

УДК 552.08:553.3.042

Тимохин Александр Владимирович
научный сотрудник,
сектор управления качеством минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: timohin.igduran.geo@mail.ru

Кантемиров Валерий Данилович
кандидат технических наук,
заведующий сектором
управления качеством минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: ukr@igduran.ru

Титов Роман Сергеевич
старший научный сотрудник,
сектор управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: ukrigd15@mail.ru

Яковлев Андрей Михайлович
старший научный сотрудник,
сектор управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: quality@igduran.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ,
ОБМЕННЫХ СИГНАЛОВ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПЕТРОФИЗИКИ
НА МАССИВАХ ХРИЗОТИЛАСБЕСТА
И ТИТАНОМАГНЕТИТА
ДЛЯ СОРТОВОГО КАРТИРОВАНИЯ
(ИЗ АРХИВОВ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ
ОЦЕНКИ МАГМАТИЧЕСКИХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА)**

Аннотация:

Предложены оксид-метрические алгоритмы исследования на основе удельного сопротивления (электрометрия). Установлено, что сигнальная роль в росте петрофизических свойств принадлежит MgO и Al₂O₃ в ионных средах (сумма окислов sp-металлов) и наложении сильных, спектральных компонент (источники соединений d-элементов), включая магнитные субстанции Fe₃O₄ обменной природы. Анализ удельных констант металлов из литературных источников [6, 8 – 9] и результатов наблюдений электропроводности обеспечил выделение признаков наследования спектральной информации: атомов окислами, окислов – минеральной средой в геохимической обстановке магматических оруденений. Раскрывается нейтральность Ca (CaO- твердый диэлектрик) в среде легких окислов металлов ат. № ≤ 20 (впервые в 2002 – 2004 гг.) в отличие от сравнительных данных об инертности Mg. MgO и Al₂O₃ представляют отдельные источники полупроводниковых носителей в ионной среде диэлектриков: SiO₂, K₂O, CaO, Na₂O. В активации ионных спектров роль атомного размера Mg оказывается сильнее действия массы атома Ca-, в этом суть выделенной инверсии свойств CaO ↔ MgO. Измерения донорно-акцепторного механизма в сформированной ковалентной связи (роль Mg и Al как источников) при условиях наложения обменных субстанций (источники Fe₃O₄) дают основания интерпретации физических констант окислов, и позволяют связать сортовой рост проводимости с уплотнением, с повышением основности и ростом магнитной восприимчиво-

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.03.061

Timokhin Alexander V.
Researcher,
sector of quality management
of mineral raw materials,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: timohin.igduran.geo@mail.ru,

Kantemirov Valery D.
Candidate of Technical Sciences,
Head of the sector of quality management
of mineral raw materials,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: ukr@igduran.ru

Titov Roman S.
Senior Researcher,
sector of quality management
of mineral raw materials,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: ukrigd15@mail.ru,

Yakovlev Andrey M.
Senior Researcher,
sector of quality management
of mineral raw materials,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: quality@igduran.ru,

**STUDY OF SPECTRAL AND EXCHANGE
SIGNALS OF MEASURING PETROPHYSICS
ON SERPENTINE-ASBESTOS
AND TITANO-MAGNETITE ARRAYS
FOR VARIETAL MAPPING
(FROM THE ARCHIVES OF ELECTROMETRIC
EVALUATION OF MAGMATIC DEPOSITS
OF THE URALS)**

Abstract:

The paper concerns oxide-metric algorithms for the research on the basis of the resistivity (electrometrisms). It was established that the signal role in the growth of petrophysical properties belongs to MgO and Al₂O₃ in ionic media (the sum of SP-metal oxides) and the superimposition of strong, spectral components (sources of D-element compounds), including magnetic Fe₃O₄-substances of an exchange nature. The analysis of specific constants of metals from literature sources [6, 8-9] and of results of observing the electrical conductivity provided the identification of signs of inheritance of spectral information: atoms by oxides and oxides by mineral medium in the geochemical environment of magmatic mineralization. It reveals the neutrality of Ca (CaO – solid dielectric) in the medium of oxides of light metals with atomic No. ≤ 20 (for the first time in 2002-2004) in contrast to the comparative data on the inertia of Mg. MgO and Al₂O₃ represent separate sources of semiconductor carriers in the ionic medium of dielectrics: SiO₂, K₂O, CaO, Na₂O. In the activation of ion spectra, the role of the atomic size of Mg is stronger than the action of the mass of the Ca-atom – this is the essence of the selected inversion of the properties of CaO ↔ MgO. Measurements of the donor-acceptor mechanism in the formed covalent bond (the role of Mg and Al as sources) and the conditions for superimposing of exchange substances (Fe₃O₄-sources) give grounds for interpretation of the physical constants of oxides. And they allow us to link the varietal increase in conductivity

сти (магнетизации). Это дает новый повод для измерений и вместе с инструментами петрологии основания высокоточной сортовой идентификации малых образцов: ядер, проб из развалов, измельченный и переработанный геоматериал, включая концентраты, хвосты и отходы. Выделенные свойства получают развитие в новых методиках, начиная с обмеров залежей в естественном залегании и затем в изучении проб горной массы на всем пути перевалки, включая пункты контроля на обогатительных фабриках. Исследование раскрывает предмет новой и восполненной оценки в потенциале и комбинировании различных петрофизических измерителей. Приведены примеры электрометрии в сортовой геометризации на месторождениях, анализируются перспективы практического применения установленных сигналов.

Ключевые слова: магматические месторождения, ультраосновной состав, обменная природа спектров магнетита, геометризация, сортовое планирование, горная и обогатительная геотехнология

with concentration, with growing index of basicity and with increase in magnetic susceptibility (magnetization). This gives a new reason for measurements and, together with petrology tools, the basis for high-precision varietal identification of small samples: cores, samples from bits and pieces, chopping and working materials, including concentrates, tailings, and wastes. The mentioned properties will be developed in new methods, starting with measurements of deposits in the natural occurrence and further in the research of samples of rock mass along the entire route of transshipment, including control points at processing plants. The study reveals the subject of a new and updated assessment in the potential and combination of various petrophysical meters. Examples of electrometrisation in varietal geometrization in fields are given, and prospects for practical application of the established signals are analyzed.

Keywords: magmatic deposits, ultrabasic composition, exchanging nature of spectras of magnetite, geometrization, sorted planning, mining and enrichment geotechnology.

Введение

Идея петрофизических исследований месторождений сформулирована в 2002 г. (ИГД УрО РАН, лаборатория управления качеством руд); предложены новые подходы измерений в области оценки качества, обогатимости и металлургических кондиций; поставлены 2 крупные цели [1 – 10].

Исходные данные и результаты исследования

Электрометрия – методически развитый способ раскрытия сигнальных маркеров легких окислов ($Z \leq 20$). Обработка измеренной электрометрическим методом информации производится на основе интерпретации геопотенциальных полей. Результатом обработки являются карты изолиний «геоблоков», разграничивающие их по высоте горизонта (уступа) на химотипы и раскрывающие их элементный и товарный потенциал. Построение таких карт может быть использовано в зависимости от степени интенсификации и объемов добычных работ при текущем (смена, сутки) и более длительном (3 ÷ 20 лет) планировании горных работ. При проектировании стационарной карьерной дорожной сети карты могут быть использованы для оценки участков размещения дороги, к примеру, в зоне выходов бедных, некондиционных руд и вмещающих комплексов. Также карты могут быть использованы при планировании развития фронта горных работ исходя из залегания ископаемого лучших товарных сортов (рис. 1), при определении направления и очередности отработки блоков.

Информация получаемых карт и разрезов позволяет определить контактную электрометрию как отдельный вид эксплуатационной, рудничной разведки, где полученные сигналы сортовых химотипов ископаемых, идентифицированных в измерениях и тестированных для задач разведки, служат новым оценочным алгоритмом вещественного состава рудопотоков обогатительных фабрик (обратная петрофизическая задача). Создается система принципиальной интерпретации комплексных руд и оптимизации технологий сложных переделов, связанных с поэтапным обогащением, использованием участков магнитных методов (СМС, ММС) и отдельным извлечением [1 – 14].

Основой равнодетальной геометризации и регистрации распределения сортов руд является синергия отдельных легких окислов и аддитивность другой, большей их части (- диэлектриков). Активация спектров – известный фактор петрофизики высоких и высших, элементных разрешений [15-18].

Экспериментальные электрометрические измерения проводились на Баженовском (хризотиласбест) и Гусевогорском (титаномагнетит) габбро-пироксенитовых массивах.

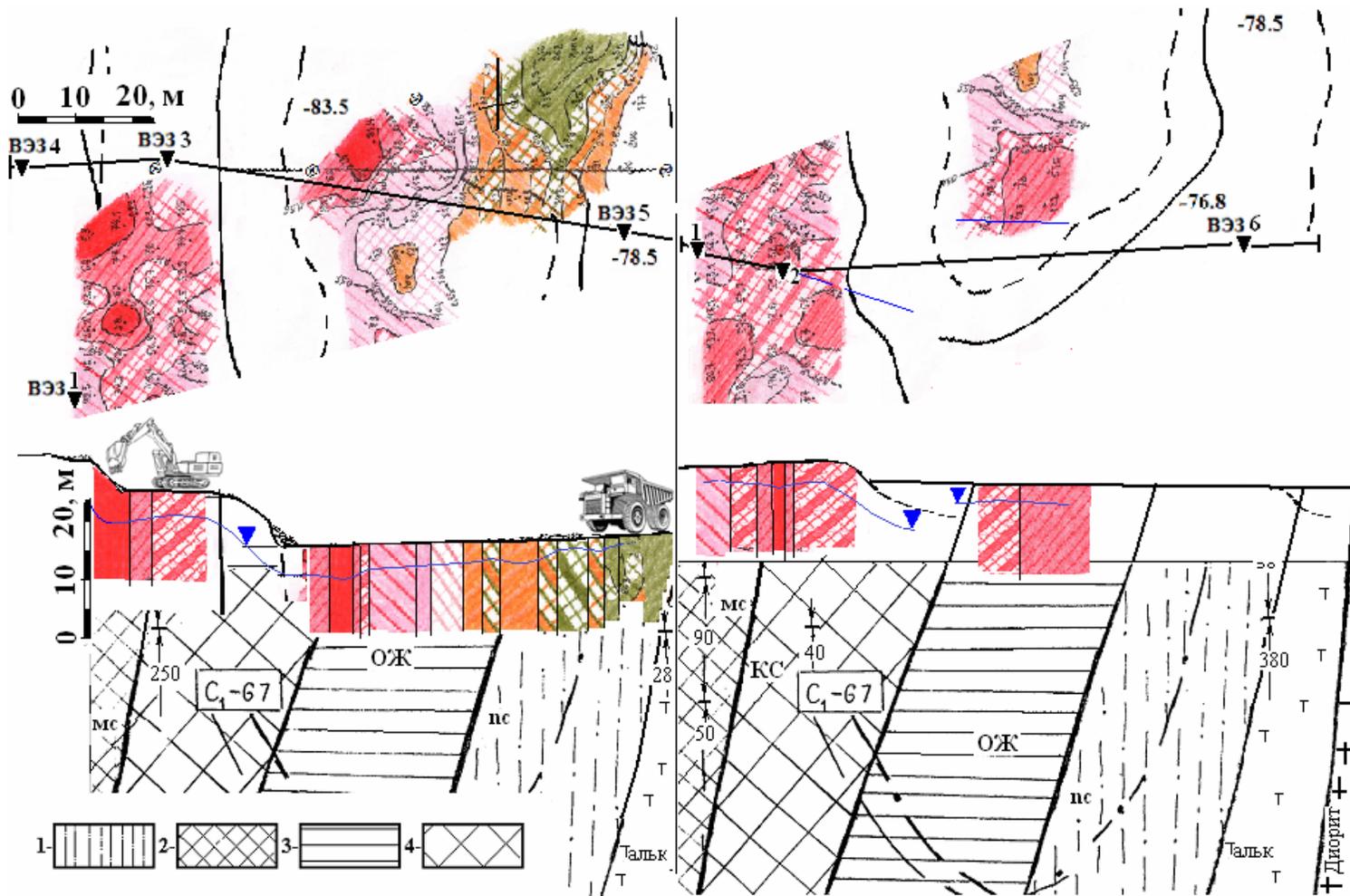


Рис. 1 – Карты и разрезы разведки хризотиласбеста (Залежь Глубинная_2, Баженово).
 Сорты традиционного деления качества (литотипы):
 1 – некондиционные (пс), 2 – мелкая сетка (МС), 3 – отороченные жилы (ОЖ), 4 – крупная сетка (КС);
 ▼ – пункты и номера вертикальных электро-зондирований (ВЭЗ); ◀ – подошва разрыхления,
 ▲ – уровень верховодки; - 78,5 – горизонт

Установлено, что основным породам массива – габбро, серпентиниту и диабазу – свойственен механизм донорно-акцепторного формирования дифференциации электропроводности в части влияния их главных окислов в противоположность содержащим магнетит (обменная природа носителей). Асбесты характеризуются замещением плагиоклаза (габбро и перидотиты) магнизиально-магнетитовым комплексом. Титаномагнетитам свойственны 2 химотипа: габброидный (аналог замещений в асбестах, выбывает Al_2O_3) и пироксеновый (выбывает диаллаг и MgO) при росте железа (рис. 2).

Выделена связь модуля основности $M_0 = 1/M_k$ (M_k – показатель металлургии) и окислов-маркеров, как $M_0 \approx 0,2115 \times (MgO/Al_2O_3) + 0,2405$, при $r = 0,9042$.

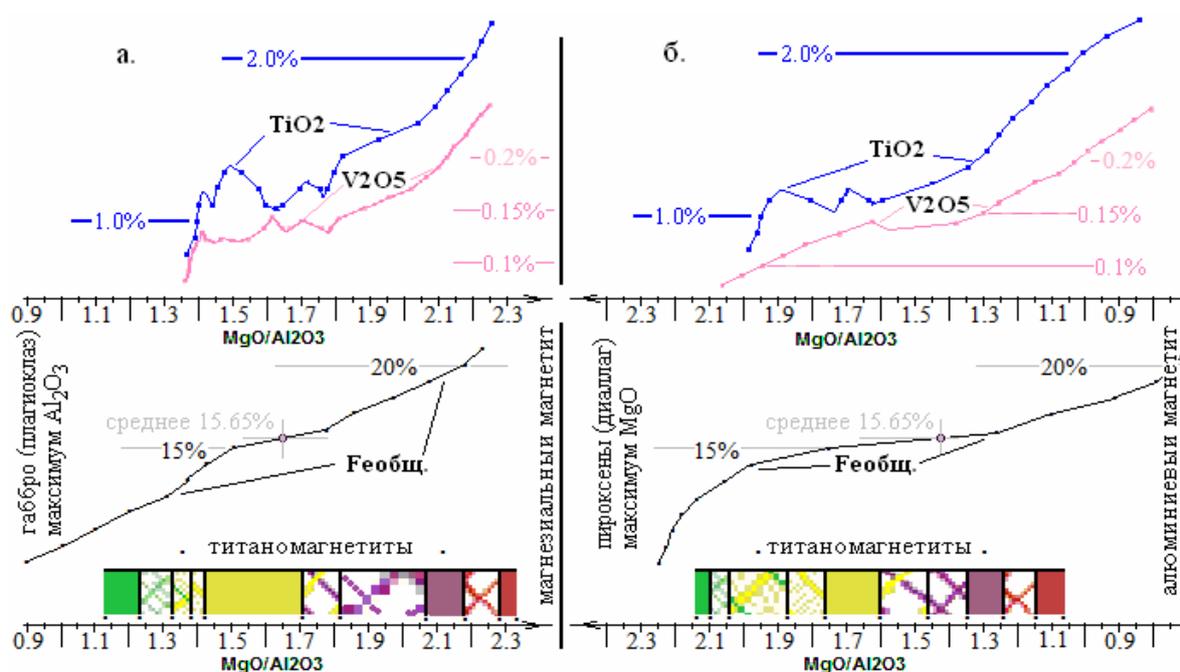


Рис. 2 – Модельная матрица свойств и состава титаномагнетита (анализ образцов)

*Фундаментальный вопрос исследования и дискуссии в литературе,
происхождение носителей*

Чистый магнетит (Fe_3O_4) обладает абсолютной магнитной восприимчивостью $\chi = 25 \cdot 10^{+5}$ ед. В отличие от синтетических веществ железа высокую проводимость в Fe_3O_4 (10^{-5} Ом.м) обеспечивает стехиометрический дефект – недостаток металла и быстрый обмен валентности на катионах (3-й, структурный тип носителей). Электроны, занимая уровни в ионах (2+) и (3+) разного размера, дают магнитный момент на зарядах (зонная теория). Железо в минерале замещают металлы до конца не установленного перечня, образуя неограниченный по составу структурный ряд шпинелей [15, 18 – 21]. Завершают ряд маггемит и гематит (диэлектрики, 10^4 Ом.м и более) стехиометрических катион-анион формул или близких к Fe_2O_3 , $Fe(2+) \rightarrow 0$. Заполнение металлами изоструктурных вакансий снижает емкость дефектов, дающих диполи (обменные носители), что сопровождается монотонным и направленным падением проводимости и магнетизации.

Вместе с тем влияние обменного механизма фаз Fe_3O_4 ощутимо и на отдельных участках массива габбро (габбро-норит, $Fe_{общ}$ 4,8 ÷ 5,8 %), что контролируется по слабо- и мало-магнитным образцам. В рудах хризотиласбеста (см. рис. 1) и титаномагнетитов (рис. 3) сигналы и присутствие Fe_3O_4 постоянны, минеральное окружение – окислы $Z \leq 20$ [15, 20, 21].

Подтверждаются положения, относящие минеральную среду к «твердым растворам». В большинстве растворимость металла связывается с низкими № и *ma*. Но изоэлектронное состояние пары металлов, в силу сродства катионов, т.е. «поглощение» структурой (вид растворимости) – это прежде всего функция малой разности их электронных потенциалов ΔE_0 . Магний (Mg), пограничный металл, обладает крайне низкой растворимостью, составляющей даже в гематите до 0,2 ат. %. И формирует отдельную фазу MgO, а в указанном случае с Fe₂O₃ (обменный источник) – структуру шпинели MgFe₂O₄ полупроводниковых свойств [15, 19].

Рассмотрены потенциалы E_0 и относительная электроотрицательность элементов (ОЭО) (шкала Луо и Бенсона) [16].

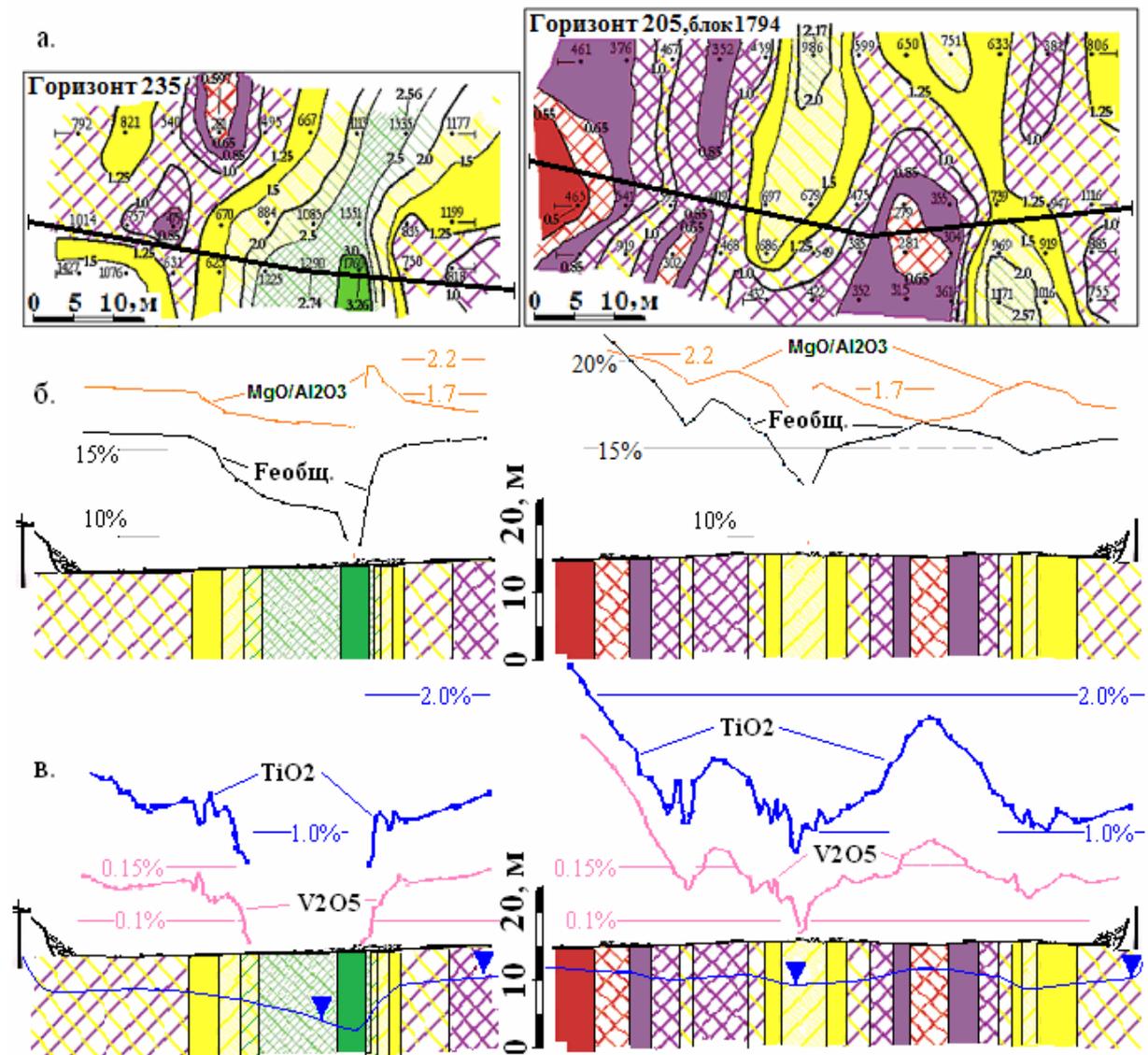


Рис. 3 – Примеры разведки титаномagnetитов (Северный карьер, Гусевогорское месторождение)

▼ – уровень верховодки

В трактовках ионных, ковалентных и металлических типов связи имеются нюансы и глубокие различия с очевидным отрицанием в минеральных средах одной из них в чистом виде. В крайних типах: к ионной связи можно отнести SiO₂, K₂O, CaO, Na₂O (малые E_0 и ОЭО металлов, кислород O(2-) сильный окислитель), а к металлической – ряд magnetитов, плитчатые бокситы (высокий удельный вес, блеск на сколах).

Обсуждается донорно-акцепторный механизм формирования ковалентной связи при внедрении Mg, Al и Fe в среду ионных типов. В окружении SiO₂ и окислов s-металлов I группы носители MgO и Al₂O₃ (константы 400 и 20 Ом.м) можно объяснить единственно избытком металла, полагая в Na₂O или начиная уже с CaO, напротив, стехиометричность формул по валентности.

ОЭО показывает, что гетеро-атомные связи Fe-Al; Fe-Mg сильнее гомо-атомных Fe-Fe; Al-Al; Mg-Mg, а гетеро-валентные – чем Fe(2+)-Fe(2+); Al(3+)-Al(3+); Fe(3+)-Fe(3+); Mg(2+)-Mg(2+). Насыщение Fe, Al и, в меньшей степени, Mg – фактор металлического типа. Связи «предпочтут» гетеро-атомность в малейшем присутствии других металлов и носители, начиная с ближних E₀. Без такой возможности прежде проявится гетеро-валентность (Fe₃O₄), что с энергетических позиций объясняет необратимый обменный источник от Fe и носители от Al к Mg уменьшаемого действия, вплоть до крайне низкой магнитной восприимчивости MgAl₂O₄ (вид шпинели без Fe). Слабомагнитны примесные магнезиты, бокситы, диабазы и габбро. Так, график уравнения габбро M_к был отчасти выположен и скорректирован для компенсации завышенного модуля, искажаемого влиянием фаз Fe₃O₄.

Обсуждение результатов

Первая цель новых оценочных подходов – полевые эксперименты и раскрытие сигналов для разработки методов физических наблюдений в латерально-глубинном поле электротометрии. Объекты изучения – крупные участки месторождений типичного и различного геологического строения, литологической обстановки у контактов. Анализ стационарных свойств окислов как маркеров качества ископаемого и полученные карты и разрезы сортовых распределений дали основания отдельному виду эксплуатационной разведки. Информационные преимущества – совмещение с технологической оценкой, гибкие методики сгущения геоданных между скважинами детальной разведки и взрывания, картирование и сортовая идентификация, по точности превосходящие магнито-каротажный метод.

В то же время, исходя из сигнальных параметров, фиксируемых авторами в разведке, был необходим переход к анализу спектральных явлений (- происхождении носителей) и минеральных полупроводников - вторая крупная цель в исследовании. В частности, установленная направленность изменений констант металлов дает признаки «наследования» спектральной информации: атомов окислами, окислов геологической средой. И позволяет связать сортовую разведку с уплотнением, с ростом основности в изменениях структурных связей и магнитной восприимчивости (магнетизации), что дает основания высокоточной сортовой идентификации малых образцов: кернов, проб из развалов, измельчений и переработанного геоматериала, включая концентраты, хвосты и отходы.

При измерениях зафиксирована нейтральность CaO (впервые в 2002 – 2004 гг. авторами настоящей работы) в отличие от традиционных представлений об известии как основном оксиде. И лишь потом следует интерпретация инверсии CaO ↔ MgO. В активации роль атомного размера Mg оказывается сильнее действия массы атома Ca. Сигнальная роль в дифференциации и направленном росте петрофизических свойств принадлежит MgO и в Al₂O₃, их активационному действию в ионных средах (сумма окислов sr- металлов) и наложением сильных, спектральных компонент (источники соединений d- элементов), включая обменные фазы чистого магнетита [13 – 15, 18 – 20].

Выделенные свойства – предмет приложений петрофизики в геотехнологии, начиная с обмеров геоблоков в естественном залегании и затем в изучении проб горной массы на всем пути перевалки, включая пункты контроля на обогатительных фабриках. Информация для сортового планирования – предмет новой и восполненной оценки в потенциале и комбинировании различных петрофизических измерителей.

Примеры эффектов оценочных измерений для сортового планирования, обеспечивших энерго-ресурсосбережение [12, 14, 22]:

- идентификация блоков известняка по норме очистки только в благоприятный период (зимой работа грохота исключена) и известково-глинистых составов в отходах, пригодных для производства цемента;
- сортовое картирование пород группы габбро для производства минеральной ваты и подсчеты количеств корректирующего известняка с кратным увеличением продукции – планы сырьевого использования вскрышных блоков залежей асбеста;
- картирование свойств асбестовых отвалов, оценка подотвальных вод и структурных разрезов для производства щебня;
- оценка связанной влажности и составов концентратов мокрой магнитной сепарации.

Выводы

Нюансы ат. № ≤ 20 в трактовках богатых руд в бедных «превращаются» в глубокие различия. Запасы титаномагнетитов в РФ уже сейчас составляют до 80 %. За время имеющейся технологии от 6 % Fe теряется. Электрометрия обеспечит регистрацию карт содержаний магнитных фаз в хвостах (вариант разведки насыпных, техногенных объектов). Мгновенное срабатывание измерителей изменяет подходы. Сверхзадача темы – исключение потерь магнитного вещества на обогатительных фабриках, что обеспечит гибкие энергорежимы, специализирующиеся на сортах, с конечной роботизацией технологических процессов.

Алгоритмы сигнально-спектральных высших, сортовых разрешений качества, обогатимости и металлургических кондиций обеспечивают решение широкого круга задач энергоресурсосбережения.

Список литературы

1. Тимохин А. В., Лаптев Ю.В., Титов Р.С., 2007. Явление инверсии металлических свойств С-Mg, как петрофизическая основа применения электрометрии при определении геометрии залегания руд на Саткинском месторождении магнезитов. *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сборник трудов конф. IV научные чтения Ю. П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 02-06 июня 2007 г.)*, Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, С. 192-194.
2. Лаптев Ю.В., Тимохин А.В., Титов Р.С., 2009. Петрофизическая модель сопротивления полупроводниковых рудных минералов как основа эксплуатационной разведки обрабатываемых месторождений огнеупоров и бокситов с применением электрометрии. *Геодинамика, глубинное строение, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сборник трудов конф. V научные чтения Ю.П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 06-10 июля 2009 г.)*, Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, С. 286-290.
3. Тимохин А.В., 2011. Схема обработки сигнала регистрации электрического сопротивления на Бишкекском прогностическом полигоне во временном диапазоне 1.06-1.09.1986, включающем землетрясение M=3.5. *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сборник трудов конф. VI научные чтения Ю. П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 12-17 сентября 2011 г.)*, Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, С. 342-345.
4. Лаптев Ю.В., Тимохин А.В., Титов Р.С., Кантемиров В.Д., Титов К.С., 2011. Особенности электрометрии при разведке хризотиласбеста и титаномагнетитов в эксплуатационных целях. *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сборник трудов конф. VI научные чтения Ю. П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 12-17 сентября 2011 г.)*, Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, С. 226-229.

5. Тимохин А.В., Гальянов А.В., 2011. Металломорфозы как фактор полезного сигнала регистрации рудопроявлений и рассеянных структур окислов. *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сборник трудов конф. VI научные чтения Ю.П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 12-17 сентября 2011 г.)*. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, С. 346-350.

6. Тимохин А.В., 2013. Металлометрическая Fe-, Al- и Mg- дифференциация оруденений при технологической оценке (геолого-геофизическая характеристика потенциала извлечения). *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сборник трудов конф. VII научные чтения Ю.П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 8-13 сентября 2013 г.)*, Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, С. 269-275.

7. Тимохин А.В., Лаптев Ю.В., Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М., 2015. «Влагомерная» методика электрометрии как принципиальное решение формирования устойчивой, безопасной геометрии добычных блоков на разрабатываемых карьерами месторождениях титаномагнетитов и хризотиласбеста. *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сборник трудов конф. VIII научные чтения Ю. П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 14-18 сентября 2015 г.)*, Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, С. 331-334.

8. Тимохин А.В., Лаптев Ю.В., Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М., 2015. Петрофизическая характеристика и геохимическая регистрация (металлометрический принцип) рудных полей, представленных различными гео-типами Mg, Al, Fe- минерализации, при разномасштабной сырьевой оценке. *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сборник трудов конф. VIII научные чтения Ю. П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 14-18 сентября 2015 г.)*, Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, С. 326-330.

9. Тимохин А.В., Лаптев Ю.В., Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М., 2015. Горно-геометрические задачи картирования карстов и роль гидродинамической модели в прикладных схемах полевой электроразведки и скважинных методов: резистивиметрии и термометрии. *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: сборник трудов конф. VIII научные чтения Ю.П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 14-18 сентября 2015 г.)*, Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, С. 321-325.

10. Тимохин А.В., 2017. Литолого-структурные и петрофизические особенности известковых массивов как специальные фундаментальные факторы сырьевой оценки минеральной базы содового производства (на примере Чаньвинского месторождения). *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей : сборник трудов конф. IX научные чтения Ю. П. Булашевича, (г. Екатеринбург, 18-22 сентября 2017 г.)*, Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, С. 404-408.

11. Адамов Э.В., Алексеева Т.И., Андреев Е.Е., 1990. *Технологическая оценка минерального сырья: справочное пособие*. Москва: Недра, 264 с.

12. Кузин В.Ф., 2008, *Способы и системы оперативного контроля для управления качеством*. Москва: МГГУ, Изд-во «Горная книга», 374 с.

13. Алексеев В.В., Гаврилов Д.В., 2008. *Металлургия Урала с древнейших времён до наших дней*. Москва: Наука, 886 с.

14. Козин В.З., 2009. *Исследование руд на обогатимость: учебное пособие*. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 380 с.

15. Шуй Р.Т., 1979. *Полупроводниковые рудные минералы*. Ленинград: Недра, 288 с.

16. Sanderson R.T., 1976. *Chemical Bonds and Bond Energy*, N.Y.: Acad. Press, 218 p.

17. Кикоин И.К., 1976. *Таблицы физических величин*. Москва: Атомиздат, 1008 с.
18. Дортман Н.Б., 1992. *Петрофизика. Горные породы и полезные ископаемые: справочник. Книга первая*. Москва: Недра, 361 с.
19. Madelung O. et al. (eds.), 2000. Substance: Fe₃O₄. Property: Electrical Conductivity. *Semiconductors*, Springer.
20. Дубинчик Е.Я, Путинцев В.К., 1974. Петрофизические фации интрузивных пород и их рудоносность. *Советская Геология*, № 2, С. 62-77.
21. Маракушев А.А., Бобров А.В., 2005. *Метаморфическая петрология*. Москва: Наука, 256 с.
22. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Тимохин А.В., Яковлев А.М., 2020. Совершенствование методов учета повышенных потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3-1, С. 466-477. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-466-477

References

1. Timokhin A. V., Laptev Yu.V., Titov R.S., 2007. *Yavlenie inversii metallicheskih svoystv S-Mg, kak petrofizicheskaya osnova primeneniya elektrometrii pri opredelenii geometrii zaleganiya rud na Catkinskom mestorozhdenii magnezitov* [Inversion Phenomenon of C-Mg Metallic Properties as Petrophysical Basis for the Use of Electrometry in Determining the Geometry of Ore Deposits at Satkinsky Magnesites Deposit]. *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei: sbornik trudov konf. IV nauchnye chteniya Yu. P. Bulashevicha*, (g. Ekaterinburg, 02-06 iyunya 2007 g.), Ekaterinburg : IGF UrO RAN, S. 192-194.
2. Laptev Yu.V., Timokhin A.V., Titov R.S., 2009. *Petrofizicheskaya model' soprotivleniya poluprovodnikovyykh rudnykh mineralov kak osnova ekspluatatsionnoi razvedki otrabatyvaemykh mestorozhdenii ogneporov i boksitov s primeneniem elektrometrii* [Petrophysical Resistance Model of Semiconductor Ore Minerals as Basis for Operational Exploration of Developed Deposits of Refractories and Bauxites Using Electrometry]. *Geodinamika, glubinnoe stroenie, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei: sbornik trudov konf. V nauchnye chteniya Yu.P. Bulashevicha*, (g. Ekaterinburg, 06-10 iyulya 2009 g.), Ekaterinburg : IGF UrO RAN, S. 286-290.
3. Timokhin A.V., 2011. *Skhema obrabotki signala registratsii elektricheskogo soprotivleniya na Bishkekskom prognosticheskom poligone vo vremennom diapazone 1.06-1.09.1986, vklyuchayushchem zemletryasenie M=3.5* [Scheme for Signal Processing of Registered Electrical Resistance at Bishkek Prognostic Polygon in Time-lapse 1.06-1.09.1986, Including an Earthquake of M=3.5]. *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei : sbornik trudov konf. VI nauchnye chteniya Yu. P. Bulashevicha*, (g. Ekaterinburg, 12-17 sentyabrya 2011 g.), Ekaterinburg: IGF UrO RAN, S. 342-345.
4. Laptev Yu.V., Timokhin A.V., Titov R.S., Kantemirov V.D., Titov K.S., 2011. *Osobennosti elektrometrii pri razvedke khризотиласbesta i titanomagnetitov v ekspluatatsionnykh tselyakh* [Electrometrical Features while Exploration of Chrysotile-asbestos and Titanium-magnetites for Operational Purposes]. *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei: sbornik trudov konf. VI nauchnye chteniya Yu.P. Bulashevicha*, (g. Ekaterinburg, 12-17 sentyabrya 2011 g.), Ekaterinburg: IGF UrO RAN, S. 226-229.
5. Timokhin A.V., Gal'yanov A.V., 2011. *Metallomorfozy kak faktor poleznogo signala registratsii rudoproyavlenii i rasseyannykh struktur okislov* [Metallomorphoses as Factor of Useful Signal for Recording Ore Occurrences and Scattered Structures of Oxides]. *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei: sbornik*

trudov konf. VI nauchnye chteniya Yu. P. Bulashevicha, (g. Ekaterinburg, 12-17 sentyabrya 2011 g.). Ekaterinburg: IGF UrO RAN, S. 346-350.

6. Timokhin A.V., 2013. *Metallometricheskaya Fe-, Al- i Mg- differentsiatsiya orudenenii pri tekhnologicheskoi otsenke (geologo-geofizicheskaya kharakteristika potentsiala izvlecheniya)* [Metallometrical Fe-, Al- and Mg- Differentiation of Mineralization during Technological Assessment (Geological and Geophysical Characteristics of Extraction Potential)]. Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei: sbornik trudov konf. VII nauchnye chteniya Yu.P. Bulashevicha, (g. Ekaterinburg, 8-13 sentyabrya 2013 g.), Ekaterinburg: IGF UrO RAN, S. 269-275.

7. Timokhin A.V., Laptev Yu.V., Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M., 2015. «*Vlagomernaya*» *metodika elektrometrii kak printsipial'noe reshenie formirovaniya ustoychivoi, bezopasnoi geometrii dobychnykh blokov na razrabatyvaemykh kar'erami mestorozhdeniyakh titanomagnetitov i khrizotilasbesta* ["Moisture-measuring" Method of Electrometry as Fundamental Solution for the Formation of Stable and Safe Geometry of Mining Blocks at Fields of Titanium-magnetites and Chrysotile-asbestos Developed by Quarries]. Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei: sbornik trudov konf. VIII nauchnye chteniya Yu. P. Bulashevicha, (g. Ekaterinburg, 14-18 sentyabrya 2015 g.), Ekaterinburg: IGF UrO RAN, S. 331-334.

8. Timokhin A.V., Laptev Yu.V., Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M., 2015. *Petrofizicheskaya kharakteristika i geokhimicheskaya registratsiya (metallometricheskii printsip) rudnykh polei, predstavlennykh razlichnymi geo-tipami Mg, Al, Fe- mineralizatsii, pri raznomasshtabnoi syr'evoi otsenke* [Petrophysical Characterization and Geochemical Registration (Metallometrical Principle) of Ore Fields Represented by Different Geo-types of Mineralization (Mg, Al, Fe) with Different-scale Raw Material Estimation]. Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei: sbornik trudov konf. VIII nauchnye chteniya Yu. P. Bulashevicha, (g. Ekaterinburg, 14-18 sentyabrya 2015 g.), Ekaterinburg: IGF UrO RAN, S. 326-330.

9. Timokhin A.V., Laptev Yu.V., Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M., 2015. *Gorno-geometricheskie zadachi kartirovaniya karstov i rol' gidrodinamicheskoi modeli v prikladnykh skhemakh polevoi elektrorazvedki i skvazhinnykh metodov: rezistivimetrii i termometrii* [Mining and Geometric Issues of Karst Mapping and Role of Hydrodynamic Model in Applied Schemes of Field Electrical Exploration and Borehole Methods: Resistivity and Thermometry]. Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei: sbornik trudov konf. VIII nauchnye chteniya Yu.P. Bulashevicha, (g. Ekaterinburg, 14-18 sentyabrya 2015 g.), Ekaterinburg: IGF UrO RAN, S. 321-325.

10. Timokhin A.V., 2017. *Litologo-strukturnye i petrofizicheskie osobennosti izvestkovykh massivov kak spetsial'nye fundamental'nye faktory syr'evoi otsenki mineral'noi bazy sodovogo proizvodstva (na primere Chan'vinskogo mestorozhdeniya)* [Lithological-structural and Petrophysical Features of Calcareous Massifs as Special Fundamental Factors of Raw Material Evaluation for Mineral Base of Soda Production (on Example of Chanvinsky Deposit)]. Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei : sbornik trudov konf. IX nauchnye chteniya Yu. P. Bulashevicha, (g. Ekaterinburg, 18-22 sentyabrya 2017 g.), Ekaterinburg: IGF UrO RAN, S. 404-408.

11. Adamov E.V., Alekseeva T.I., Andreev E.E., 1990. *Tekhnologicheskaya otsenka mineral'nogo syr'ya : spravochnoe posobie* [Technological Evaluation of Mineral Raw Materials: Reference Guide]. Moscow: Nedra, 264 s.

12. Kuzin V.F., 2008, *Sposoby i sistemy operativnogo kontrolya dlya upravleniya kachestvom rud pyd* [Methods and Systems of Operational Control for Ore Quality Management]. Moscow: MGGU, Izd-vo "Gornaya kniga", 374 s.

13. Alekseev V.V., Gavrilov D.V., 2008. *Metallurgiya Urala s drevneishikh vremen do nashikh dnei* [Metallurgy of the Urals from Ancient Times to the Present Day]. Moscow: Nauka, 886 s.
14. Kozin V.Z., 2009. *Issledovanie rud na obogatimost': uchebnoe posobie* [Study of Ores for Concentrability: a textbook]. Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 380 s.
15. Shui R.T., 1979. *Poluprovodnikovyye rudnye mineraly* [Semiconductor Ore Minerals]. Leningrad: Nedra, 288 s.
16. Sanderson R.T., 1976. *Chemical Bonds and Bond Energy*, N.Y.: Acad. Press, 218 p.
17. Kikoin I.K., 1976. *Tablitsy fizicheskikh velichin* [Tables of Physical Quantities]. Moscow: Atomizdat, 1008 s.
18. Dortman N.B., 1992. *Petrofizika. Gornye porody i poleznye iskopaemye: spravochnik. Kniga pervaya* [Rocks and Minerals: Reference Guide. The First Book]. Moscow: Nedra, 361 s.
19. Madelung O. et al. (eds.), 2000. Substance: Fe₃O₄. Property: electrical conductivity. Semiconductors, Springer.
20. Dubinchik E.Ya, Putintsev V.K., 1974. *Petrofizicheskie fatsii intruzivnykh porod i ikh rudonosnost'* [Petrophysical Facies of Intrusive Rocks and their Ore Content]. *Sovetskaya Geologiya*, № 2, S. 62-77.
21. Marakushev A.A., Bobrov A.V., 2005. *Metamorficheskaya petrologiya* [Metamorphic Petrology]. Moscow: Nauka, 256 s.
22. Kantemirov V.D., Titov R.S., Timokhin A.V., Yakovlev A.M., 2020. *Sovershenstvovanie metodov ucheta povyshennykh poter' i razbozhvaniya poleznogo iskopaemogo pri dobyche* [Improvement of Methods for Accounting of Increased Losses and Dilution of Minerals during Mining]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3-1, S. 466-477. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-466-477