

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ КАЧЕСТВА ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД ГУСЕВОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© 2014 г. В. Л. Яковлев, Ю. В. Лаптев, А. М. Яковлев

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

Поступила в редакцию 22.04.2014 г.

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.*

ВВЕДЕНИЕ

Изучение Северного Урала и Гусевогорского месторождения титаномагнетитовых руд – стратегическая задача развития России. Исследованиями геологического строения и пространственной изменчивости руд на Урале занимались многие ученые [1–5, 7–10].

Отработка Гусевогорского месторождения титаномагнетитового сырья началась в конце 1950-х гг. Проектом на разработку месторождения предполагалось извлечение титаномагнетитовой руды в промышленных масштабах. Извлечение титана и ванадия в добываемых рудах Качканарского ГОКа до настоящего времени было не актуально. В настоящее время потребность в титане и ванадии как стратегическом сырье для металлургических предприятий России резко возросла. Таким образом, актуальной задачей горнопромышленного комплекса страны является повышение извлечения этих элементов в разрабатываемых месторождениях. Работы по геометризации качественных характеристик руд с выделением технологических типов не проводились с момента окончания строительства ОАО Качканарский ГОК “Ванадий”. 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 Качканарского ГОКа

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 важными являются два основных аспекта использования установленных закономерностей распределения показателей качества железа, титана и ванадия в рудах отдельных залежей, и участков в плане и по глубине рабочей зоны карьеров:

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

б) 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.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Рудные минералы на Гусевогорском месторождении представлены титаномагнетитом, ильменитом, пиритом, гематитом, халькопиритом и пирротинном. Самородная платина в рудах образует мел-

кие (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, 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 уменьшается на 0.1–0.2%.

Ванадий в рудах самостоятельных минералов не образует, он представлен изоморфной примесью в титаномагнетите, ильмените и 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 Качканарского ГОКа 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: 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

Таблица 1. Химический состав сырой титаномагнетитовой руды Главного карьера и карьера Южной залежи
Table 1. The chemical composition of raw magnetite ores of the Main Pit and quarry South Deposits

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
кремнезем	39.79	39.68
глинозем	6.74	6.59
окись кальция	15.79	15.43
окись магнезия	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

дисперсно- и тонковкрапленной разновидностям. 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 52.0–60.0% (при снижении производительности в 1.5 раза), а в немагнитной, в отличие от других сортов, 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 карьеру.

МЕТОДИКА

Данные детальной разведки предварительно подготовлены в формате, необходимом для обработки геологической информации в программных комплексах Gemcom Surpac [12] и Datamine [13]. 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). Средняя длина скважин детальной разведки – 111 метров, количество скважин детальной разведки – 1365, расстояние между скважинами – 20–50 м.

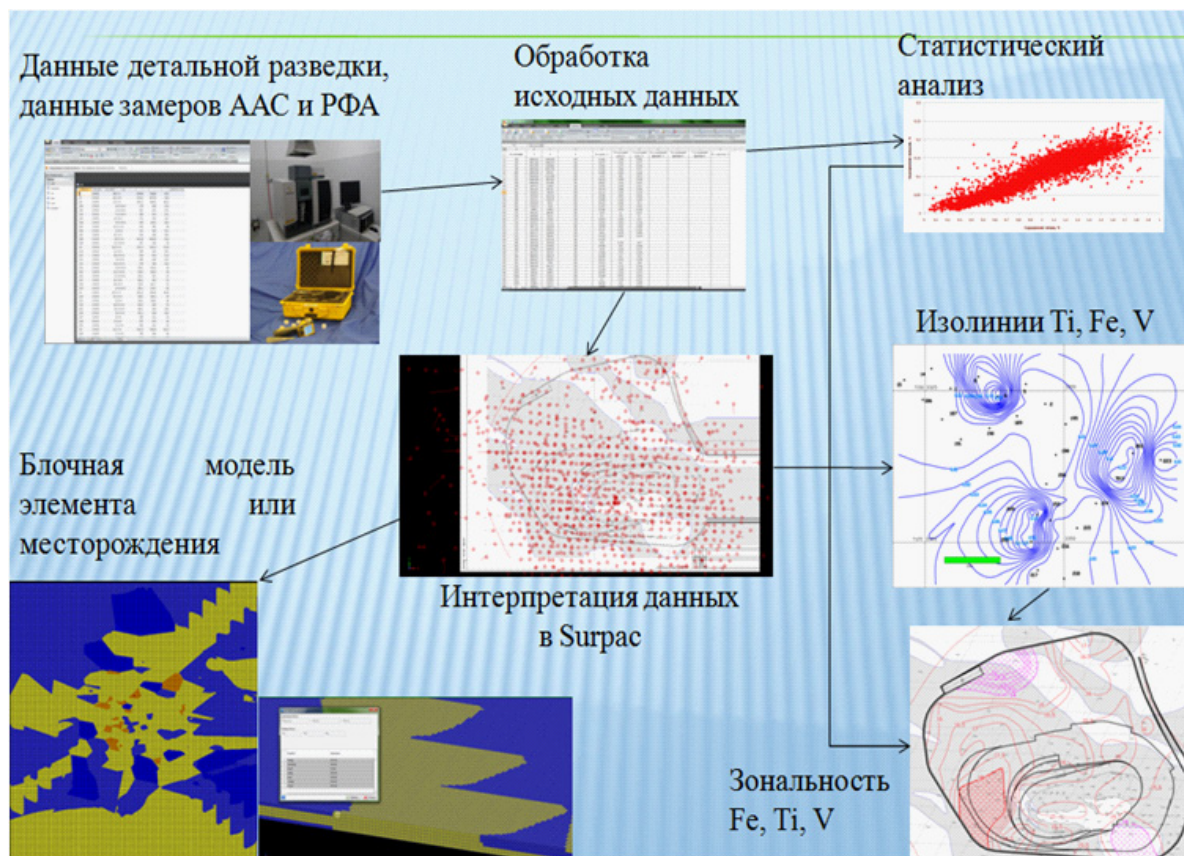


Рис. 1. Блок-схема методики геометризации качественных характеристик титаномагнетитовых руд в карьере ОАО Качканарский ГОК “Ванадий”.

Fig. 1. The block diagram revealing method of qualitative characteristics geometrization of titanium-magnetite ores in the quarry of EVRAZ KGOK.

Геометризация месторождений представляет собой изображение на графиках структурных и качественных особенностей месторождений полезных ископаемых. Она включает изучение, систематизацию и математическую обработку морфологических особенностей залежей полезных ископаемых, выяснение основных закономерностей и характера размещения полезных и вредных компонентов внутри рудных тел [2].

Методика геометризации качественных характеристик титаномагнетитовых руд (представлена в виде блок-схемы на рис. 1) включает: 1) отсечку “ураганных” (больше или меньше среднего в два и более раз) и ошибочных значений подготовленных исходных данных; 2) приведение интервалов опробования к равным значениям; 3) создание и импортирование исходных данных в таблицы ПО Surpac (assey – данные опробования, collar – данные о скважинах, survey – инклинометрия); 4) создание “геологической базы данных” в ПО Surpac, выделение “композиций” (оцифрованные интервалы по скважинам в виде стринг(*.str) файла; 5) формирование усредненных интервалов опробования для статистического анализа с целью выделения зон повы-

шенного/пониженного содержания железа, титана и ванадия на основе базы данных детальной разведки (табл. 2, рис. 2–4); 6) построение графиков изолиний содержания железа, титана, ванадия, железа в магнитной фракции по Главному карьру; 7) построение блочной модели горизонта +55 м с выделением в каждом блоке содержания железа, титана и ванадия (рис. 5–7).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Произведенный статистический анализ по трем карьерам ОАО “ЕВРАЗ КГОК” позволил выделить зоны с повышенным и пониженным содержанием титана и ванадия. Дальнейшим этапом являлось построение изолиний по содержанию основных элементов и нанесение зон на горизонтах. На рисунках 5–7 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” (табл. 2).

Таблица 2. Статистический анализ данных детальной разведки по карьерам ОАО Качканарский ГОК “Ванадий”
Table 2. Statistical analysis data detailed survey on careers of EVRAZ KGOK

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%) ~ 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%) ~ 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%) ~ 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%) ~ 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%) ~ 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%) ~ 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%) ~ 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%) ~ 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%) ~ V(0.13–0.18%)

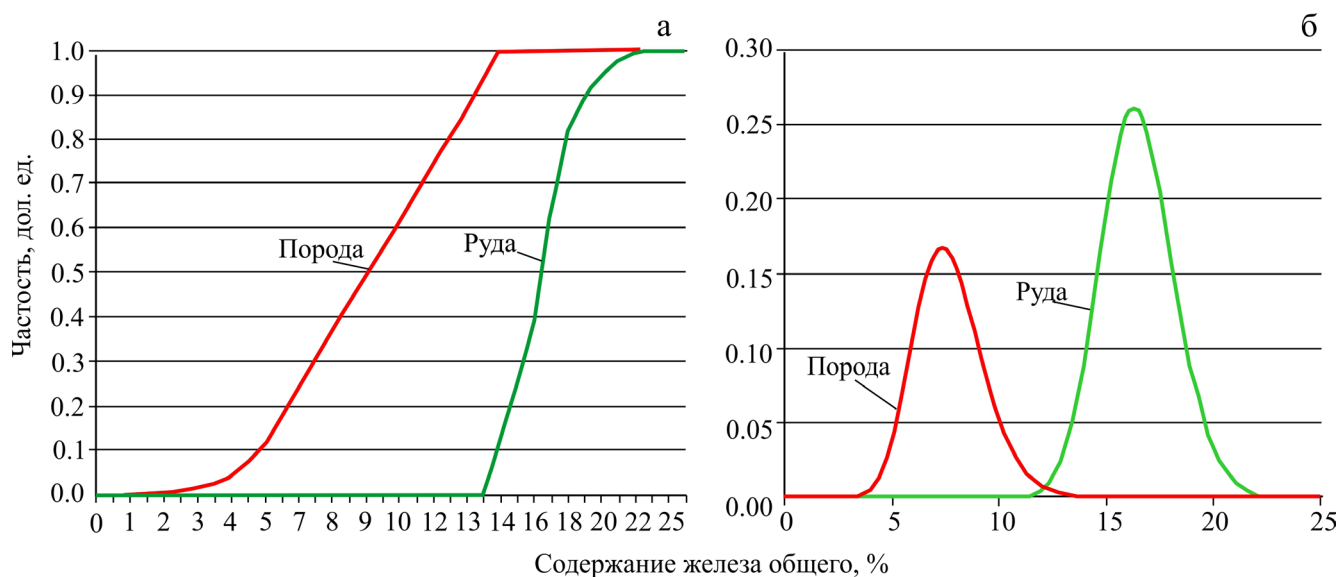


Рис. 2. Распределение содержания железа общего ($Fe_{общ}$) в рудной массе Главного карьера Качканарского ГОКа.

Здесь и далее, на рис. 3, 4: а – интегральная кривая распределения, б – дифференциальная кривая распределения.

Fig. 2. The distribution of total iron ($Fe_{общ}$) content in the ore body of the Main quarry Kachkanar GOK.

Here and on Fig. 3 and 4 а – integral distribution curve; б – differential distribution curve.

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 различными среднеблочными содержаниями имеют одинаковый закон распределения, но разные его параметры. При асимметричном характере распределения стандарт отклонения

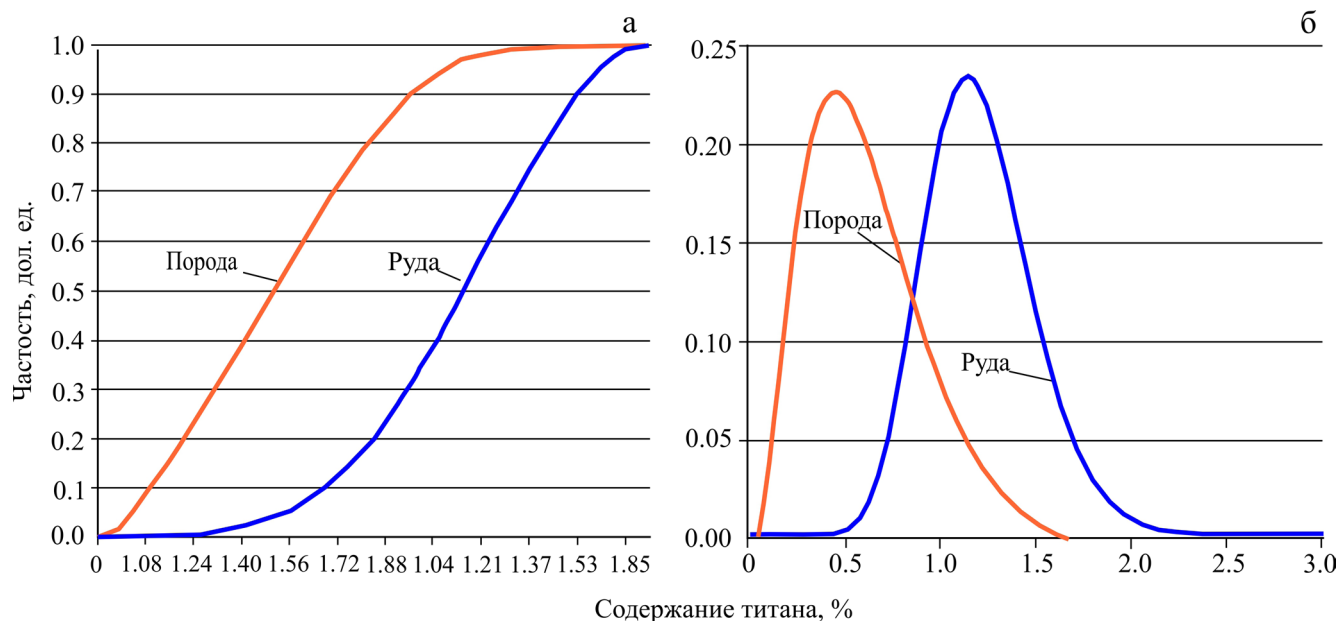


Рис. 3. Распределение содержания титана (Ti) в рудной массе Главного карьера Качканарского ГОКа.

Fig. 3. The distribution content of titanium (Ti) content in the ore body of the Main quarry Kachkanar GOK.

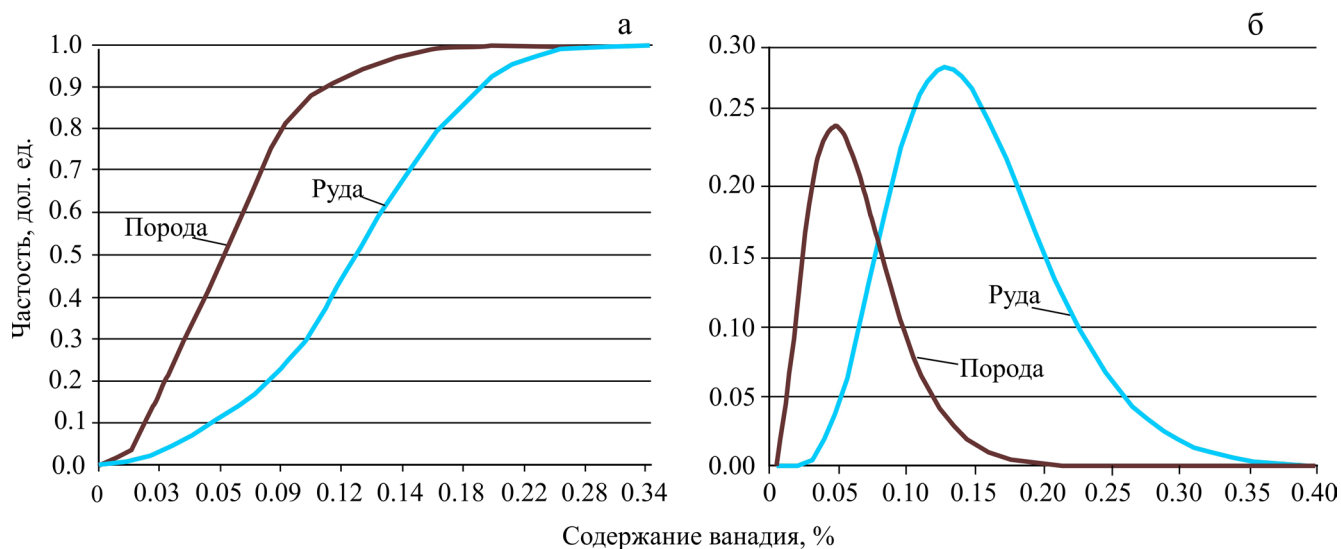


Рис. 4. Распределение содержания ванадия (V) в рудной массе Главного карьера Качканарского ГОКа.

Fig. 4. The distribution of vanadium (V) content in the ore body of the Main quarry Kachkanarsky GOK.

и среднеблочное значение показателей связаны стохастической зависимостью.

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.

Развитием предложенной методики является геометризация комплексного показателя обогащенности, который кроме химического состава мог учитывать данные текстур и структур 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 стабилизации качества полезного ископаемого.

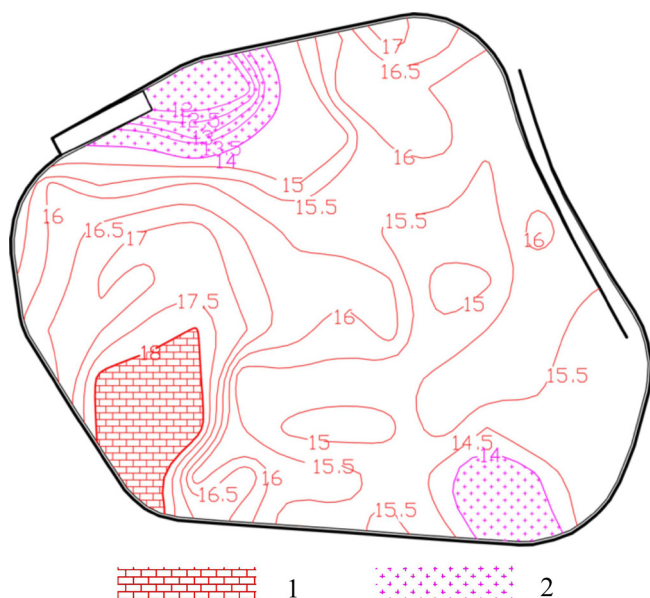


Рис. 5. Зональность распределения содержания железа на гор. +55 м Главного карьера.

1 – зона с повышенным содержанием железа ($Fe > 18\%$),
2 – зона с некондиционным содержанием железа ($Fe < 14\%$).

Fig. 5. The zoning distribution of iron content on the horizon +55 m Main quarry.

1 – area with high iron content ($Fe > 18\%$), 2 – area with substandard iron content ($Fe < 14\%$).

ВЫВОДЫ

На основе анализа геоинформации в карьерах ОАО Качканарский ГОК “Ванадий” 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 перспективе использовать способы избирательного взрывания и разработать эффективную технологию рудоподготовки и предобогащения рудного материала в карьере с применением 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. Выполненный анализ и геометризация геоданных месторождения позволяет 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

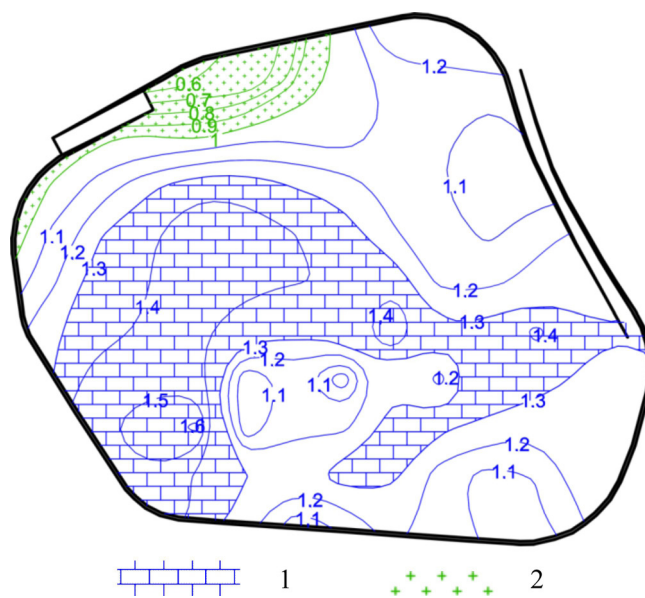


Рис. 6. – Зональность распределения содержания титана на гор. +55 м Главного карьера.

1 – зона с повышенным содержанием титана ($Ti > 1.3$),
2 – зона с пониженным содержанием титана ($Ti < 1$).

Fig. 6. Zonal distribution of titanium in the horizon +55 m Main quarry.

1 – zone with a high content of titanium ($Ti > 1.3$); 2 – zone with a reduced content of titanium ($Ti < 1$)

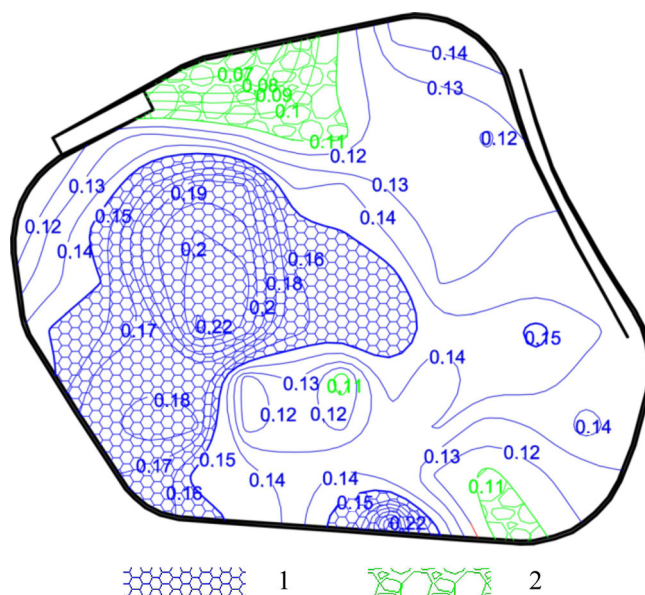


Рис. 7. Зональность распределения содержания ванадия на гор. +55 м Главного карьера.

1 – зона с повышенным содержанием ванадия ($V > 0.15\%$),
2 – зона с пониженным содержанием ванадия ($V < 0.11\%$).

Fig. 7. Zonal distribution of vanadium in the horizon + 55 m Main quarry.

1 – zone with a high content of vanadium ($V > 0.15\%$), 2 – зона с пониженным содержанием ванадия ($V < 0.11\%$).

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бранлоу А.Х. Геохимия. М.: Недра, 1984. 463 с.
2. Букринский В.А. Геометрия недр. М.: Недра, 1985. 526 с.
3. Виноградов А.М. Система изучения геополей при поисках колчеданных месторождений на Южном Урале. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Екатеринбург: СГИ, 1992. 42 с.
4. Виноградов А.М. Геополы и колчеданы Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 176 с.
5. Виноградов А.М., Ярош А.Я. Закономерности размещения колчеданных месторождений на Урале и их использование при прогнозировании и поисках месторождений // Вопросы разведочной геофизики. Тр. СГИ. Вып. 107. Свердловск, 1975. С. 37–45.
6. Захаров А.Ф., Вечер Н.А. и др. Качканарский Ванадий. Свердловск: Средне-Урал. кн. изд-во, 1964. 303 с.
7. Малышев И.И. Закономерности образования и размещения месторождений титановых руд. М.: Госгеолиздат, 1957. 272 с.
8. Проблемы Качканара: мат-лы конф. по комплексному использованию Качканарских титаномагнетитовых руд. Свердловск: Центральное бюро технической информации, 1959. 166 с.
9. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
10. Транспорт рудных карьеров / М.В. Васильев, Б.Ф. Фадеев, С.А. Фесенко, В.Л. Яковлев. Тр. Института горного дела. Свердловск: Средне-Урал. кн. изд-во, 1968. С. 316–329.
11. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора карьерного транспорта. Новосибирск: Наука, 1989. 238 с.
12. <http://ru.gemcomsoftware.com/node/17>
13. <http://www.cae.com/mining/>

Рецензент В.А. Гордеев

Geoinformation assessment of quality variation titan-magnetite ore in Gusevogorsk deposit

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

Mining Institute, Urals Branch of RAS

The article describes a method of geometrization of qualitative characteristics Gusevogorsk field titan-magnetite ores using geoinformation support for efficiency highlight technological types of minerals in order to increase the extraction of valuable components.

Keywords: *quality management, geometrization, GIS software, Surpac, titanomagnetite ore Gusevogorsk deposit.*