

УДК 622.013:658.562.64:553.042]:004.94

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.170

**Кантемиров Валерий Данилович**

кандидат технических наук,  
заведующий сектором управления  
качеством минерального сырья,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075 г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [ukrkant@mail.ru](mailto:ukrkant@mail.ru)

**Kantemirov Valery D.**

candidate of technical sciences,  
the head of the sector of mineral resources  
quality management,  
The Institute of Mining UB RAS  
620075, Yekaterinburg,  
58 Mamin-Sibiryak st.  
E-mail: [ukrkant@mail.ru](mailto:ukrkant@mail.ru)

**Яковлев Андрей Михайлович**

научный сотрудник  
сектора управления качеством  
минерального сырья,  
Институт горного дела УрО РАН

**Yakovlev Andrew M.**

researcher,  
the sector of mineral resources  
quality management,  
The Institute of Mining UB RAS

**Титов Роман Сергеевич**

научный сотрудник  
сектора управления качеством  
минерального сырья,  
Институт горного дела УрО РАН

**Titov Roman S.**

researcher,  
the sector of mineral resources  
quality management  
The Institute of Mining UB RAS

**ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ВОПРОСОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ\*****COMPUTER SIMULATION  
POTENTIALITIES FOR SOLVING  
QUESTIONS OF MINERAL RESOURCES  
QUALITY MANAGEMENT***Аннотация:*

*В статье изложена ретроспектива применения компьютерного моделирования качественных особенностей месторождений твердых полезных ископаемых сотрудниками лаборатории, а затем и сектором управления качеством минерального сырья ИГД УрО РАН. Использовались материалы исследований по Эльгинскому месторождению каменного угля, Шеинскому месторождению известняков, а также решения задач геометризации на карьерах Качканарского ГОКа. Приведены методики геометризации и программные продукты для решения задач компьютерного моделирования.*

*Abstract:*

*In the article the retrospective review of computer simulation high-quality features of hard minerals deposits is set forth by laboratory staff and then by the sector of mineral resources quality management, the IM UB RAS. Materials of researches at the Elginsky coal deposit, Sheinsky limestone deposit were used as well as solving geometrization problems in the Kachkanar open pit.. The procedures of geometrization and software products for solving computer simulation problems are cited.*

*Ключевые слова: управление качеством, геометризация, моделирование, ГИС технологии, Surpac, титаномагнетитовая руда, уголь, известняк, Гусевогорское и Эльгинское месторождения*

*Key words: quality management, geometrization, modeling, GIS software, Geovia Surpac, titan-magnetite ore, coal, limestone, Gusevogorsky and Elginsky deposits*

В настоящее время геоинформационные технологии широко используются при решении научно-исследовательских задач и проектировании разработки месторождений. Они позволяют оперативно произвести предварительную геолого-технологическую оценку месторождения полезного ископаемого с последующим моделированием условий его залегания, качественных показателей для обоснования выбора места вскрытия месторождения и определения оптимальных параметров развития горных работ, выбора основного горнотранспортного оборудования и режимов его работы.

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

Вопросами геометризации и моделирования месторождений для решения вопросов стабилизации качественных показателей, а также обеспечения непрерывного грузопотока заданного качества занимались в ИГД УрО РАН еще с 70-х годов 20 века. Решению этих вопросов посвятили свои труды такие ученые, как В.Л. Яковлев, С.В. Корнилов, П.П. Бастан, В.С. Хохлаков и др.

ИГД УрО РАН в период с 2008 по 2015 г. выполнил ряд научно-исследовательских работ по моделированию месторождений полезных ископаемых с использованием геоинформационных систем (ГИС).

В 2009 году был разработан технический регламент на обработку Эльгинского месторождения каменного угля (Якутия), произведена геометризация угольных пластов по определяющим качественным показателям (зольности ( $A_d$ ) и пластичности ( $Y$ )) с заданными ограничивающими условиями, представляющими 3 ряда соотношений показателей  $A_d$  и  $Y$ . Основой получения исходных данных для геометризации послужили геологические карты и разрезы детальной разведки Эльгинского месторождения, документация опробования скважин детальной разведки, планы подсчета запасов, координаты скважин, структурные колонки скважин по пластам. Исходные данные сводились в таблицу ПО Excel (рис. 1), где средневзвешенные показатели зольности и пластичности были рассчитаны с помощью написанных на Delfi приложений, общее количество исходных данных превысило 300 тыс. единиц геологической информации.

Пласты	№ скважин	Интервалы пласта			Интервал породного пропластка			Зольность		Физ. хим. Свойств		Разрез	X	Y	ZU	O3	ПП
1	2	Кровля	Почва	Мощность	Кровля	Почва	Мощность	уголь пласт	пропласток	Vdaf	Y	13	14	15	16	17	18
H15B	102	90.5	92.1	1.6				31.7		35	39	A	210888.3	290925.3			
ОМ H15B	102											A	210888.3	290925.3	31.7	31.7	39
H15	102	112.95	113.35	0.4	113.35	113.5	0.15	21.2	80.8	35	39	A	210888.3	290925.3			
H15	102	113.5	114.25	0.75	114.25	114.45	0.2	21.2	70.9	35	39	A	210888.3	290925.3			
H15	102	114.45	114.85	0.4	114.85	115	0.15	24.5	63.8	36	38	A	210888.3	290925.3			
H15	102	115	115.25	0.25	115.25	115.4	0.15	37.3	80.8	36	38	A	210888.3	290925.3			
H15	102	115.4	115.8	0.4	115.8	116	0.2	37.3	82.5	36	38	A	210888.3	290925.3			
H15	102	116	116.45	0.45	116.45	116.55	0.1	22.7	80.8	35	38	A	210888.3	290925.3			
H15	102	116.55	116.65	0.1	116.65	116.8	0.15	22.7	80.8	34	34	A	210888.3	290925.3			
H15	102	116.8	117.55	0.75				22.7		34	34	A	210888.3	290925.3			
ОМ H15	102											A	210888.3	290925.3	25.12	37.53	37
H15B	1002	143.05	144.45	1.4				22.6		35	34	A	210645.6	291056.2			
ОМ H15B	1002											A	210645.6	291056.2	22.6	22.6	34
H15	1002	162.65	163.65	1	163.65	163.75	0.1	23.9	80.5	37	43	A	210645.6	291056.2			
H15	1002	163.75	164.6	0.85	164.6	164.75	0.15	24.7	80.8	37	43	A	210645.6	291056.2			
H15	1002	164.75	165.7	0.95				39.8		37	43	A	210645.6	291056.2			
ОМ H15	1002											A	210645.6	291056.2	29.54	33.73	43
H15B	104	160.65	161.4	0.75	161.4	161.55	0.15	25.8	25.8	34	33	A	210551	291170.9			
H15B	104	161.55	162.45	0.9				21.9		34	33	A	210551	291170.9			
ОМ H15B	104											A	210551	291170.9	23.67	23.85	33
H15	104	180.95	181.2	0.25	181.2	181.5	0.3	16.3	70.2	36	40	A	210551	291170.9			
H15	104	181.5	182.55	1.05	182.55	182.65	0.1	26.9	26.9	36	40	A	210551	291170.9			
H15	104	182.65	183.1	0.45	183.1	183.26	0.15	26.9	78.3	36	39	A	210551	291170.9			
H15	104	183.26	183.35	0.1	183.35	183.4	0.05	34.7	76.5	36	39	A	210551	291170.9			
H15	104	183.4	184.15	0.75				23.9		39	36	A	210551	291170.9			
ОМ H15	104											A	210551	291170.9	25.32	32.86	39
H15B	1939г	188.1	188.95	0.85	188.95	189.05	0.1	26.3	26.3	33	14	A	210439	291259.4			
H15B	1939г	189.05	189.85	0.8				26.3		33	14	A	210439	291259.4			
ОМ H15B	1939г											A	210439	291259.4	26.3	26.3	14
H15	1939г	208.2	208.6	0.4	208.6	208.7	0.1	36	36	35	43	A	210439	291259.4			
H15	1939г	208.7	209.6	0.9	209.6	209.7	0.1	36	36	35	43	A	210439	291259.4			
H15	1939г	209.7	210.1	0.4	210.1	210.2	0.1	36	36	36	43	A	210439	291259.4			
H15	1939г	210.2	210.4	0.2	210.4	210.5	0.1	36	80.2	36	43	A	210439	291259.4			
H15	1939г	210.5	210.9	0.4	210.9	211.05	0.15	33.5	33.5	36	43	A	210439	291259.4			
H15	1939г	211.05	211.36	0.3	211.36	211.46	0.1	33.5	33.6	36	43	A	210439	291259.4			
H15	1939г	211.46	212.2	0.75	212.2			33.5		36	43	A	210439	291259.4			
ОМ H15	1939г											A	210439	291259.4	34.92	36.04	43
H15B	1003	216.55	218.5	1.95				23.3		34	30	A	210375.8	291331.9			
ОМ H15B	1003											A	210375.8	291331.9	23.3	23.3	30
H15	1003	237.6	237.95	0.35	237.95	238.05	0.1	30	73.7	35	42	A	210375.8	291331.9			
H15	1003	238.05	238.95	0.9	238.95	239.1	0.15	21.7	52	36	42	A	210375.8	291331.9			
H15	1003	239.1	239.65	0.55	239.65	239.95	0.3	23.8	64.3	35	42	A	210375.8	291331.9			
H15	1003	239.95	240.9	0.95				22.4		35	42	A	210375.8	291331.9			
ОМ H15	1003											A	210375.8	291331.9	23.42	29.96	42
H15B	107	335.5	335.8	0.3	335.8	335.9	0.1	25.9	25.9	34	30	A	210183.3	291497.8			
H15B	107	335.9	336.6	0.7	336.6			25.9		34	30	A	210183.3	291497.8			
ОМ H15B	107											A	210183.3	291497.8	25.9	25.9	30

Рис. 1 – Фрагмент таблицы исходных данных, указаны мощности и границы интервалов пустых пород и угленосной толщи, а также качественные характеристики: зольность, пластичность

Полученные в программе "КРЕДО ГЕНПЛАН" планы изозольности (рис. 2) угольных пластов и показатель их пластичности ( $Y>16$ ,  $Y<16$ ) послужили основой для построения зональных планов коксующести углей путем их совмещения. Для этого использовались следующие условия:

- $A_d>30\%$ ,  $Y>16$  мм – кокс с зольностью больше 30 % (фиолетовый цвет);
- $A_d<30\%$ ,  $Y>16$  мм – кокс с зольностью меньше 30 % (синий цвет);
- $Y<16$  мм – энергетические угли (желтый цвет).

С использованием ГИС технологий были рассчитаны площади энергетического и коксующегося угля, их процентное соотношение (табл. 1), дан прогноз на основе исходных данных пластинчатой и блочной моделей месторождения, выделены закономерно залегания энергетических и коксующихся углей, количество и мощность пропластков и прослоев пустых пород.

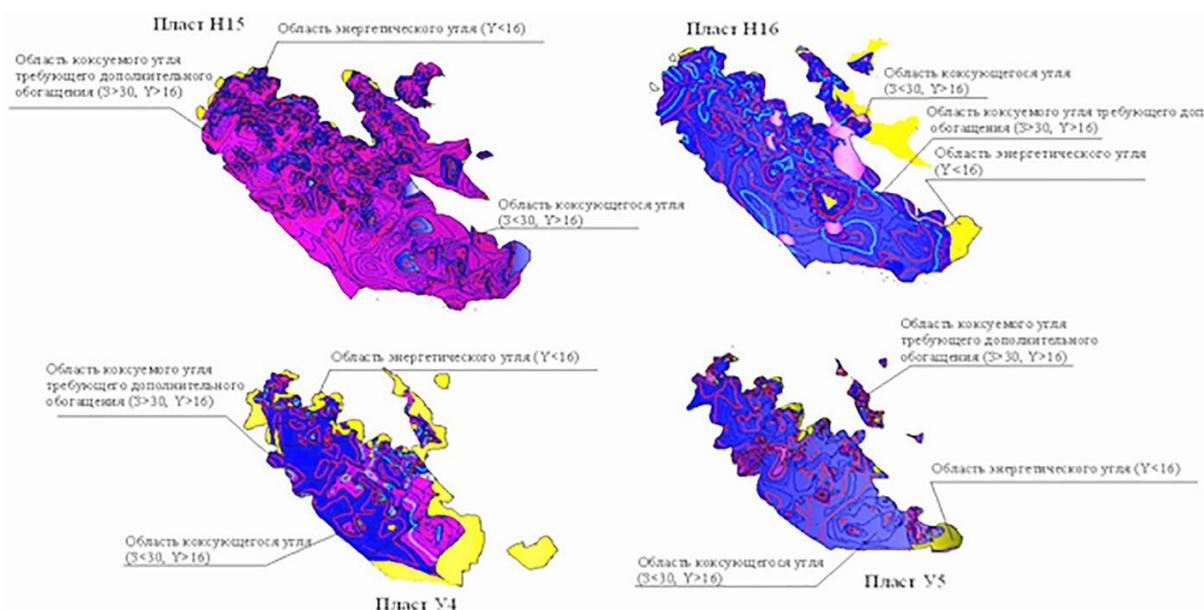


Рис. 2 – Планы, отражающие соотношение энергетического и коксующегося угля разной зольности

Таблица 1

**Распределение кокс / не кокс по пластам Эльгинского месторождения**

Пласт	Энергетика		Кокс А>30		Кокс А<30		Общая площадь пласта м <sup>2</sup>	S <sub>к</sub> /S <sub>нк</sub>	Кокс/Энерг., %
	м <sup>2</sup>	%	м <sup>2</sup>	%	м <sup>2</sup>	%			
У5	1701150	5	2326453	7	27606277	87	31633880	17,6	94,6 / 5,4
Н15	748539	1	55249134	91	4665431	8	60663104	80,0	98,8 / 1,2
У14	2609095	20	9482647	71	1209995	9	13301736	4,1	80,4 / 19,6
У13	3127016	23	3517430	26	7097739	52	13742185	3,4	77,2 / 22,8
У12	1819730	13	10221094	72	2189852	15	14230676	6,8	87,2 / 12,8
Н15В	237883	1	9539593	49	9817936	50	19595411	81,4	98,8 / 1,2
У5В	929422	5	14286035	77	3440447	18	18655904	19,1	95,0 / 5,0
У5Н	344702	4	4076488	46	4481533	50	8900856	24,8	96,1 / 3,9
У4	10044094	27	9921554	27	17306593	46	37272241	2,7	73,1 / 26,9
У4В1	2911164	81	467388	13	224575	6	3603127	0,2	19,2 / 80,8
Н16	6363121	12	3555255	7	41772817	81	51691192	7,1	87,7 / 12,3

Установлено, что максимальное соотношение кокс/энергетический уголь отмечается в пластах У5, Н15, Н15В, У5В, Н16; прослеживается закономерность сосредоточения энергетических углей в северной части на небольшом отдалении от контуров основных пластов. По некоторым пластам энергетика идет вдоль восточной и южной границ контуров пластов. Минимальное соотношение кокс/энергетический уголь отмечается в пласте У4В1, что позволяет считать этот пласт некоксуемым [1].

Другим объектом применения ГИС технологий является Шеинское месторождение известняков (Челябинская область). Задачей исследований, выполняемых ИГД УрО РАН, являлось моделирование сложного гидрогеологического строения месторождения, а также необходимость выдерживания среднего содержания CaO не менее 46 % в добываемом сырье.

Из-за большого количества некондиционных пород на верхних горизонтах (+253 м, +242 м) и необходимости выдерживать содержание CaO в шихте, поставляемой на цементный завод (не менее 46 %), было выполнено моделирование качественной изменчивости пород [2], создана блочная модель (рис. 3), отражающая информацию о содержании CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, выделены зоны некондиционных пород, разработаны планы горных работ и составлен календарный план отработки месторождения до 2079 г.

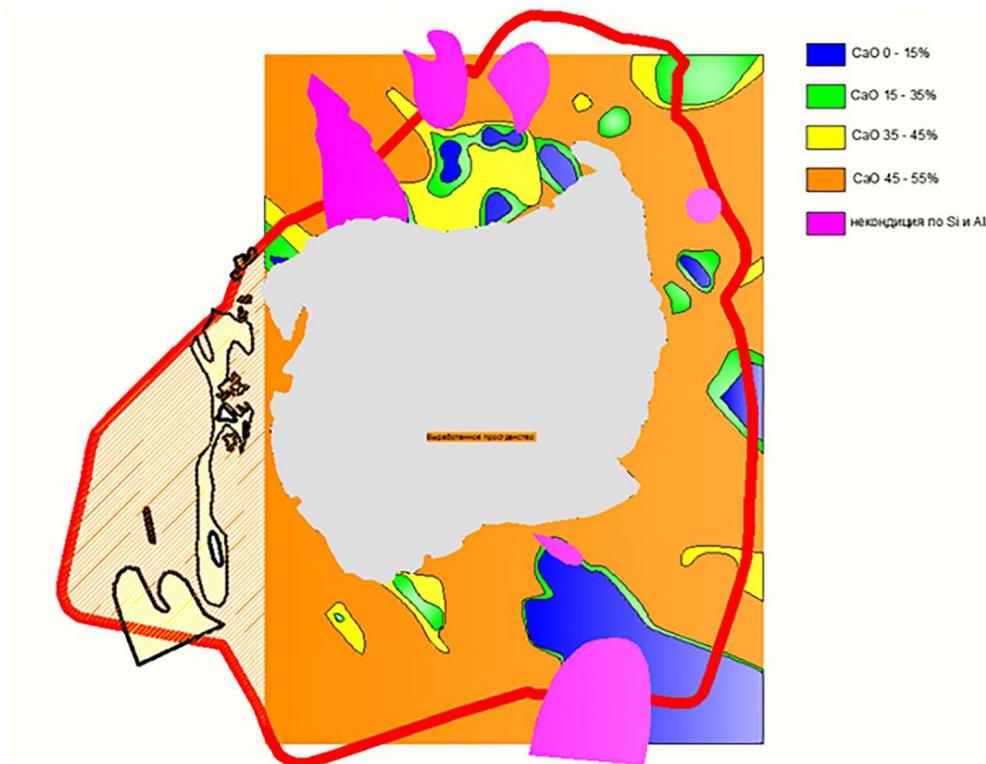


Рис. 3 – План качества Шеинского месторождения известняков, гор. +231 м

В 2013 году в рамках госбюджетного задания выполнены исследования химического и структурного состава титаномагнетитовых руд с целью повышения извлечения Fe и влияния Ti, V на процессы обогащения. С помощью ГИС технологий решались задачи по определению качественных показателей руды на карьерах ОАО "ЕВРАЗ КГОК", при этом использовались данные химического состава руды, полученные с помощью портативного РФА спектрометра Niton. Ключевым фактором исследования явилось совершенствование методики геометризации качественных характеристик титаномагнетитовых руд с применением геоинформационного обеспечения.

Геометризация качественных характеристик руды осуществлена погоризонтно в границах Главного и Северного карьеров на основе информационной базы данных детальной разведки Гусевогорского месторождения. Данные детальной разведки представлены таблицами в формате, необходимом для обработки геологической информации в программных комплексах Gemcom Surpac и Datamine (рис. 4), в которых содержатся названия скважин, их координаты, высотная отметка устьев скважин, номер геологического разреза, к которому они принадлежат, данные интервального опробования, глубина скважины, данные инклинометрии (наклон и азимут) и пр.

hole_id	hole_path	max_depth	n_raz	x	y	z	Добавить поле
	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	3879	8313	313,4	

Рис. 4 – Фрагмент таблицы исходных данных

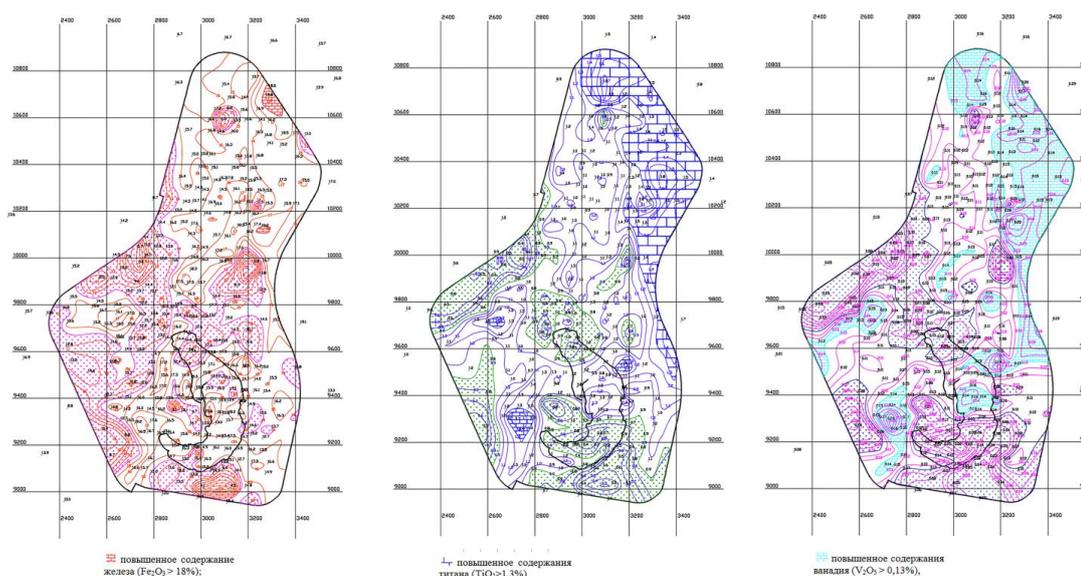
Геометризация размещения исследуемых качественных характеристик рудного тела и геоинформационное моделирование реализованы в виде следующих этапов:

– формирование по данным скважин детальной разведки усредненных интервалов опробования по выделенным горизонтам для статистического анализа с целью локализации зон повышенного/пониженного содержания железа, титана и ванадия;

– преобразование данных, построение численных распределений и выделение областей, характеризующих пространственное размещение одноименной вкрапленности зерен титаномагнетита по обследуемым горизонтам, поскольку существуют классификации Гусевогорских руд, основанные на их текстурных особенностях – вкрапленности, а также процентном содержании железа в магнитной фракции – обогатимости;

– погоризонтное моделирование распределения качественных характеристик рудного тела на основе построения изолиний содержания  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $V_2O_5$ , железа в магнитной фракции (рис. 5) [3];

– погоризонтное выделение и моделирование границ рудных зон, отражающих распределение вкрапленности, и показателя обогатимости титаномагнетитовых руд (рис. 6) [4].

Рис. 5 – Распределение содержания  $Fe_2O_3$ ,  $V_2O_5$  и  $TiO_2$  на горизонте +160 м Северного карьера

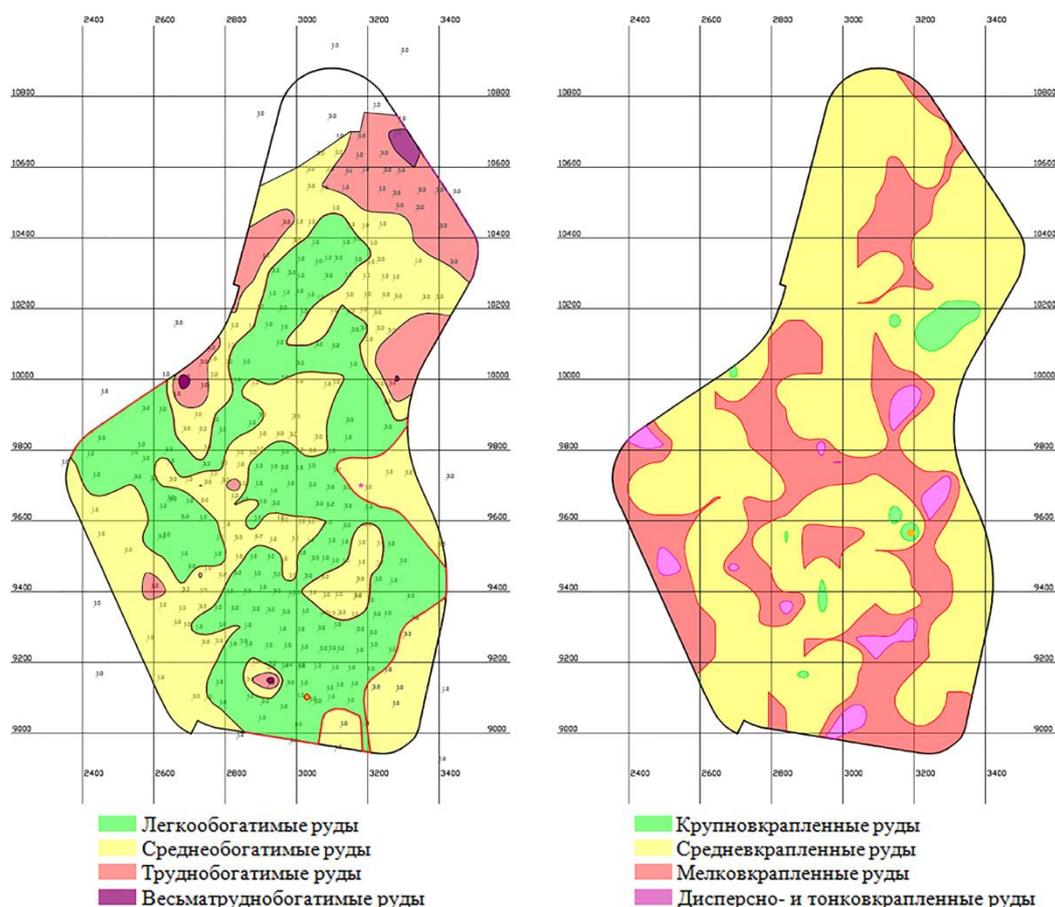


Рис. 6 – Районирование титаномagnetитовых руд, гор.+160 м, Северный карьер:  
а – по показателю обогатимости (содержание железа в магнитной фракции проб);  
б – по размеру вкрапленности зерен титаномagnetита

Новизной разработанной методики является геометризация комплексного показателя обогатимости, который учитывает текстуру и структуру руд. На основе полученной методики возможно выделение перспективных для разработки участков в плане и по глубине, а также производство календарного планирования объемов добычи с решением задачи управления качеством минерального сырья.

Анализ геoinформации в карьерах ОАО "ЕВРАЗ КГОК" позволил получить закономерности распределения показателей обогатимости титаномagnetитовых руд в недрах.

Разработанная методика геометризации качественных показателей минерального сырья на ОАО "ЕВРАЗ КГОК" с использованием программных средств обработки геологических данных (Surpac), позволяет выделять зоны добываемой руды. Выполненный анализ и геометризация геоданных месторождения позволяют выделить технологические типы руд в карьере для обоснования более эффективных схем обогащения.

#### Выводы

Применение компьютерного моделирования позволяет планировать последовательность формирования рабочей зоны карьеров с выделением участков и блоков селективной разработки и последующего усреднения в процессе рудоподготовки к обогащению.

Достоверный прогноз параметров залегания и распределения качественных характеристик полезного ископаемого в недрах позволяет повысить качество горных работ (снизить потери и разубоживания), дает ключ к пониманию проблемы стабилизации качественных показателей.

Современные геоинформационные системы позволяют учитывать при моделировании все физико-химические свойства изучаемого массива полезного ископаемого и вмещающих пород, элементы их залегания, технологические и качественные характеристики. Учтена возможность непрерывного пополнения базы данных дополнительными сведениями о месторождении, в том числе получаемыми при его разработке.

### Литература

1. Лаптев Ю.В. Управление качеством сырья Эльгинского угольного месторождения / Ю.В. Лаптев, А.М. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - № 5. - С. 33 - 40
2. Кочнев К.А. Геометризация качественных показателей сырья Шеинского месторождения известняков / К.А. Кочнев, А.М. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. - № 3. - С. 87 – 92.
3. Яковлев В.Л. Геоинформационная оценка изменчивости качества титаномагнетитовых руд Гусевогорского месторождения ООО "ЕВРАЗ КГОК"/ В.Л. Яковлев, Ю.В. Лаптев, А.М. Яковлев // Литосфера. – 2014. - № 4. – С. 122 - 128.
4. Раздельная переработка руд Гусевогорского месторождения / С.В. Корнилков, А.Н. Дмитриев, А.Е. Пелевин, А.М. Яковлев // Горный журнал. - 2016. - № 5. - С. 86 - 90.