

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОГАТИМОСТИ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД В КОНТУРАХ ОТРАБАТЫВАЕМЫХ КАРЬЕРОВ ГУСЕВОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© 2016 г. В. Л. Яковлев, Ю. В. Лаптев, В. А. Гордеев, А. М. Яковлев

*Институт горного дела УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58
E-mail: quality@igduran.ru*

Поступила в редакцию 22.04.2015 г.

Принята к печати 20.01.2016 г.

В статье приведена методика геометризации показателей обогатимости титаномagnetитовых руд Гусевогорского месторождения ОАО “ЕВРАЗ КГОК” с применением геоинформационного обеспечения Surpac для повышения эффективности выделения технологических типов полезного ископаемого с целью улучшить извлечение ценных компонентов.

Ключевые слова: управление качеством, геометризация, геоинформационное обеспечение, Surpac, титаномagnetитовые руды, Гусевогорское месторождение, показатели обогатимости, вкрапленность, магнитные фракции.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение минерального состава, размера и характера вкрапленности частиц, их фазового состава осуществляется с помощью современных физических, физико-химических и химических методов исследования. Знание природных структурных характеристик руд, минеральных агрегатов и раскрытых фаз во всех циклах переработки позволяет получать достоверную и полную информацию о технологических свойствах руд, оптимизировать процессы рудоподготовки и разделения минеральных компонентов и дать научно обоснованный прогноз оптимальной технологии обогащения природного и техногенного минерального сырья.

Гусевогорское месторождение вкрапленных титаномagnetитовых руд приурочено к одноименному пироксенитовому массиву, вытянутому в меридиональном направлении на протяжении 8.5 км при ширине 1–3.5 км. Массив имеет сложную конфигурацию. Северная его часть, имеющая в плане форму овала, на юге отклоняется на запад и соединяется с пироксенитами Качканарского массива.

В пределах массива наиболее широко распространены диаллаговые пироксениты, которые составляют его центральную, северо-западную и юго-восточную части. В восточной, северо-восточной, юго-западной частях массива на значительных площадях развиты оливиновые пироксениты. Они образуют также участки в центральной части массива. Оливиновые пироксениты характеризуются пониженными, по сравнению с диаллаговыми, содер-

жаниями титаномagnetита, а иногда являются безрудными.

Жильный комплекс массива представлен в основном плагиоклазитами, реже габбро и мелкозернистыми пироксенитами. Мощность жил обычно не превышает 1 м, редко достигает 20 м.

Гусевогорское тело пироксенитов рассечено рядом тектонических нарушений северо-западного простирания. Наиболее крупное из них ограничивает с северо-востока Западную залежь, пересекает Промежуточные II, III залежи, отделяет Промежуточную I от Главной залежи и на востоке контролирует положение апофизы габбро.

Оруденение на Гусевогорском месторождении представлено вкрапленностью ванадийсодержащего титаномagnetита в диаллаговых пироксенитах, их амфиболизированных и плагиоклазовых разновидностях, а также в незначительной степени – в оливиновых пироксенитах, верлитах и оливинитах, залегающих среди диаллаговых пироксенитов. Шлировые обособления и прожилки массивных руд развиты крайне ограниченно и самостоятельного значения не имеют. За пределами рудных диаллагов пород, как правило, безрудные.

Оруденение распространяется на глубину более 600 м. Скважины, пройденные до этой глубины, не вышли из кондиционных руд.

Контакты рудных тел с вмещающими породами неровные, извилистые.

Руды Гусевогорского месторождения представлены пироксенитами, главным образом диаллаговыми, роговообманковыми и плагиоклазовыми,

несущими относительно равномерную вкрапленность титаномагнетита.

Поскольку вкрапленные руды без четких ограничений переходят в безрудную породу, оконтуривание промышленного оруденения может производиться только по результатам химических анализов. Оконтуренные таким образом крупные рудные участки (размером не менее 500×500 м), состоящие иногда из нескольких сближенных параллельных тел, разделенных безрудными породами, получили на месторождении название рудных залежей. Каждая из залежей отделена от остальных линейными или изометричными перемычками, сложенными, как правило, оливиновыми пироксенитами. В отдельных случаях оливиновые пироксениты образуют внутри рудных залежей относительно крупные (размером до 350×200 м) выходящие на поверхность блоки. Фланговые ограничения залежей и пустых блоков испытывают склонение на северо-запад и юго-восток, но, как правило, к центру залежи. Залежи по простиранию могут соединяться. В этом случае условная граница между ними проводится по линии с наименьшей мощностью.

На Гусевогорском месторождении выделено 7 рудных залежей: Главная, Промежуточные I, II, III, Южная, Северная и Западная.

Руды месторождения по текстурным особенностям подразделяются на сплошные и вкрапленные. Сплошные руды развиты весьма ограниченно, вкрапленные же руды 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%.

Исследованиями тематической группы Качкарского ГОКа (“Обобщение результатов геолого-разведочных работ по распределению железа и ванадия в рудах Главной, Западной и Северной залежей Гусевогорского месторождения”, 1992 г.) установлено, что качество руд с глубиной не изменяется и железо имеет весьма равномерное распределение.

В соответствии с минеральным составом, текстурными и структурными особенностями вкрапленные титаномагнетитовые руды месторождения делятся на три технологических сорта: нормальнообогащаемые (содержание железа в магнитной фракции – 62.5% и более), труднообогащаемые,

(содержащие 62.5–60.0% железа) и весьма труднообогащаемые – верлиты и полностью серпентинизированные оливиновые пироксениты, содержащие менее 60.0% железа.

Нормальнообогащаемые руды не затронуты 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).

Труднообогащаемые несерпентинизированные руды по текстурным критериям соответствуют дисперсно- и тонковкрапленной разновидности. Труднообогащаемые серпентинизированные разновидности отличаются наличием серпентина и вторичного дисперсного магнетита. При разных условиях по производительности и крупности измельчения из труднообогащаемых руд получают концентраты с содержанием железа не более 60.0%.

Весьма труднообогащаемые руды (верлиты рудные) характеризуются наиболее низкими показателями обогащения. Содержание железа в магнитной фракции составляет 52.0–60.0% (при снижении производительности в 1.5 раза), а в немагнитной, в отличие от других сортов, – 8.2%, достигая в отдельных случаях 13.0%.

Геологическая служба комбината разделяет руды Гусевогорского месторождения в зависимости от крупности вкрапленных зерен титаномагнетита на следующие группы:

– *легкообогащаемые*: крупно- (>3 мм) и средне-вкрапленные (1–3 мм);

– *среднеобогащаемые*: мелко-вкрапленные (0.2–1 мм);

– *труднообогащаемые*: тонко- (0.074–0.2 мм) и дисперсно-вкрапленные (<0.074 мм);

В геологической базе данных предприятия содержится также информация о пробах с шлировой текстурой. *Шлиры* [2] – минеральное скопление в магматических породах, отличающееся от основной массы породы другим количественным соотношением составных частей или иной структурой. Шлирами следует признавать пробы с нетипичной крупностью вкрапленных зерен от 5 см.

На основе анализа и обобщения действующих критериев технологического сырья Гусевогорского месторождения титаномагнетитовых руд [3, 4] получена табл. 1, в которой представлены основные показатели критериев обогатимости для дальнейших горно-геометрических построений.

МЕТОДИКА

По данным детальной разведки, выполненной в границах Главной и Северной залежей Гусевогорского месторождения, произведена геометризация показателей обогатимости с учетом предельных значений критериальных границ (см. табл. 1).

Таблица 1. Рекомендуемые критерии обогатимости титаномагнетитовых руд Гусевгорского месторождения ОАО ЕВРАЗ “КГОК”

Table 1. Recommended criteria of titanomagnetite ores enrichment on Gusevogorskiy deposit

Тип обогатимости	Показатель вкрапленности, мм	Содержание Fe в магнитных фракциях, %
Легкообогащаемые	>1	>62.5
Среднеобогащаемые	0.2–1	60–62.5
Труднообогащаемые	<0.2	52–60

Геометризация [1] проведена на основе информационной базы данных, представленных в формате Microsoft Access и поперечных разрезов Главного и Северного карьеров. Методика геометризации состоит в следующем.

1. Предварительная подготовка данных детальной разведки в формате, необходимом для обработки геологической информации в программных комплексах Gemcom Surpac [5] и Datamine [6]. В таблицах содержится следующая информация: название скважины, ее координаты, высотная отметка устья скважины, номер геологического разреза, к которому она принадлежит, данные интервального опробования,

глубина скважины, данные инклинометрии (наклон и азимут).

2. Отсечка "ураганных" (больше или меньше среднего в 2 раза и более) и ошибочных значений подготовленных исходных данных.

3. Приведение интервалов опробования к равным значениям.

4. Создание и импортирование исходных данных в таблицы ПО Surpac (assay – данные опробования, collar – данные о скважинах, survey – инклинометрия).

5. Создание геологической базы данных в ПО Surpac, выделение “композигов” (оцифрованные интервалы по скважинам в виде стринг (*.str) файла).

6. Построение графиков изолиний и зональности размещения показателей обогатимости титаномагнетитовых руд в карьерах ОАО “ЕВРАЗ КГОК”.

7. Построение совместных распределений показателей обогатимости в карьерах ОАО “ЕВРАЗ КГОК”.

В процессе геометризации получены графики распределения характеристик обогатимости титаномагнетитовых руд на Гусевгорском месторождении.

На рис. 1 представлена блок-схема геометризации характеристик обогатимости титаномагнетитовых руд в карьерах ОАО “ЕВРАЗ КГОК”.



Рис. 1. Блок-схема геометризации характеристик обогатимости титаномагнетитовых руд в карьерах ОАО “ЕВРАЗ КГОК”.

Fig. 1. Block diagram of the geometrization washability characteristics of titanomagnetite ores in the quarries of “EVRAZ KGOK”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 2, 3 представлены графики зональности размещения титаномагнетитовых руд по показателю вкрапленности зерен и содержанию железа в магнитных фракциях на Главном карьере ОАО «ЕВРАЗ КГОК» (гор. +55 м), на рис. 4, 5 – те же графики для Северного карьера (гор. +160 м).

Решение задачи построения совместных распределений показателей обогатимости титаномагнетитовых руд производилось графическим методом по следующему алгоритму:

– выполняется взаимное наложение графиков зональности размещения руд по показателю вкрапленности зерен и содержания железа в магнитных фракциях на Главном и Северном карьерах;

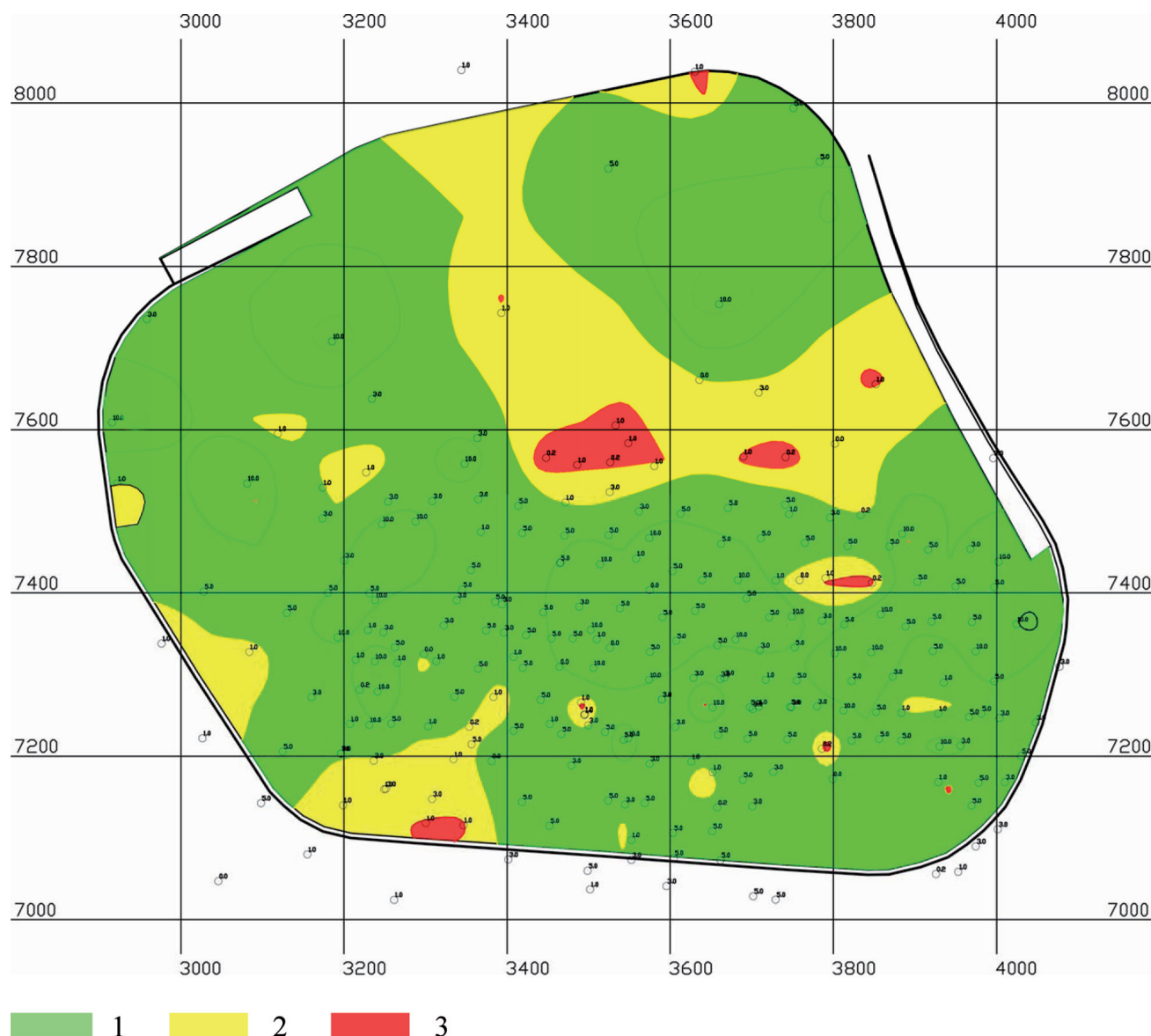


Рис. 2. Зональность размещения титаномагнетитовых руд по показателю вкрапленности зерен на Главном карьере (гор. +55 м).

1 – легкообогатимые (показатель вкрапленности >1 мм), 2 – среднеобогатимые (показатель вкрапленности $>0.2-1$ мм), 3 – труднообогатимые (показатель вкрапленности <0.2 мм).

Fig. 2. Zoning accommodation titanomagnetite ores in terms of impregnation grains on the Main quarry (mining level 55 m).

1 – easy washability for disseminated ore (impregnation rate >1 mm), 2 – average ore washability for impregnation (impregnation rate $>0.2-1$ mm), 3 – hard washability for disseminated ore (impregnation rate of <0.2 mm).

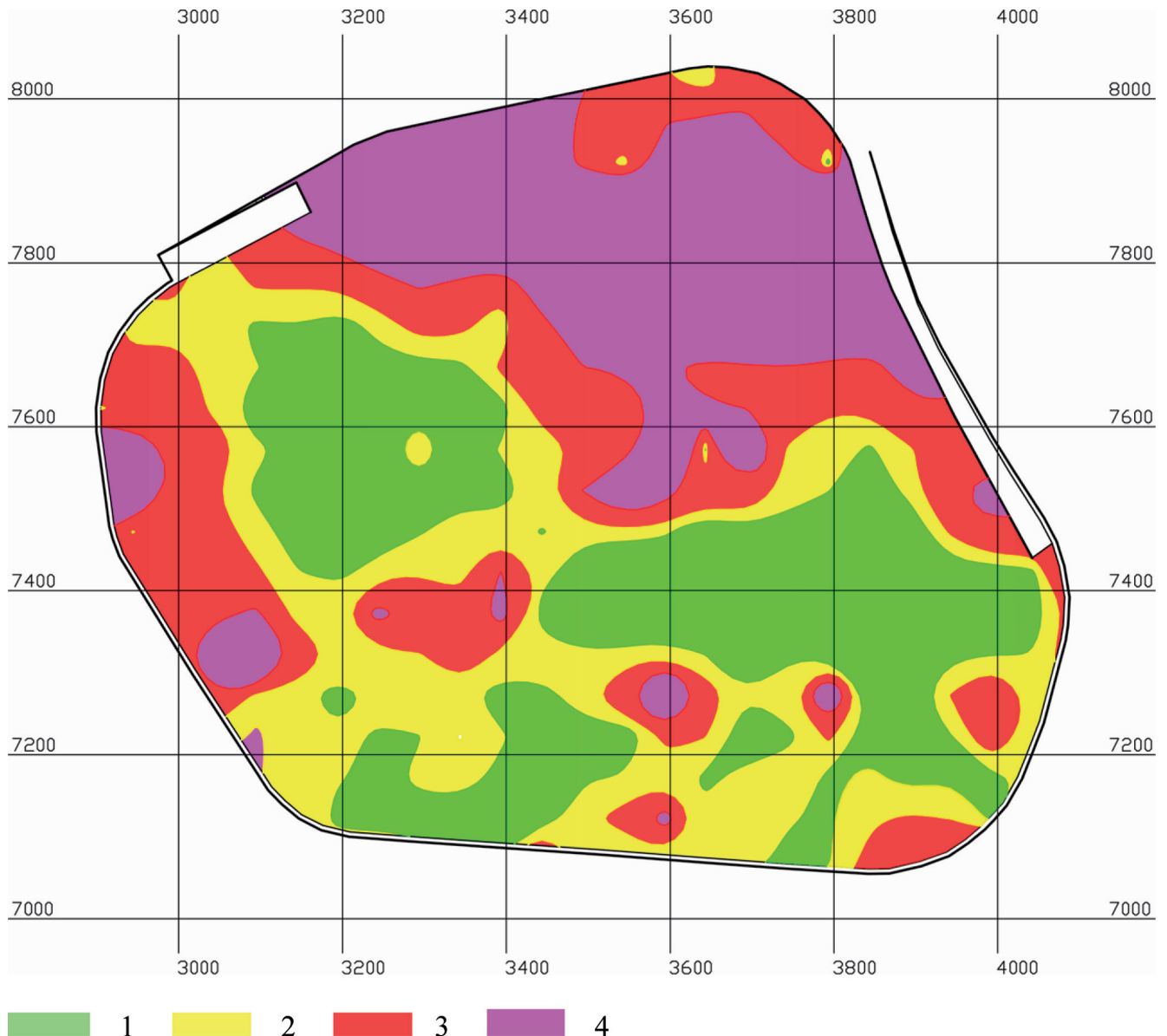


Рис. 3. Зональность размещения титаномagnetитовых руд по содержанию железа в магнитных фракциях на Главном карьере (гор. +55 м).

1 – легкообогащаемые (> 62.5%), 2 – среднеобогащаемые (60–62.5%), 3 – труднообогащаемые (52–60%), 4 – некондиционные руды (<52%).

Fig. 3. Zoning location titanium magnetite ore according to iron content in the magnetic fractions on the Main quarry (mining level 55 m).

1 – easy washability (>62.5%), 2 – washability (60–62.5%), 3 – hard washability (52–60%), 4 – substandard ore (<52%).

– для построения графика зональности размещения титаномagnetитовых руд по показателю обогащаемости (совместные распределения) следует пользоваться принципом последовательного понижения критерия при общей оценке типов обогащаемости (табл. 2).

На рис. 6, 7 представлены графики зональности размещения титаномagnetитовых руд по показателю обогащаемости на Северном (гор. +160 м) и Глав-

ном (гор +55 м) карьерах ОАО “ЕВРАЗ КГОК” (совместные распределения).

ВЫВОДЫ

1. Новизной предложенной в статье методики является геометризация комплексного показателя обогащаемости, который учитывает текстуру и структуру руд. На основе полученной методики возможно

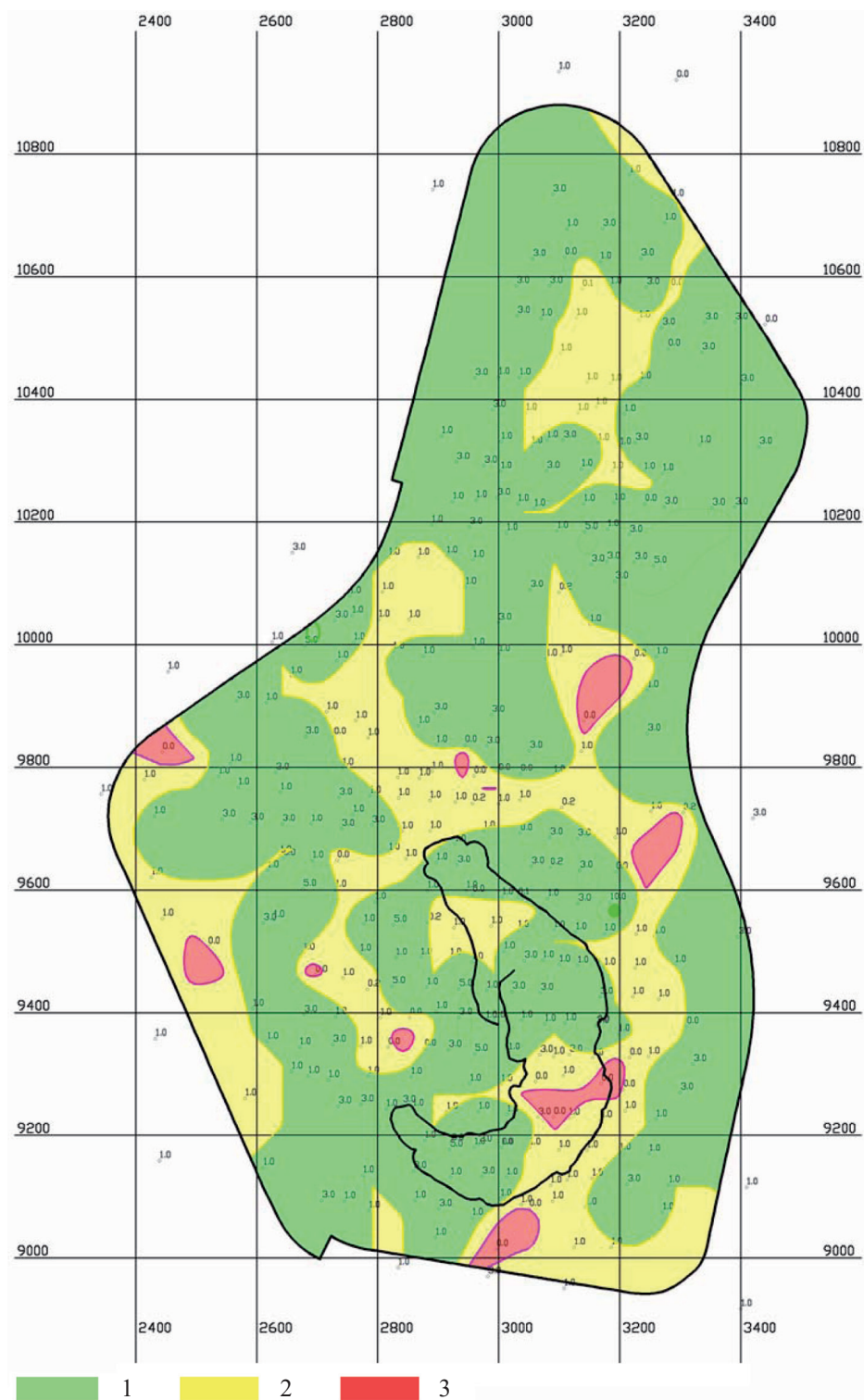


Рис. 4. Зональность размещения титаномагнетитовых руд по показателю вкрапленности зерен на Северном карьере (гор. +160 м).

1 – легкообогатимые (показатель вкрапленности > 1 мм), 2 – среднеобогатимые (показатель вкрапленности > 0.2 –1 мм), 3 – труднообогатимые (показатель вкрапленности < 0.2 мм).

Fig. 4. Zoning location of titanomagnetite ores in terms of impregnation grains in the North career (mining level +160 m).

1 – easy washability ore (impregnation rate > 1 mm), 2 – average ore washability (impregnation rate > 0.2 –1 mm), 3 – hard washability ore (impregnation rate of < 0.2 mm).

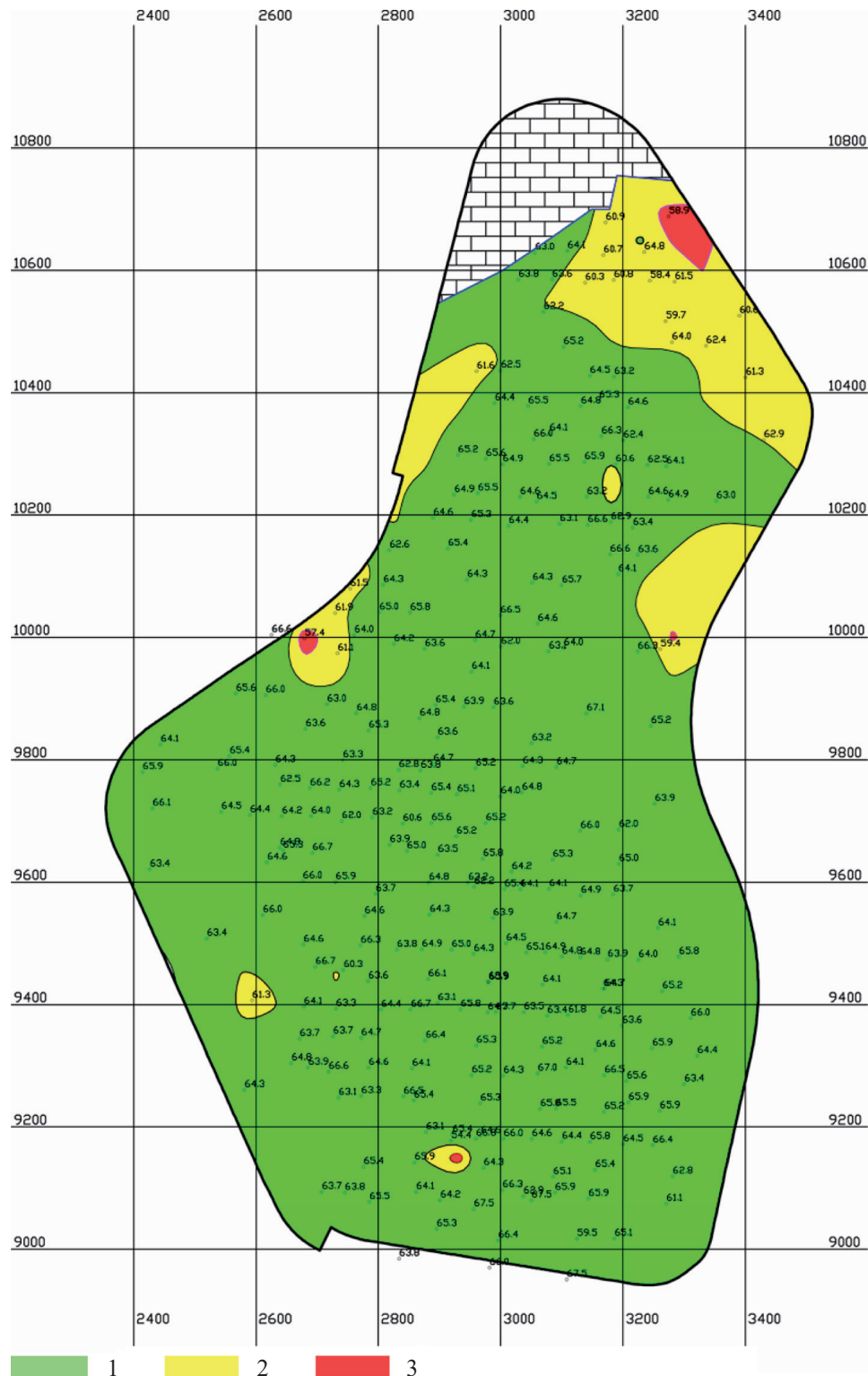


Рис. 5. Зональность размещения титаномагнетитовых руд по содержанию железа в магнитных фракциях на Северном карьере (гор. +160 м).

1 – легкообогатимые (>62.5%), 2 – среднеобогатимые (60–62.5%), 3 – труднообогатимые (52–60%).

Fig. 5. Zoning location of titanomagnetite ores according to iron content in the magnetic fractions in the North career (mining level +160 m).

1 – easy washability (>62.5%), 2 – average washability (60–62.5%), 3 – hard washability (52–60%).

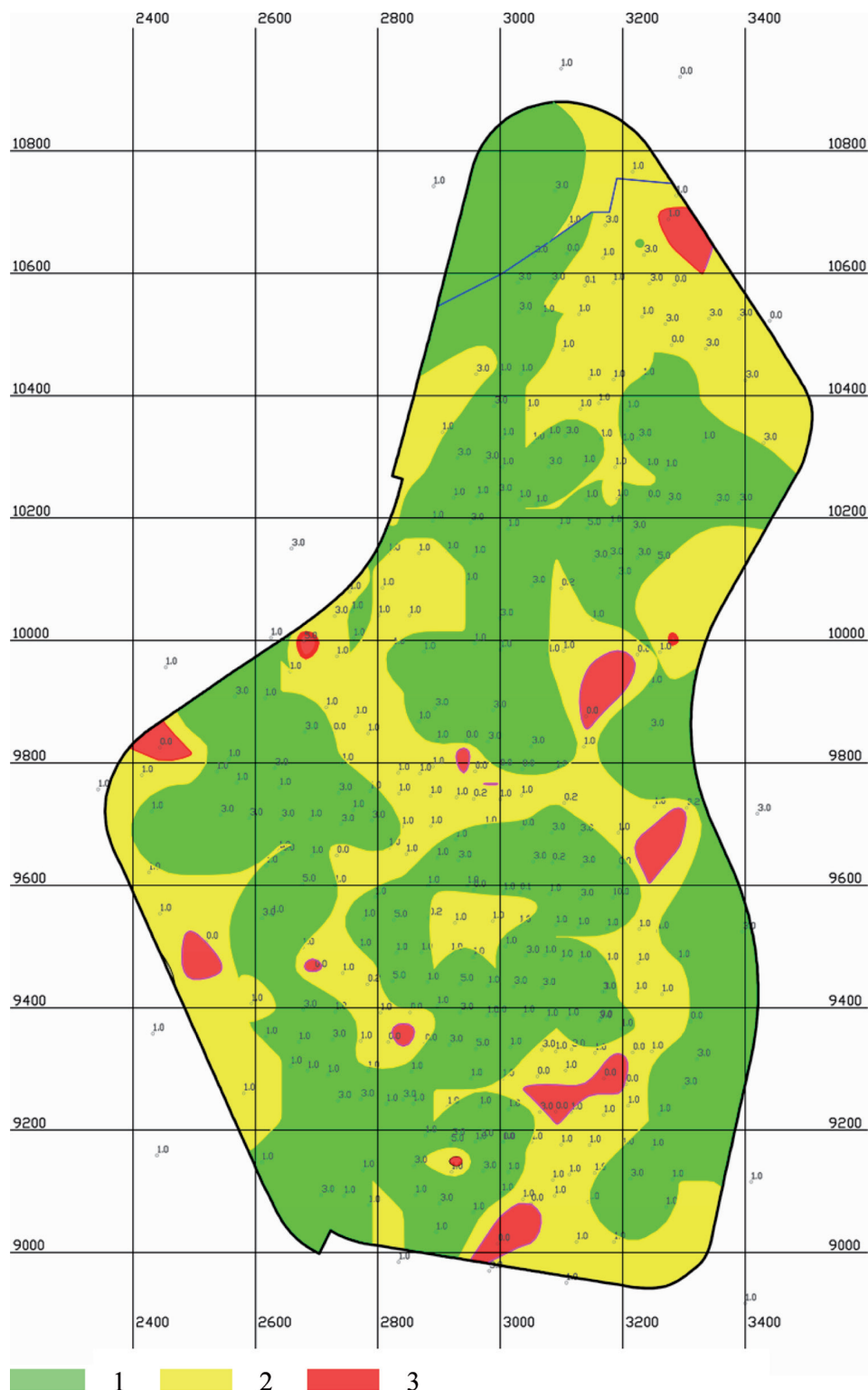


Рис. 6. Зональность размещения титаномагнетитовых руд по показателю обогатимости на Северном карьере (гор. +160 м) (совместные распределения).

1 – легкообогатимые, 2 – среднеобогатимые, 3 – труднообогатимые.

Fig. 6. Zoning location of titanomagnetite ores according to washability. North career (mining level +160 m) (joint distribution).

1 – easy washability, 2 – average washability, 3 – hard washability.

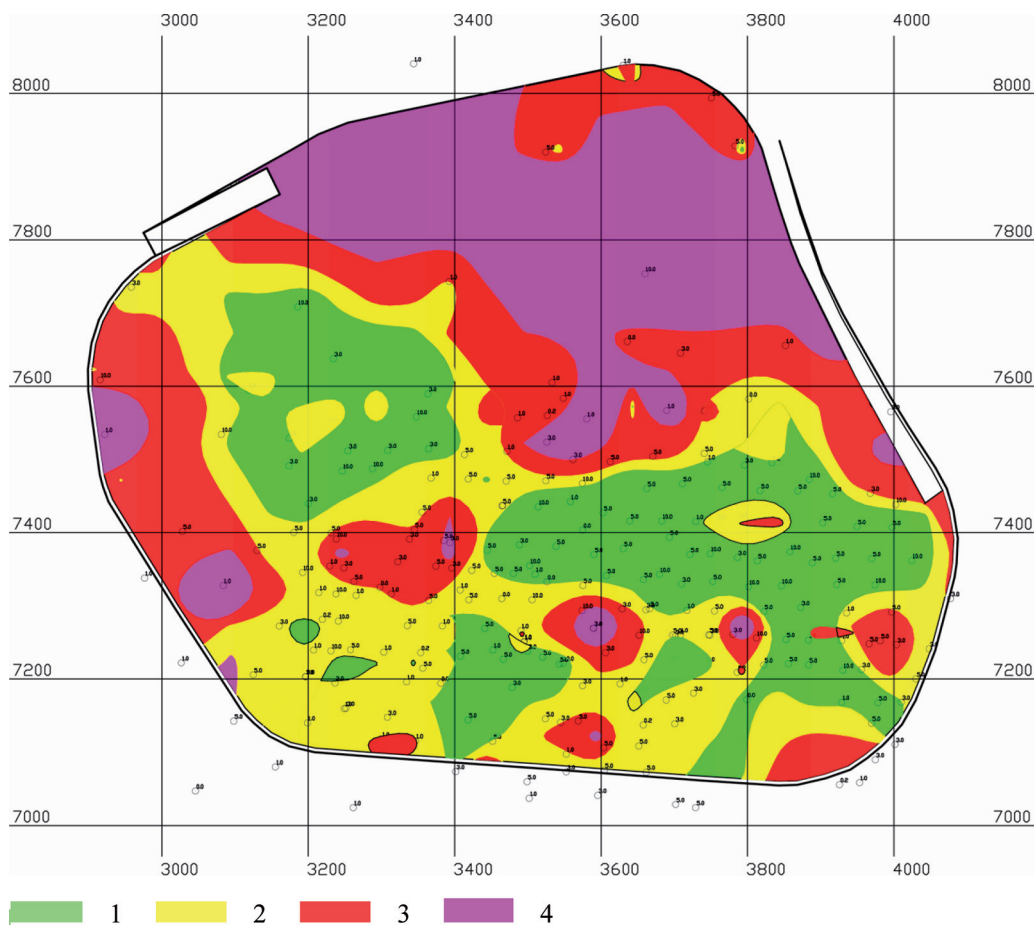


Рис. 7. Зональность размещения титаномagnetитовых руд по показателю обогатимости на Главном карьере (гор. +55 м) (совместные распределения).

1 – легкообогатимые, 2 – среднеобогатимые, 3 – труднообогатимые, 4 – некондиционные руды (с содержанием железа в магнитной фракции <52%).

Fig. 7. Zoning location of titanomagnetite ores according to washability index in the Main career (mining level +55 m) (joint distribution).

1 – easy washability, 2 – average washability, 3 – hard washability, 4 – substandard ores (iron content in the magnetic fraction <52%).

выделение перспективных для разработки участков в плане и по глубине, а также производство календарного планирования объемов добычи с решением задачи управления качеством минерального сырья.

2. Анализ геоинформации в карьерах ОАО “ЕВРАЗ КГОК” позволил получить закономерности распределения показателей обогатимости титаномagnetитовых руд в недрах.

3. 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 дают возможность установить технологические типы руд в карьере для обоснования более эффективных схем обогащения.

Таблица 2. Принцип понижения оценки типа обогатимости в совместном распределении

Table 2. The principle of reducing the assessment of the type of washability in the joint distribution

Тип обогатимости руд	Соответствие критерия типу обогатимости руд		Тип обогатимости в совместном распределении
	Размер вкрапленности зерен	Содержание железа в магнитных фракциях	
Легкообогатимые (ЛО)	ЛО	ЛО	ЛО
	ЛО	СО	СО
	СО	ЛО	СО
Среднеобогатимые (СО)	СО	СО	СО
	ТО	СО	ТО
	СО	ТО	ТО
Труднообогатимые (ТО)	ТО	ТО	ТО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букринский В.А. (1985) Геометрия недр. М: Недра, 526 с.
2. Проблемы Качканара: мат-лы конференции по комплексному использованию Качканарских титаномагнетитовых руд. Свердловск: Центральное бюро технической информации, 1959. 166 с.
3. Транспорт рудных карьеров (1968) (М.В. Васильев, Б.Ф. Фадеев, С.А. Фесенко, В.Л. Яковлев). *Тр. Института горного дела*. Свердловск: Средн.-Урал. кн. изд-во, 316-329.
4. Яковлев В.Л. (1989) Теория и практика выбора карьерного транспорта. Новосибирск: Наука СО АН СССР, 238 с.
5. <http://ru.gemcomsoftware.com/node/17>
6. <http://www.cae.com/mining/>

Geoinformation assesment of indicators washability distribution of titanomagnetite ores in the contours of the quarry Gusevogorskoye field

V. L. Yakovlev, Yu. V. Laptev, V. A. Gordeev, A. M. Yakovlev

Mining Institute, Ural Branch of RAS

The article describes a method of geometrization indicators washability titanomagnetite ores Gusevogorskoye field of "EVRAZ KGOK" using Surpac geoinformation support for increasing efficiency of separation of technological types of minerals to improve the recovery of valuable components.

Key words: *quality management, geometrization, Surpac, titanomagnetite ores, Gusevogorskoye deposit, washability performance, inclusions, magnetic fraction.*

REFERENCES

1. Bukrinskij V.A. (1985) *Geometrija neдр* [The geometry of the subsoil]. Moscow: Nedra, 526 p.
2. *Kachkanar problems: Materialy konferentsii po kompleksnomu ispol'zovaniyu Kachkanarskikh titanomagnetitovykh rud* [Materials of the conference on complex utilization of Kachkanar titanomagnetite ores "Problems Kachkanar"]. Sverdlovsk: Tsentral'noe byuro tekhnicheskoy informatsii Publ., 1959. 166 p.
3. [Transport of ore quarries]. (1968) (M.V. Vasil'ev, B.F. Fadeev, S.A. Fesenko, V.L. Jakovlev). *Trudy Instituta gornogo dela*. Sverdlovsk: Sredne-Ural'skoe knizhnoe izdatel'stvo, 316-329.
4. Jakovlev V.L. (1989) *Teorija i praktika vybora kar'ernogo transporta* [The theory and practice of quarry transport choice]. Novosibirsk: Nauka Publ., 238 p.
5. <http://ru.gemcomsoftware.com/node/17>
6. <http://www.cae.com/mining/>