

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 1, Number 409 (2015), 73 – 79

**ANALYSIS OF GEOPHYSICAL WELL LOGGING DIAGRAMS  
AND RESULTS OF IRON-CONTAINING CORE RESEARCH****G. Zhylkybayeva, G. Borisenko**

Kazakh national technical university after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: gulnarazhyl@mail.ru; bgt69@mail.ru

**Key words:** magnetic susceptibility, magnetic susceptibility logging, electrical resistivity, electrical logging, well, remnant ore, magnetite ore, quality of ore, percentage of the common and the magnetic iron.

**Abstract.** The scope of using geophysical methods in the study of iron wells was analyzed. It was shown that the used complex makes it possible to study cross-sections of wells and assess the quality of the mineral. The levels of common and magnetic iron among the wells of the studied area were compared, as well as levels of sulfur and phosphorus based on the results of core analysis. Correlation between magnetic susceptibility and total iron content in the ore is established.

УДК 550.832.56

**АНАЛИЗ ДИАГРАММ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН И РЕЗУЛЬТАТЫ  
ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРНА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО УЧАСТКА****Г. А. Жылкыбаева, Г. Т. Борисенко**

Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** магнитная восприимчивость, каротаж магнитной восприимчивости, удельное электрическое сопротивление, электрокаротаж, скважина, рудный интервал, магнетитовая руда, качество руды, процентное содержание общего и магнитного железа.

**Аннотация.** Проанализированы возможности геофизических методов при изучении железорудных скважин. Показано, что применяемый комплекс ГИС позволил изучить разрезы скважин и оценить качество полезного ископаемого. Проведено сопоставление процентных содержаний общего и магнитного железа по скважинам изучаемого участка, и процентным содержанием серы и фосфора по результатам анализов керна. Установлена корреляционная связь между магнитной восприимчивостью и общим содержанием железа в рудах.

**Введение.** Рациональный комплекс ГИС в поисково-разведочных скважинах, бурящихся на железные руды проводится [1]:

– для выделения и корреляции в разрезах скважин магнетитовых руд, расчленения их по типам, определения в рудах содержание железа, связанного с магнетитом: каротаж магнитной восприимчивости, электромагнитный каротаж – КМВ, ЭМК;

– для определения содержания общего (магнетитового в том числе) железа в породах и рудах: нейтронный гамма-каротаж спектрометрический - НГКС, гамма-гамма-каротаж селективный – ГГКС;

– для определения плотности руд: гамма-гамма-каротаж плотностной – ГГКП;

- для геометризации рудных подсечений (основной), при корреляции горизонтов магнетит-содержащих руд и их расчленения по типам (вспомогательный): каротаж магнитного поля – КМП;
- вспомогательный метод для обработки данных НГКС в сложных условиях (изменяющаяся пористость руд и др.): нейтрон-нейтронный каротаж – ННК;
- для уточнения мощности и строения залежей, хорошо проводящих железных руд: метод электродных потенциалов – МЭП, индукционный каротаж – ИК;
- для определения содержаний полезных и вредных примесей в рудах: рентгенорадиометрический каротаж – РРК.

В скважинах изучаемого участка проведен комплекс геофизических методов: метод кажущегося удельного электрического сопротивления кровельным градиент-зондом N0,1M1,0A, каротаж магнитной восприимчивости и кавернометрия. Диаграммы КМВ, КС, кавернометрии использовались для изучения разрезов скважин (расчленения разрезов и выделения железорудных интервалов). Интерпретация диаграмм КС проведена по стандартной методике. Если мощность интервала высокого сопротивления больше 1,05 метра, то он отмечается на кривой КС асимметричным максимумом. При этом кровля интервала отбивается по максимальному сопротивлению, а подошва – по минимальному. Интервал низкого сопротивления фиксируется, соответственно наоборот, асимметричным минимумом и кровля интервала отбивается по минимальному сопротивлению, а подошва – по максимальному [2-4].

Одной из основных задач геофизических исследований на изучаемом участке являлось выделение рудных пересечений и оценка содержания железа в них. Результаты каротажа магнитной восприимчивости использовались для выделения рудных интервалов, зон вкрапленности магнетита и оценки в них содержания железа. Диаграммы КМВ оперативно используются для выбора интервалов геологического опробования керна, так как рудные пересечения выделяются повышенными значениями магнитной восприимчивости на кривых КМВ и низкими значениями КС (рисунок 1).

С помощью КМВ решаются такие задачи, как литологическое расчленение разрезов скважин, определение контактов и мощностей интервалов с повышенными магнитными свойствами, определение величины магнитной восприимчивости пород и руд, определение процентного содержания железа в рудах. Литологическое расчленение разрезов по данным КМВ основано на различном содержании магнитных минералов (в основном, магнетита) в разных горных породах. Из изверженных пород минимальными значениями магнитной восприимчивости характеризуются породы кислого состава – граниты, сиениты и др.; повышенными – породы основного и ультраосновного состава; из осадочных пород наибольшими значениями магнитной восприимчивости отличаются глины [5].

Рудные интервалы на месторождении характеризуются очень низкими значениями кажущегося сопротивления. Массивные и прожилковые руды низкоомны ( $\rho_k = 1-30$  Ом), вкрапленные руды имеют электрические сопротивления близкие с вмещающими породами ( $\rho_k = 1500-2500$  Ом). По КМВ нижняя и верхняя границы интервалов оруденения мощностью больше 0,4 м ( $h > 2L$ , где  $L$  – размер датчика равный 0,2 м,  $h$  – мощность интервала оруденения) отмечаются по точкам, в которых значение магнитной восприимчивости равно половине амплитуды аномалии. Высокая магнитная восприимчивость магнетитовых руд ( $10000 - 200000 \times 10^{-5}$  ед. СИ) позволяет выявить их методом КМВ с большой эффективностью. Величина магнитной восприимчивости  $\chi$  прямо пропорциональна содержанию магнетита в руде. Для убогих руд, с содержанием железа общего 20 - 30%, средняя величина магнитной восприимчивости по рудному интервалу достигает  $50000 \times 10^{-5}$  ед. СИ. Богатые руды, с содержанием железа общего больше 50%, имеют среднюю магнитную восприимчивость по рудному интервалу больше  $100000 \times 10^{-5}$  ед. СИ.

Для однозначного выделения руд магнетитового состава и определения содержания железа в них нашел широкое применение метод магнитной восприимчивости. Впервые метод в его современной модификации был применен В. Н. Пономаревым в 1959 году на северном фланге Соколовского месторождения Кустанайской области. Было показано [5], что измерения магнитной восприимчивости на месторождениях, представленных магнетитовыми рудами, могут быть использованы для определения содержания железа. Определение содержания железа основано на том, что магнитная восприимчивость горных пород и руд зависит, в основном, от включения

ферромагнитных минералов, к числу которых относятся широко распространенные магнетит, титаномагнетит и пирротин. При большой концентрации магнетита в породе устанавливается пропорциональная статистическая зависимость между магнитной восприимчивостью и содержанием магнетита в породе [6].

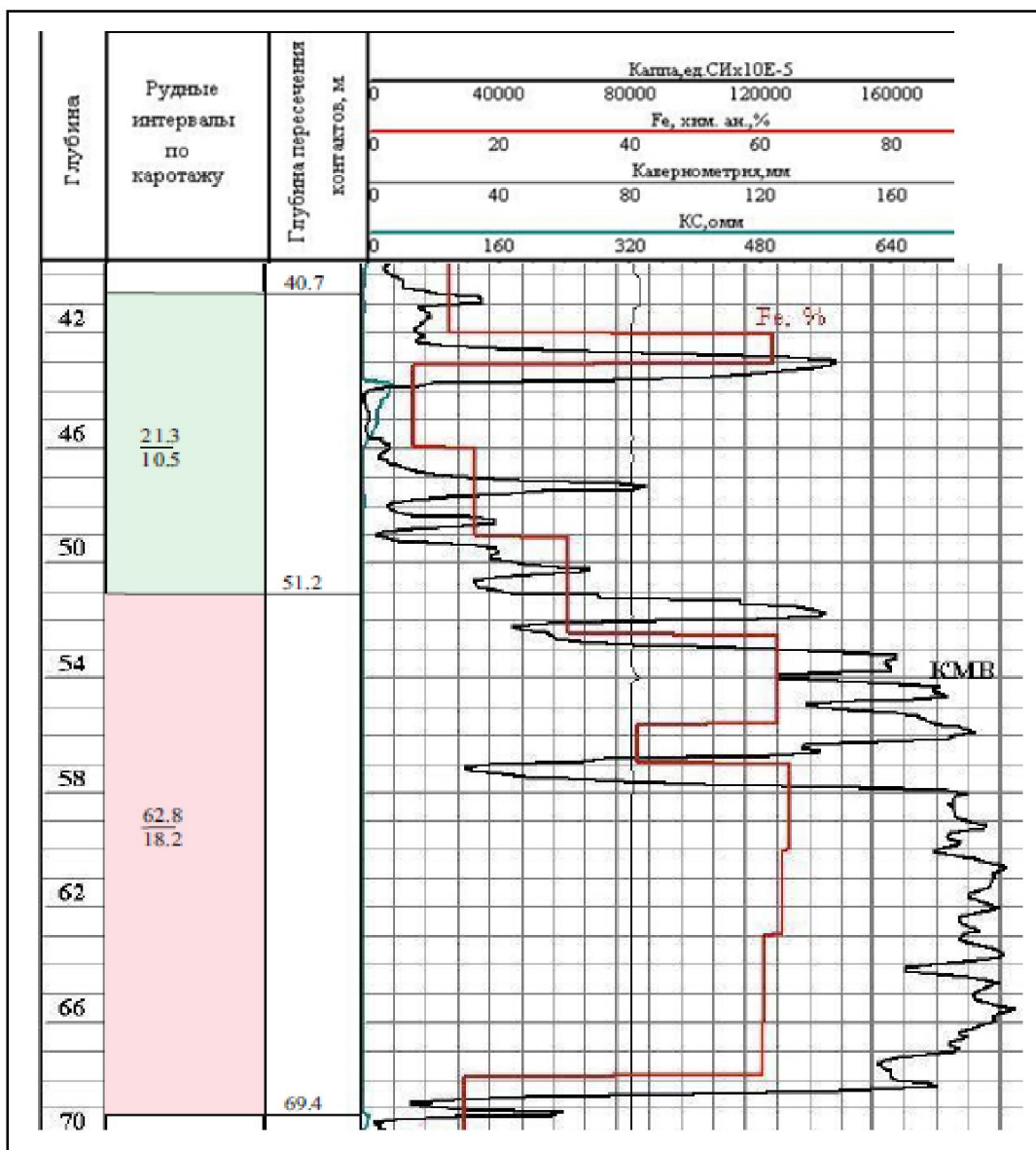


Рисунок 1 - Геофизическая характеристика рудных интервалов по комплексу ГИС

Для конкретных месторождений или типов руд может быть установлена зависимость  $C_{Fe\text{ общ}} = f(x)$ . Зависимости получают сопоставляя результаты определения процентного содержания железа по скважинам месторождения на представительном керне и данные каротажа магнитной восприимчивости по этим скважинам. Поскольку магнитная восприимчивость определяется не только количеством ферромагнитного материала, но и зависит от различных примесей, текстуры и структуры руд [5, 7, 8], то для повышения точности определения содержания железа в рудах необходимо строить градуировочные зависимости для всех разновидностей магнетитовых руд [9, 10].

По результатам сопоставления анализов керна и показаний КМВ определяют зависимость между содержанием общего железа ( $Fe_{\text{общ}}$ ) и магнитной восприимчивостью. По оси абсцисс для каждого взятого интервала опробования наносятся значения магнитной восприимчивости  $\chi$ , а по

оси ординат — соответствующее процентное содержание железа, установленное по результатам химического анализа. По полученным точкам проводится осредненная линия. В случае линейной зависимости можно пользоваться аналитическим способом определения валового железа по формуле:

$$C_{\text{Fe общ}} = A \times \chi + p, [\%]$$

Зависимость для изучаемого участка имеет вид (рисунок 3):

$$C_{\text{Fe общ}} = 0,05 * 10^{-2} \chi + 5,7251 [\%]$$

Коэффициент корреляции  $r = 0,931$ , что свидетельствует о надежности корреляционной связи. Среднеквадратическое отклонение  $\delta = 1,75$ , достоверность аппроксимации  $R^2 = 0,9924$ .

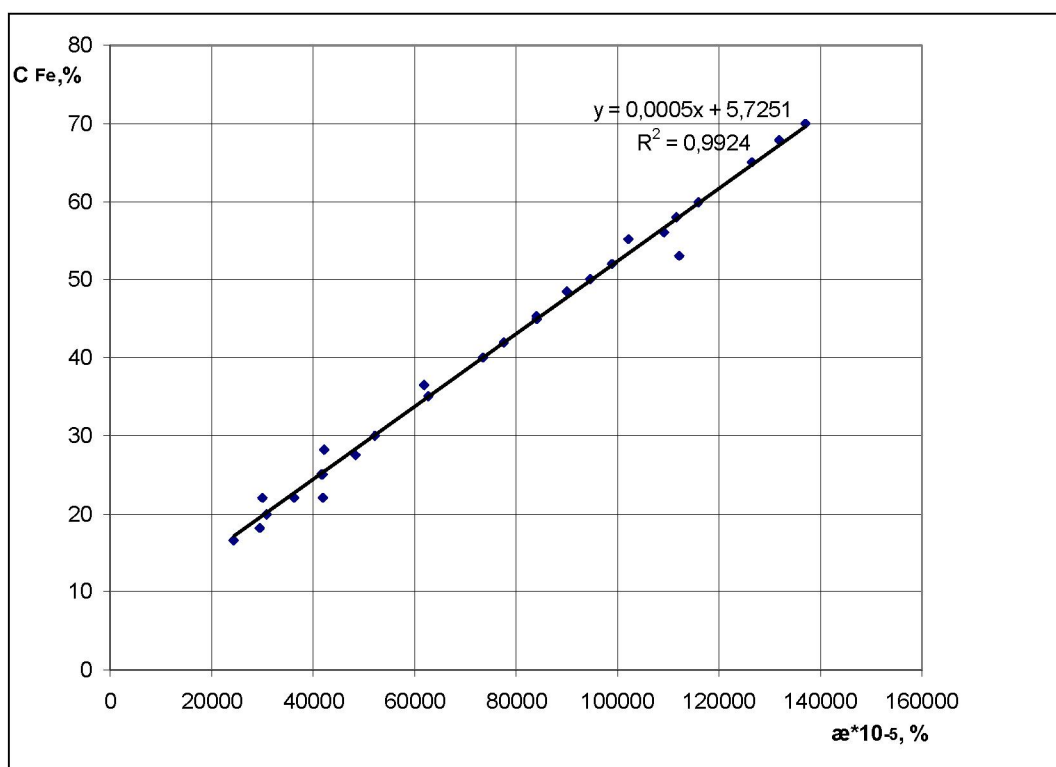


Рисунок 2 – Зависимость магнитной восприимчивости от содержания железа в руде

Поскольку магнитная восприимчивость определяется не только количеством содержащегося железа в рудах, но и химическим составом, наличием элементов примесей, текстурой и структурой руд, точность определения железа по КМВ может оказаться различной для разных месторождений даже одного и того же генетического типа. Значительные вариации не исключены и в пределах одного месторождения. Для уменьшения погрешности в определении содержания железа, берем среднюю магнитную восприимчивость на возможно больших интервалах, где практически встречаются все разновидности руд и результаты осредняются. Используя корреляционную зависимость между содержаниями железа общего по данным геологического опробования керна и зарегистрированной величиной магнитной восприимчивости, оперативно оценивают содержание железа. Измерения методом КМВ на всех скважинах участка работ были произведены одним комплектом аппаратуры ТСМК-30, при одинаковых настройках, что позволило использовать полученную зависимость для оценки всех рудных интервалов. При геологическом опробовании определяется содержание железа по керну радиусом 0,024 м. По каротажу магнитной восприимчивости измеряют магнитную восприимчивость в естественном залегании в породах, окружающих скважину радиусом 0,2 м. Шаг магнитного опробования по глубине составляет 0,1 м, что гораздо меньше

шага геологического опробования. Поэтому рудные пересечения по каротажу представлены дифференцированными аномалиями диаграмм ГИС (рисунок 1). Анализируя результаты геофизических исследований разрезов скважин на изучаемом участке, можно сделать заключение о том, что комплекс геофизических исследований позволил успешно решить поставленные задачи.

По результатам химического анализа изучена связь между содержаниями общего и магнитного железа (рисунок 3), зависимость между процентным содержанием общего и магнитного железа тесная, коэффициент корреляции  $r = 0,945$ , достоверность аппроксимации  $R^2 = 0,997$ .

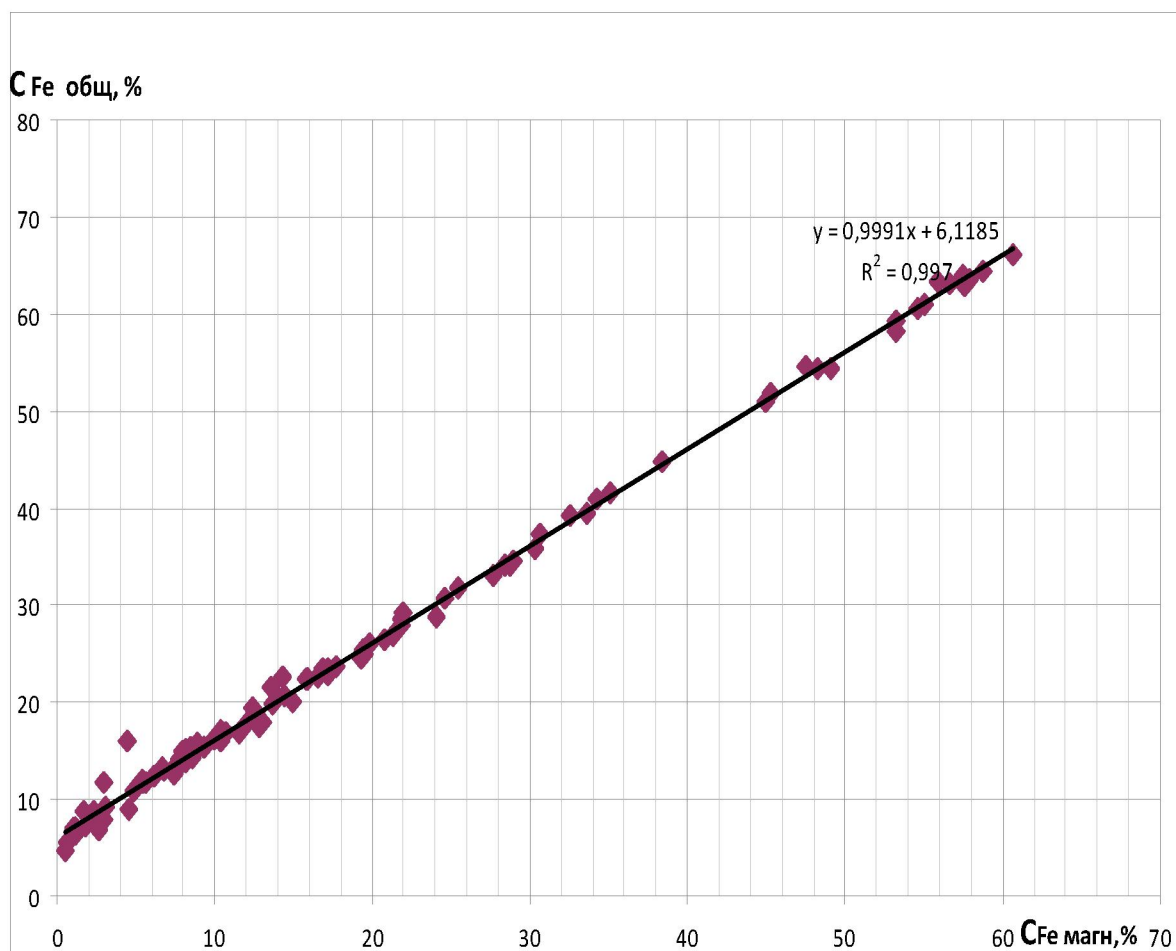


Рисунок 3 – Зависимость между процентным содержанием общего и магнитного железа

На рисунках 4, 5 приведены поля корреляции между содержаниями общего железа, процентным содержанием серы и фосфора. Как видно из приведенных рисунков, корреляционные связи между содержаниями общего железа с серой и фосфором отсутствуют.

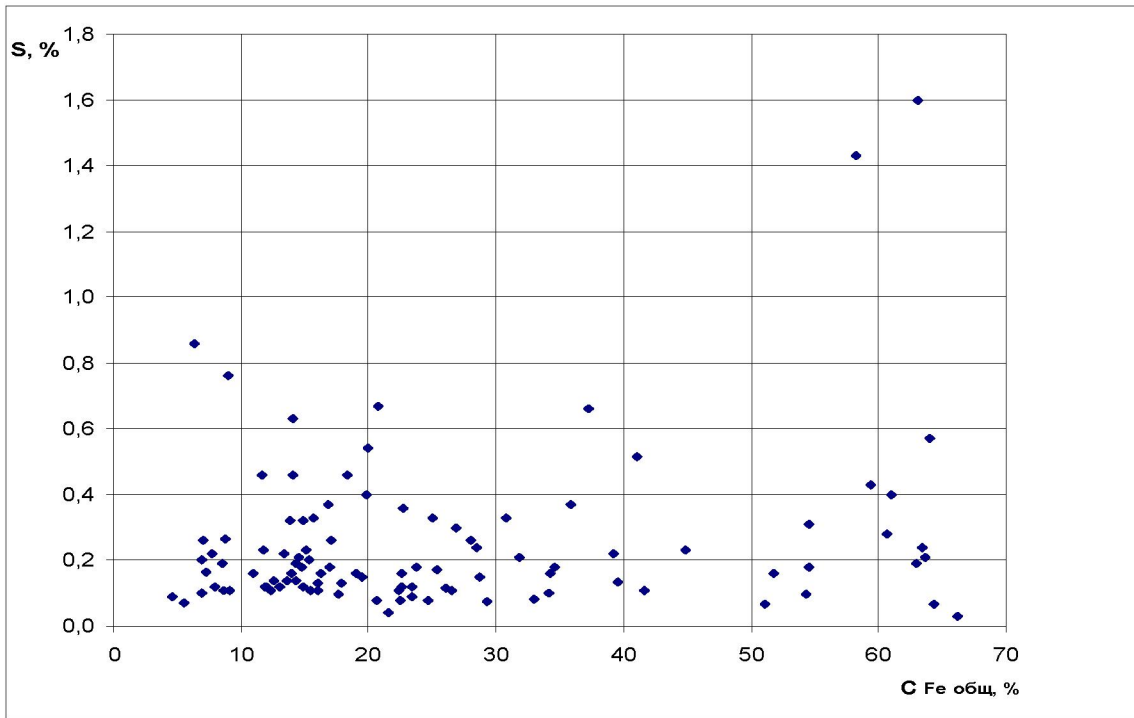


Рисунок 4 – Зависимость между процентным содержанием общего железа и серы

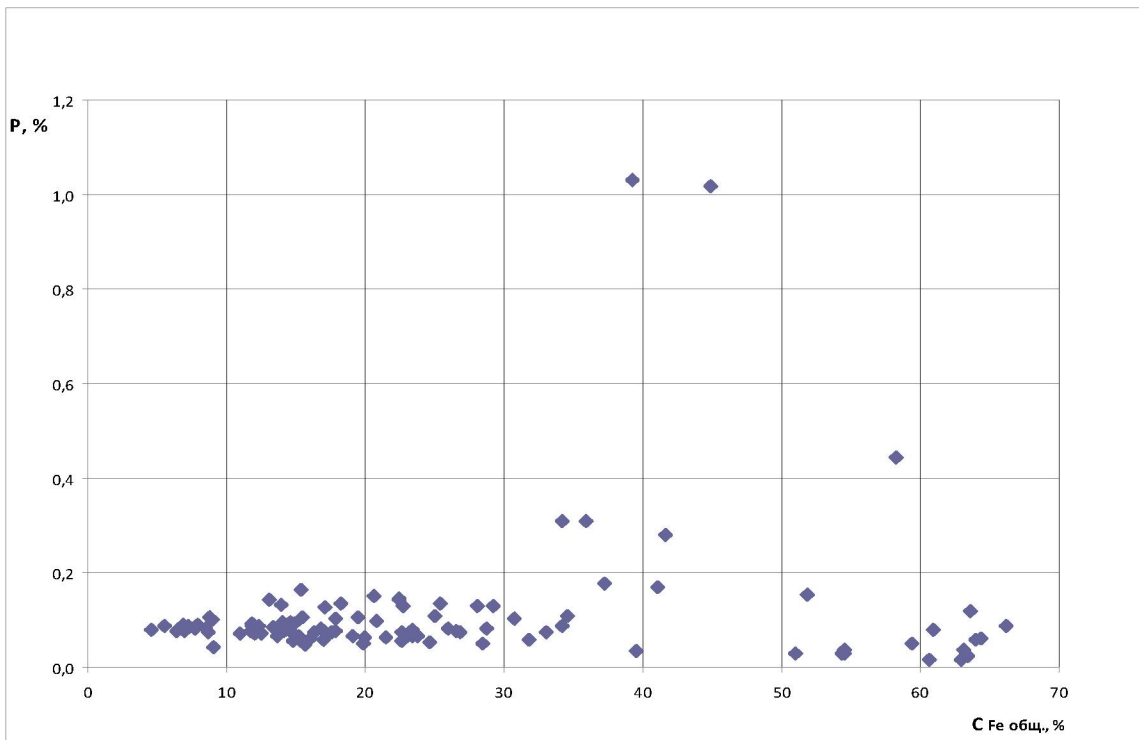


Рисунок 5 – Зависимость между процентным содержанием общего железа и фосфора

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Инструкция по проведению геофизических исследований рудных скважин. – М.: ВИРГ-Рудгеофизика, 2001.
- [2] Сковородников И.Г. Геофизические исследования скважин: Курс лекций. – Екатеринбург: УПТА, 2003.
- [3] Борисенко Г.Т., Ахметов Е.М. Геофизические исследования в рудных и угольных скважинах. Учебное пособие для магистрантов специальности 6М074700 «Геофизические методы поисков и разведки МПИ»), для бакалавров специальности 05В0706 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». – Алматы: КазНТУ, 2014.
- [4] Латышова М.Г., Мартынов В.Г., Соколова Т.Ф. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС. Уч. пос. для вузов. – М.: ООО «Недра - Бизнесцентр», 2007. – 327 с.
- [5] Пономарев В.Н., Авдонин А.И. Руководство по скважинной магниторазведке и магнитному каротажу. – Свердловск, 1966.
- [6] Пономарев В.Н., Глухих И.И. Магнитокаротажный метод определения магнитного железа в магнетитовых рудах по величине магнитной восприимчивости // Изв. АН СССР. Серия геоф., 1963. № 8.
- [7] Борисенко Ю.Н., Борисенко Г.Т., Шавыкин С.И. Результаты опытных кашпаметрических работ на месторождении Западный Каражал // Сб. Разведочная геофизика. – Вып. 58. – М.: Недра, 1973.
- [8] Шавыкин С.И., Борисенко Ю.Н., Борисенко Г.Т. Результаты опытных геофизических работ по опробованию железных руд во взрывных скважинах шахты месторождения Западный Каражал // В кн.: Внедрение и направления развития геофизических методов на горных предприятиях. – Белгород, ВИОГЕМ, 1972.
- [9] Шавыкин С.И., Васильев М.М., Соколов Л.В. Определение процентного содержания железа в буровзрывных скважинах Сарбайского месторождения по данным кашпаметрии // Сб. Разведочная геофизика. – Вып. 40. – М.: Недра, 1970.
- [10] Шавыкин С.И., Красноперов В.А., Борисенко Ю.Н. Применение геофизических методов для оценки содержания железа во взрывных скважинах карьеров Соколовско- Сарбайского комбината // В кн.: Внедрение и направления развития геофизических методов на горных предприятиях. – Белгород: ВИОГЕМ, 1972.

## REFERENCES

- [1] Instructions for conducting geophysical studies of ore wells. M.: Virgen Rudgeofizika, 2001. (in Russ.).
- [2] Skovorodnikov I.G. Well logging: Lectures. Ekaterinburg: UPTA, 2003. (in Russ.).
- [3] Borisenko G.T., Akhmetov E.M. Geophysical exploration of ore and coal wells. Textbook. For undergraduates specialty 6M074700 "Geophysical methods of prospecting and exploration of mineral deposits") for undergraduate majoring 05V0706 – "Geology and Exploration of Mineral Deposits". Almaty: KazNTU, 2014. (in Russ.).
- [4] Latyshova M.G., Martynov V.G., Sokolova T.F. Practical guidance on the interpretation of GIS data. Textbook. M.: LLC "Nedra - Business centers," 2007. 327 s. (in Russ.).
- [5] Ponomarev V.N., Avdonin A.I. Guide downhole magnetic survey and magnetic logging. Sverdlovsk, 1966. (in Russ.).
- [6] Ponomarev V.N., Glikhikh I.I. Magnetic logging method for determining the magnetite iron ores in magnitude of magnetic susceptibility. Bulletin of USSR Academy of Sciences, Series Geophysics. 1963. N 8. (in Russ.).
- [7] Borisenko Y.N., Borisenko G.T., Shavykin S.I. The results of the experimental magnetic susceptibility work in the field West Karazhal. Exploration Geophysics. P. 58. M.: Nedra, 1973. (in Russ.).
- [8] Shavykin S.I., Borisenko Y.N., Borisenko G.T. The results of geophysical work of the experimental testing on iron ore in blast holes mine fields in Western Karazhal. In the book: Implementation and direction of development of geophysical methods in mining enterprises. Belgorod: VIOGEM, 1972. (in Russ.).
- [9] Shavykin S.I., Vasiliev M.M., Sokolov L.V. Determination of the percentage of iron in blast-hole wells Sarbai field according the data of magnetic susceptibility measurement. Bulletin Exploration Geophysics. P. 40. M.: Nedra, 1970. (in Russ.).
- [10] Shavykin S.I., Krasnopyorov V.A., Borisenko Y.N. Application of geophysical methods to estimate the iron content in the blast holes quarries Sokolovsko Sarbai plant. In the book. The introduction and development trends of geophysical methods for mining enterprises. Belgorod: VIOGEM, 1972. (in Russ.).

**ҰҢҒЫМАДАҒЫ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ ДИАГРАММАЛАРЫН САРАПТАУ  
ЖӘНЕ ТЕМІР РУДАСЫН ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ**

**Г. А. Жылқыбаева, Г. Т. Борисенко**

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** слова: магниттік қабілеттілік, магниттік қабілеттілікті каротаждау, меншікті электр кедергі, электрлік каротаж, ұңғыма, рудалық аралық, магнетитті руда, руданың сапасы, магниттік темірдің жалпы пайызы.

**Аннотация.** Темірлік руда ұңғымасын зерттеудегі геофизикалық әдістердің мүмкіншілігі сарапталған. Ұңғымада геофизикалық әдістерді кешенді түрде қолдану арқылы ұңғыма кимасын және кеннің сапасын зерртеу мүмкіншілік анықталды. Зерттеу участогінде ұңғымалардағы жалпы магнитті темірдің пайыздық құрамы мен тасбағандағы фосфор мен сераның пайыздық құрамы салыстырылған. Магниттік қабілеттілік пен темірлік руда арасында коорелляциялық байланыс бар екені анықталған.

Поступила 04.02.2015 г.