
e-mail: ukr07@mail.ru

Yakovlev Andrey M.

junior researcher, the laboratory
of mineral raw materials quality control
the Institute of Mining UB RAS (IM UB RAS)
620219, Yekaterinburg,
Mamin – Sibiryak st., 58
e-mail: krissey-puh@yandex.ru

Titov Roman S.

Junior Researcher,
the laboratory
of mineral raw materials quality control,
the Institute of Mining UB RAS (IM UB RAS)
620219, Yekaterinburg, Yamin – Sibiryak st., 58
e-mail: titovrs@mail.ru

**THE PROCEDURE OF GEOMETRIZATION
QUALITATIVE CHARACTERISTICS
OF TITANIUM-MAGNETITE ORES IN
GUSEVOGORSKY DEPOSIT**

Abstract:

The procedure of geometrization qualitative characteristics of titanium-magnetite ores in Gusevogorsky deposit using geo-informational software for increasing the efficiency of allocation technological types of minerals for the purpose of rising the recovery of valuable components is cited in the article

Keywords: Quality management, geometrization, GIS software, Surpac, titanium- magnetite ores, the Gusevogorsky deposit

Отработка Гусевогорского месторождения титаномагнетитового сырья началась в конце 50-х годов XX века. Проект разработки месторождения предполагал извлечение титаномагнетитовой руды в промышленных масштабах. Извлечение титана и ванадия в добываемых рудах Качканарского ГОКа до настоящего времени было неактуальным. Сейчас возросла потребность в титане и ванадии, которые являются стратегическим сырьем для металлургических предприятий России. Таким образом, актуальной задачей горнопромышленного комплекса страны стало повышение извлечения этих элементов в

* Исследования проведены при выполнении конкурсного проекта фундаментальных исследований УрО РАН 12-Т-5-1021

разрабатываемых месторождениях. Работы по геометризации качественных характеристик руд с выделением технологических типов не проводились с момента окончания строительства ОАО «ЕВРАЗ КГОК». За период эксплуатации предприятия соотношение типов руд в рудопотоках из карьеров значительно изменилось по сравнению с заложенными проектом качественными показателями добываемого сырья.

Выделение технологических типов полезного ископаемого на основе лабораторных и геофизических исследований химического состава титаномагнетитовых руд и геометризация качественных характеристик в карьерах ОАО «ЕВРАЗ КГОК» является важным для повышения эффективности управления качеством минерального сырья в карьере и извлечения полезных компонентов при обогащении. Таким образом, изучение особенностей распределения химического состава титаномагнетитовых руд в недрах для их эффективного обогащения, разработка технологии добычи и рудоподготовки на основе геометризации и опытно-промышленных исследований является актуальной научной задачей, имеющей важное практическое значение.

При этом наиболее важны два следующих аспекта:

- выбор направления развития и последовательности формирования фронта горных работ с целью выделения участков селективной разработки отдельных рабочих горизонтов (блоков);

- обоснование технологических параметров усреднения в схемах рудоподготовки с целью выделения рудных потоков, требующих особых режимов обогащения для получения концентрата с требуемыми соотношениями по содержанию в них железа, титана и ванадия.

Рудные минералы на Гусевогорском месторождении представлены титаномагнетитом, ильменитом, пиритом, гематитом, халькопиритом и пирротинном. Самородная платина в рудах образует мелкие (менее 0,1 мм) зерна неправильной формы, в которых отмечаются редкие тонкие пластинки осмистого иридия и решетчатые выделения палладия. Из нерудных минералов присутствуют пироксен, оливин, роговая обманка, серпентин, хлорит, плагиоклаз, апатит и шпинель. Руды месторождения по текстурным особенностям подразделяются на сплошные и вкрапленные. Сплошные руды развиты весьма ограниченно, а вкрапленные составляют главную массу и подразделяются на средне-, мелко-, тонко- и дисперсно-вкрапленные.

По химическому составу руды месторождения относятся к малотитанистым ванадийсодержащим железным рудам с очень низким содержанием вредных примесей (серы и фосфора). По содержанию железа руды подразделяются на богатые, содержащие более 20 % железа, средние с содержанием железа 16 – 20 %, бедные 14 – 16 % и убогие (некондиционные) 10 – 14 %. Прослой пустых пород и некондиционных руд имеют такой же минеральный состав, что и руды, лишь содержание железа в них резко уменьшается, а влияние их на качество добываемых руд сводится к снижению содержания железа на 0,1 – 0,2 %. Ванадий в рудах самостоятельных минералов не образует, он представлен изоморфной примесью в титаномагнетите, ильмените и других минералах силикатной основы руд. Содержание двуокиси титана в среднем по месторождению составляет 1,17 % при колебаниях от 0,43 до 1,88 %. Титан находится в рудах в форме ильменита и продуктов его изменения в виде твердого раствора в титаномагнетитах и в виде изоморфной примеси в силикатах. С титаномагнетитом связано около 40 % двуокиси титана, с ильменитом и силикатами по 30 %. Исследованиями геологической службы ОАО «ЕВРАЗ КГОК» установлено, что качество руд с глубиной не изменяется и железо имеет весьма равномерное распределение. Полный химический состав сырой руды Главного карьера и карьера Южная залежь приведен в табл. 1.

По характеристикам минерального состава, текстурным и структурным особенностям вкрапленные титаномагнетитовые руды месторождения делятся на три технологических сорта: нормальнообогатимые (содержание железа в магнитной фракции 62,5 %

и более), труднообогатимые, содержащие 62,5 – 60,0 % железа и весьма труднообогатимые – верлиты и полностью серпентинизированные оливиновые пироксениты, содержащие менее 60,0 % железа.

Нормальнообогатимые руды, не затронутые серпентинизацией, имеют типичную сидеронитовую структуру. По технологическим свойствам они обеспечивают получение концентрата с содержанием железа 61,0 – 63,0 % (при измельчении до крупности 80,0 – 85,0 % класса 0,074 мм).

Труднообогатимые несерпентинизированные руды по текстурным критериям соответствуют дисперсно- и тонковкрапленной разновидности. Труднообогатимые серпентинизированные разновидности отличаются наличием серпентина и вторичного дисперсного магнетита. При разных условиях по производительности и крупности измельчения из труднообогатимых руд получают концентраты с содержанием железа не более 60,0 %.

Таблица 1

**Химический состав сырой титаномагнетитовой руды
Главного карьера и карьера Южной залежи**

Наименование компонентов	Содержание компонентов в сырой руде, %	
	Главный карьер	Карьер Южной залежи
Железо (валовое)	16,09	16,50
Закись железа	7,77	7,97
Окись железа	14,37	14,73
Кремнезём	39,79	39,68
Глинозём	6,74	6,59
Окись кальция	15,79	15,43
Окись магнаия	12,01	12,04
Окись марганца	0,14	0,14
Пятиокись ванадия	0,16	0,15
Двуокись титана	1,26	1,26
Фосфор	0,02	0,02
Сера	0,02	0,02
Пятиокись хрома	0,05	0,05
Итого	100,00	100,00

Весьма труднообогатимые руды (верлиты рудные) характеризуются наиболее низкими показателями обогащения. Содержание железа в магнитной фракции 52,0 – 60,0 % (при снижении производительности в 1,5 раза), а в немагнитной, в отличие от других сортов, оно составляет 8,2 %, достигая в отдельных случаях 13,0 %.

Геометризация Гусевгорского месторождения, проведенная ИГД УрО РАН, выполнена на основе информационной базы данных детальной разведки, представленных в формате Microsoft Access, и поперечных разрезов по Главному карьере. Фрагмент таблицы исходных данных представлен на рис. 1.

hole_id	hole_path	max_depth	n_raz	x	y	z	Добавить поле
1	CURVED	140,7 I-S		3079,89	7126,84	307,2	
10	CURVED	145,7 III-S		3270,21	6977,58	282,8	
100	CURVED	123,5 V-N		3633,71	7606,82	280,52	
1000	CURVED	56 XII-XIII-N		3770	8346	320,3	
1001	CURVED	55 XII-XIII-N		3812	8352	314,5	
1002	CURVED	53 XII-XIII-N		3858	8353	310,1	
1003	CURVED	54,7 XII-N		3791	8302	318,7	
1004	CURVED	40 XII-XIII-N		3900	8344,5	306,4	
1005	CURVED	111,5 IX-X-N		3493	8061	388	
1006	CURVED	41 XIII-N		3913	8396	301,1	
1007	CURVED	40,7 XII-N		3936	8288	304,6	
1008	CURVED	149 IX-X-N		3451,84	8048,28	381,6	
1009	CURVED	41,5 XI-XII-N		3927	8236	310	
101	CURVED	144,75 V-N		3732,73	7599,23	279,03	
1010	CURVED	45,2 XII-N		3894	8291	309,5	
1011	CURVED	46,4 XI-XII-N		3878	8243	312,6	
1012	CURVED	54 XI-XII-N		3828	8248	316,5	
1013	CURVED	59,4 XI-XII-N		3780	8256	324,4	
1014	CURVED	63 XII-XIII-N		3705,5	8353,6	326	
1015	CURVED	64,3 XI-XII-N		3738,2	8254,5	330	
1016	CURVED	71,3 XII-XIII-N		3653,1	8357	335	
1017	CURVED	66,7 XII-N		3692,1	8303	331	
1018	CURVED	86,3 XIII-N		3593,6	8411,7	351	
1019	CURVED	81 XII-XIII-N		3603,1	8359,1	345	
102	CURVED	147,35 V-N		3833,25	7594,48	282,88	
1020	CURVED	170,1 XII-N		3644,5	8306,1	339	
1021	CURVED	83 XII-N		3593,2	8308,6	348	
1024	CURVED	86,9 XI-XII-N		3585,2	8263	352	
1025	CURVED	76,5 XI-XII-N		3681,2	8256	338,9	
1026	CURVED	80 XI-XII-N		3631,2	8258	346,5	
1027	CURVED	80 XI-N		3690	8212	342	
1028	CURVED	75,5 XI-N		3797	8203	326	
1029	CURVED	61 X-XI-N		3830	8142	322	
103	CURVED	153,1 V-N		3935,15	7588,84	291,12	
1030	CURVED	71 X-XI-N		3780	8148	330	

Рис. 1 – Фрагмент таблицы исходных данных детальной разведки

Данные детальной разведки (см. рис. 1) предварительно подготовлены в формате, необходимом для обработки геологической информации в программных комплексах Gemcom Surpac [1] и Datamine [2]. В таблицах содержится следующая информация: название скважины, ее координаты, высотная отметка устья скважины, номер геологического разреза, которому она принадлежит, данные интервального опробования, глубина скважины, данные инклинометрии (наклон и азимут). Средняя длина скважин детальной разведки 111 м, количество скважин детальной разведки 1365, расстояние между скважинами 20 – 50 м.

Геометризация месторождений – изображение на графиках структурных и качественных особенностей месторождений полезных ископаемых, что включает изучение, систематизацию и математическую обработку морфологических особенностей залежей полезных ископаемых, выяснение основных закономерностей и характера размещения полезных и вредных компонентов внутри рудных тел [3]. Методика геометризации состояла в следующем:

- произведена отсечка «ураганных» (больше или меньше среднего в два и более раз) и ошибочных значений подготовленных исходных данных (см. рис. 1);
- выполнено приведение интервалов опробования к равным значениям (рис. 2);
- произведено создание и импортирование исходных данных в таблицы ПО Surpac (assey – данные опробования, collar – данные о скважинах, survey - инклинометрия);
- произведено создание «геологической базы данных» в ПО Surpac, выделение «композигов» (оцифрованные интервалы по скважинам в виде стринг файла (рис. 3);

– выполнено формирование усредненных интервалов опробования для статистического анализа с целью выделения зон повышенного/пониженного содержания железа, титана и ванадия на основе базы данных детальной разведки (табл. 2);

– построены графики изолиний содержания железа, титана, ванадия в магнитной фракции по Главному карьеру (рис. 4 – 6);

– построена блочная модель горизонта +55 м с выделением в каждом блоке содержания железа, титана и ванадия.

Произведенный статистический анализ по трем карьерам ОАО "ЕВРАЗ КГОК" позволил выделить зоны с повышенным и пониженным содержанием титана, ванадия. Дальнейшим этапом являлось построение изолиний по содержанию основных элементов и нанесение зон на горизонтах. На рис. 4 – 6 показаны зоны с повышенным и пониженным содержанием железа, титана и ванадия на горизонте +55 м.

Значения кондиционных содержаний TiO_2 и V_2O_5 корреляционно связаны с кондиционными содержаниями $Fe_{общ}$, установленными практикой работы предприятия ОАО «ЕВРАЗ КГОК» (см. табл. 2).

Установлено, что на месторождении распределения содержания компонентов, построенные по всем рудным телам (залежам), не характеризуют распределения содержаний в отдельных блоках рудных тел этого месторождения. Так, два рудных блока на одном и том же месторождении с различным среднеблочным содержанием имеют одинаковый закон распределения, но разные его параметры. При асимметричном характере распределения стандарт отклонения и среднеблочное значение показателей связаны стохастической зависимостью.

№	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	№ скважины	Y	X	Z	Fe в руде, %	Ti в исходной руде, %	V в исходной руде, %	Fe в магнитной фракции, %	Ti в магнитной фракции, %	V в магнитной фракции, %	Fe в хвостах, %
2	703	8806,512	1646,628	130	12,381	1,108	0,093				
3	702	8811,261	1466,317	130	16,757	1,525	0,171				
4	701	8815,079	1238,481	130	15,892	1,377	0,154				
5	700	8819,654	1053,735	130	17,383	1,426	0,171				
6	699	8829,974	867,87	130	21,045	1,033	0,122				
7	592	8620,043	1133,568	130	11,48	0,98	0,073				
8	591	8630,434	907,253	130	14,312	1,456	0,128				
9	590	8640,021	701,983	130	19,027	1,133	0,157				
10	588	8507,47	1146,8	130	15,702	1,309	0,157				
11	587	8515,43	947,25	130	18,719	1,488	0,185				
12	586	8524,42	749,99	130	16,113	1,303	0,129				
13	585	8712,81	1313,19	130	15,506	1,047	0,163				
14	584	8721,21	1120,76	130	14,408	1,316	0,156				
15	583	8730,29	919,7	130	20,137	1,383	0,17				
16	582	8739,73	719,8	130	21,787	1,397	0,191				
17	580	8789,7	1766,2	130	15,181	1,079	0,146				
18	579	9023,87	840,09	130	15,91	1,1	0,152				
19	578	8006,69	719,31	130	12,2	1,35	0,1				
20	577	8208,08	773,81	130	13,633	1,369	0,12				
21	576	8219,15	575,13	130	13,924	1,493	0,136				
22	575	8927,75	1162,29	130	19,586	1,507	0,186				
23	574	9131,48	1044,22	130	14,753	0,785	0,145				
24	573	9021,72	1208,65	130	9,631	0,676	0,049				
25	572	9027,37	994,04	130	15,323	0,947	0,133				
26	570	9232,45	1071,14	130	15,143						
27	566	9201,36	1476,34	130	7,012	0,725	0,07				
28	561	9215,89	1279,91	130	14,596	1,02	0,146				
29	560	8798,67	1569,91	130	14,38	1,225	0,137				
30	557	8412,55	651,03	130	17,838	1,371	0,169				
31	556	8604,95	1465,37	130	16,298	1,31	0,18				
32	555	8404,67	850,29	130	20,234	1,453	0,196				
33	553	8832,93	778,4	130	27,272	1,87	0,28				
34	552	8643,69	643,12	130	15,703	1,172	0,158				
35	5220	8810,5	1340,1	130	15,164	1,308	0,156				
36	5219	8814,8	1286,5	130	16,295	1,322	0,173				
37	5218	8973,7	1110,3	130	13,248	0,973	0,123				
38	5217	8856,7	1320,8	130	12,5	1,238	0,142				
39	5216	8708,1	1337,3	130	16,161	1,33	0,169				

Рис. 2 – Фрагмент таблицы обработанных данных детальной разведки

Контакты рудных и нерудных зон месторождения относительно железа (Fe) не имеют четких границ, которые можно установить только химическим анализом с последующей оценкой полученных распределений содержания этого компонента. Распределение титана (Ti) и ванадия (V) в массиве имеет еще более расплывчатые границы относительно рудных и породных зон.

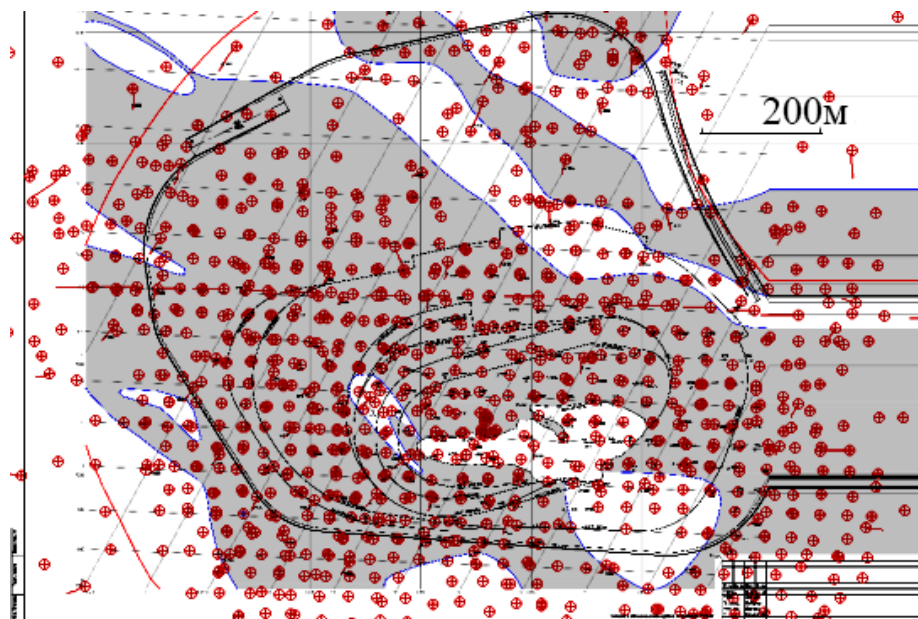


Рис. 3 – Геологическая база Surpas на подложке гор +55 м

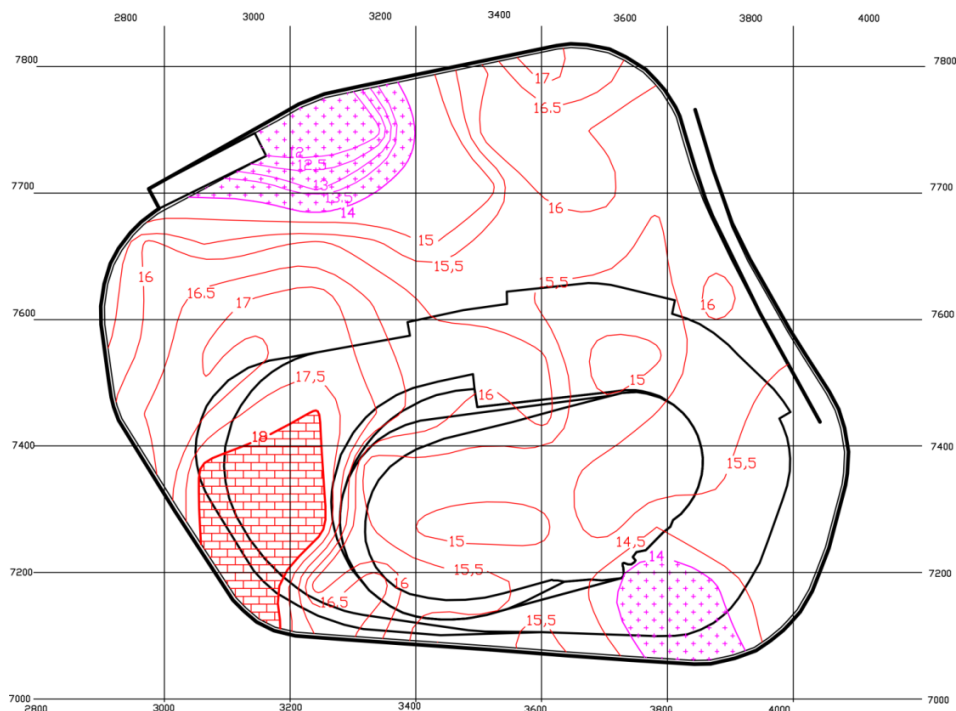
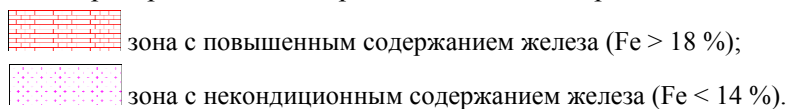


Рис. 4 – Зональность распределения содержания железа на гор. +55 м Главного карьера



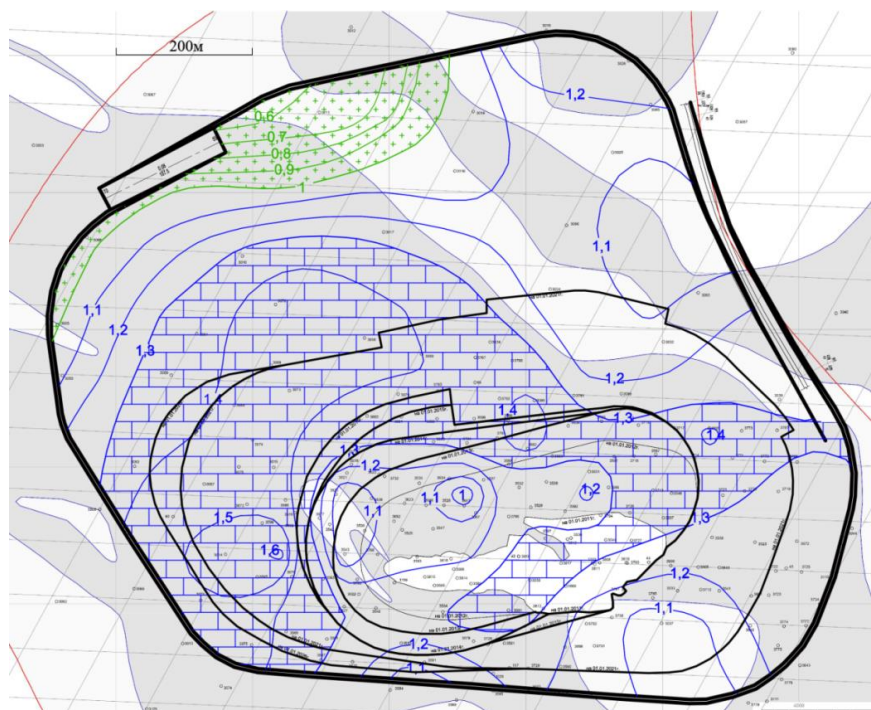


Рис. 5 – Зональность распределения содержания титана на гор. +55 м Главного карьера

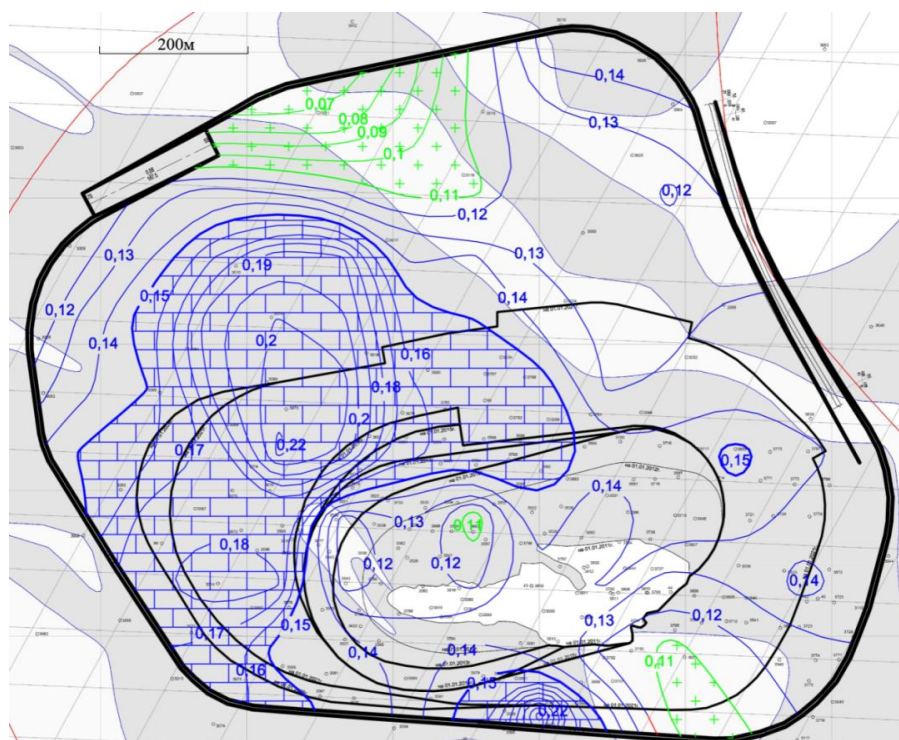
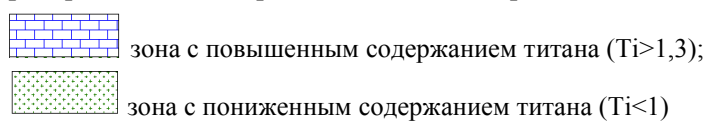


Рис. 6 – Зональность распределения содержания титана на гор. +55 м Главного карьера

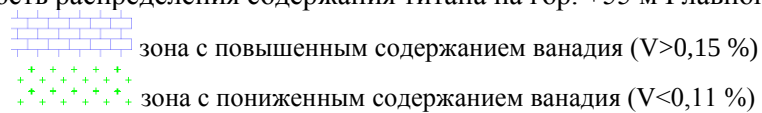


Таблица 2

Статистический анализ данных детальной разведки по карьерам ОАО «ЕВРАЗ КГОК»

Карьер	Элемент	Среднее значение	Стандартное отклонение	Коэффициент корреляции	Уравнение регрессии
Главный	Fe	15,8	3,22	Fe - Ti = 0,74	$Ti = 0,0845Fe - 0,1578$ $R^2 = 0,5486$ $Fe(14-18\%) \sim Ti(1,02-1,36\%)$
	Fe (mg)	62,9	4,34	Fe-Fe(mag) = 0,24	-
	Ti	1,18	0,37	Ti-V = 0,82	$Ti = 0,113V - 0,003$ $R^2 = 0,6696$ $Ti(1,02-1,36\%) \sim V(0,11-0,13\%)$
	V	0,13	0,05	Fe-V = 0,71	$V = 0,0109Fe - 0,0419$ $R^2 = 0,5091$ $Fe(14-18\%) \sim V(0,11-0,15\%)$
Северный	Fe	14,16	3,43	Fe-Ti = 0,69	$Ti = 0,0743Fe - 0,1094$ $R^2 = 0,487$ $Fe(14-18\%) \sim Ti(0,93-1,28\%)$
	Fe(mg)	63,35	3,93	Fe-Fe(mag)= 0,35	-
	Ti	0,99	0,36	Ti - V= 0,92	$V = 0,1185Ti - 0,0083$ $R^2 = 0,8468$ $Ti(0,93-1,28\%) \sim V(0,10-0,14\%)$
	V	0,1	0,04	Fe-V =0,68	$V = 0,0092Fe - 0,0264$ $R^2 = 0,4687$ $Fe(14-18\%) \sim V(0,1-0,13\%)$
Западный	Fe	15,6	2,74	Fe-Ti = 0,67	$Ti = 0,0583Fe + 0,2603$ $R^2 = 0,4515$ $Fe(14-18\%) \sim Ti(1,07-1,3\%)$
	Fe(mg)	63,6	2,23	Fe-Fe(mag) = 0,12	-
	Ti	1,17	0,24	Ti-V = 0,65	$V = 0,1191Ti + 0,011$ $R^2 = 0,5805$ $Ti(1,07-1,3\%) \sim V(0,13-0,16\%)$
	V	0,15	0,037	Fe-V = 0,82	$V = 0,0111Fe - 0,0231$ $R^2 = 0,6688$ $Fe(14-18\%) \sim V(0,13-0,18\%)$

Результаты проведенного статистического анализа распределения полезных компонентов горного массива Главного карьера представлены интегральными (а) и дифференциальными (б) кривыми на рис. 7 – 9.

Методика геометризации качественных характеристик титаномагнетитовых руд в карьере ОАО «ЕВРАЗ КГОК» представлена в виде блок-схемы на рис. 10.

Развитием предложенной методики является геометризация комплексного показателя обогатимости, который бы кроме химического состава учитывал данные текстур и структур руд. На основе полученной методики возможно выделение участков, перспективных для разработки в плане и по глубине, а также производство календарного планирования объемов добычи с решением задачи стабилизации качества полезного ископаемого.

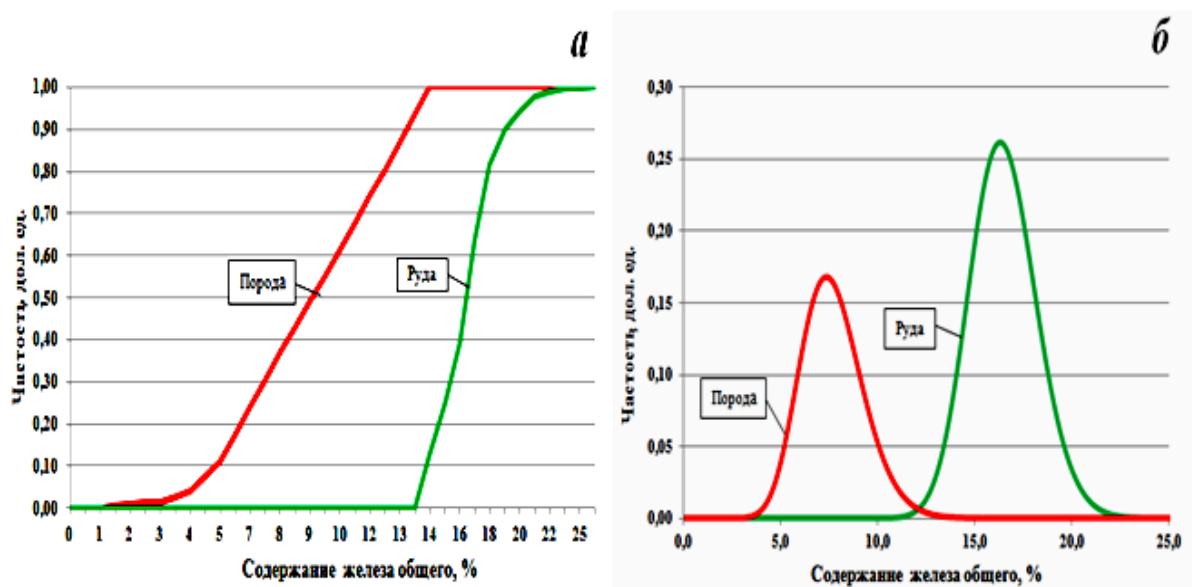


Рис. 7 – Распределение содержания железа общего $Fe_{общ}$ в рудной массе Главного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК»:
а – интегральная кривая распределения;
б – дифференциальная кривая распределения

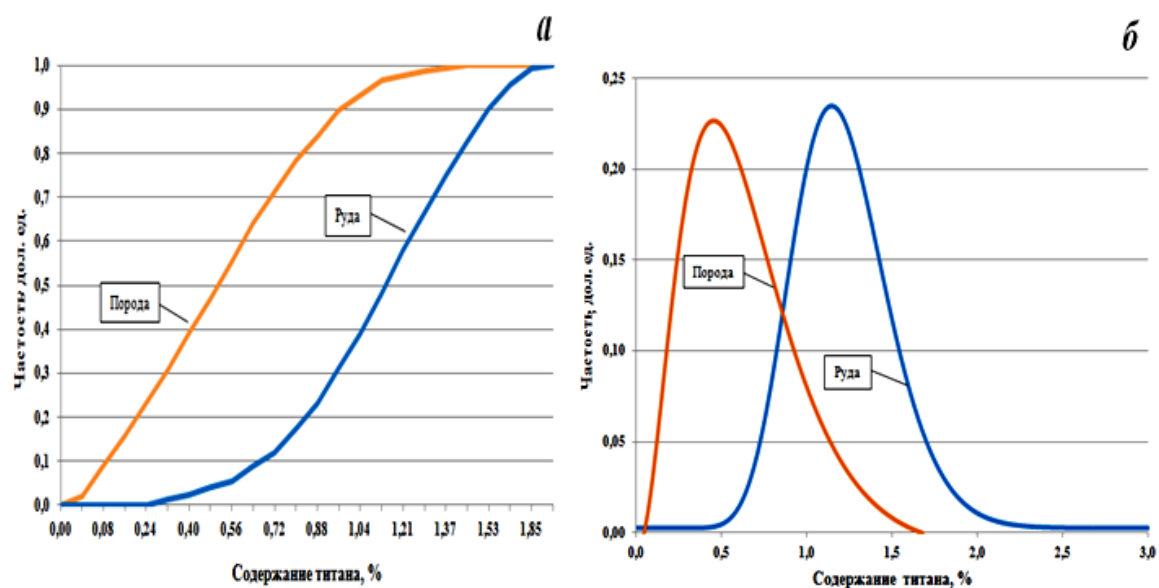


Рис. 8 – Распределение содержания титана Ti в рудной массе Главного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК»:
а – интегральная кривая распределения;
б – дифференциальная кривая распределения

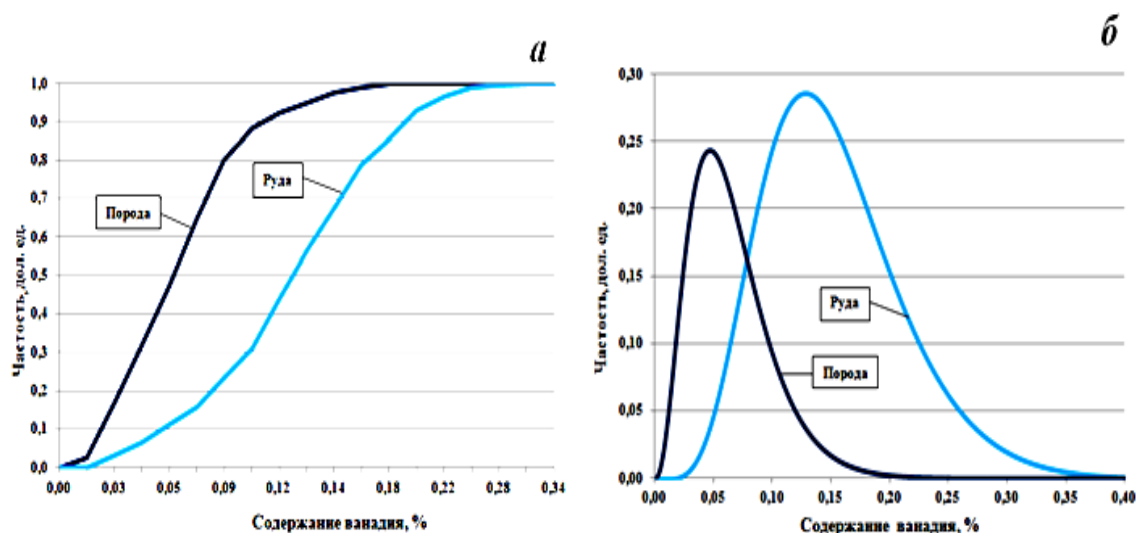


Рис. 9 – Распределение содержания ванадия в рудной массе
Главного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК»:

а – интегральная кривая распределения;
б – дифференциальная кривая распределения

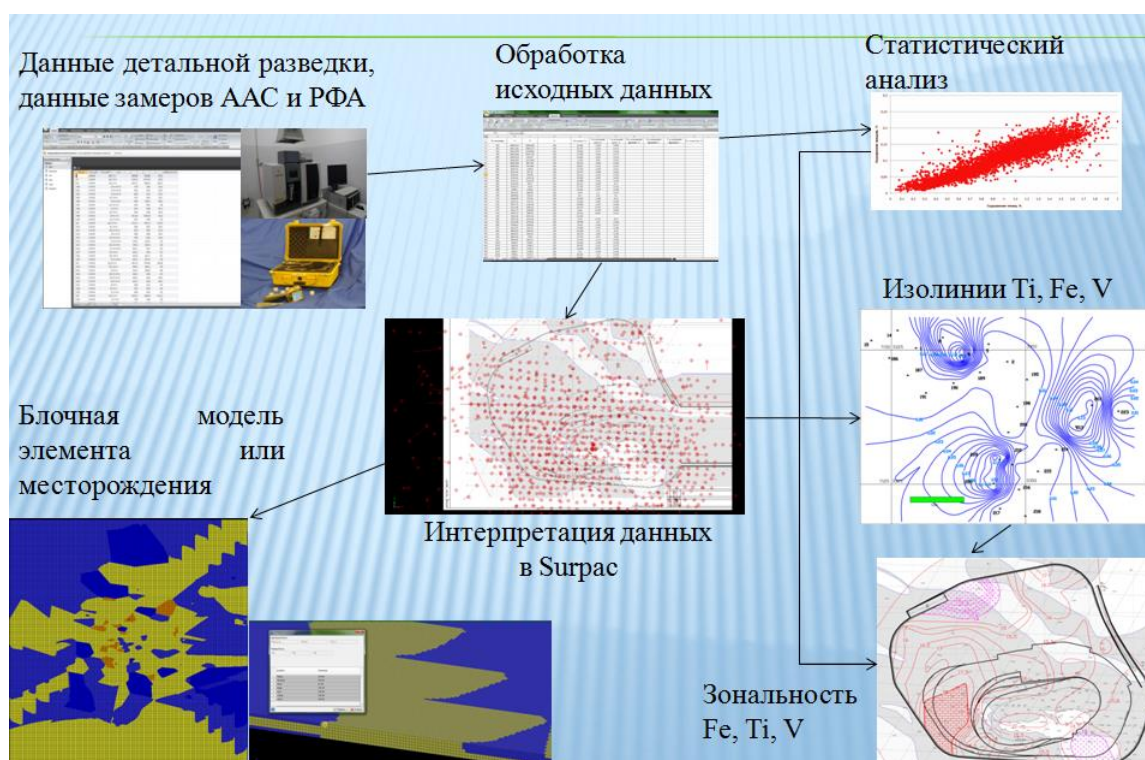


Рис. 10 – Блок-схема методики геометризации качественных характеристик
титаномагнетитовых руд в карьере ОАО «ЕВРАЗ КГОК»

На основе анализа геоинформации в карьерах ОАО «ЕВРАЗ КГОК» получены закономерности распределений качественных показателей титаномагнетитовых руд, которые позволяют сделать следующие выводы:

1. Существующие различия качественных характеристик руд и пород на Главном, Западном и Северном карьерах (в относительных величинах 38 – 50 %) позволяют в пер-

спективе использовать способы избирательного дробления, взрывания и разработать эффективную технологию рудоподготовки и предобогащения рудного материала в карьере на основе применения грохотильных схем.

2. Разработанная методика геометризации качественных показателей минерального сырья на ОАО «ЕВРАЗ КГОК» с использованием программных средств обработки геологических данных (Surpac) позволяет выделять зоны добываемой руды с повышенными содержаниями железа, титана и ванадия, являющихся стратегическим сырьем. Выполненный анализ и геометризация геоданных месторождения позволяют выделить технологические типы руд в карьере для управления их качеством и обоснования более эффективного обогащения.

3. Установленные технологические типы руд, требующие особых режимов обогащения, позволяют планировать последовательность формирования рабочей зоны карьеров с выделением участков и блоков селективной разработки и последующего усреднения в процессе рудоподготовки к обогащению.

Литература

1. Geovia. Mining Software Solutions [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ru.gemcomsoftware.com/node/17>
2. CAE. Mining [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cae.com/mining/>
3. Букринский В.А. Геометрия недр / В.А. Букринский. - М.: Недра, 1985.