

УДК 552.122/.123:553.31

**Свистун В.К.**, инженер  
(ДГЭ «Днепрогеофизика»)

**Пигулевский П.И.**, д-р геол. наук, ст. науч. сотр.  
(ИГ НАН Украины)

**Кирилюк А.С.**, инженер  
(ИППЭ НАН Украины)

## **ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМАЦИЙ И ГРУПП КРИВОРОЖСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО РАЙОНА**

**Свистун В.К.**, инженер  
(ДГЕ «Дніпрогеофізика»)

**Пігулевський П.Г.**, д-р геол. наук, ст. наук. співр.  
(ІГ НАН України)

**Кирилюк О.С.**, інженер  
(ІППЕ НАН України)

## **ПЕТРОФІЗИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМАЦІЙ И ГРУП КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО РАЙОНУ**

**Svistun V.K.**, M. Sc. (Tech.)  
(DGT «Dneprogeophysika»)

**Pigulevskiy P. I.**, D. Sc. (Geol.), Senior Researcher  
(IG NAS of Ukraine)

**Kyrylyuk O.S.**, M. Sc. (Tech.)  
(IPPE NAS of Ukraine)

## **PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF FORMATIONS AND GROUPS OF KRIVOY ROG IRON ORE DISTRICT**

**Аннотация.** Целью исследований были анализ и обобщение материалов физических свойств горных пород и руд Криворожского железорудного района и прилегающих территорий. Изучены и систематизированы сведения по дифференциации плотностных и магнитных характеристиках протерозойских и архейских метаморфизованных осадочно-вулканогенных, ультраметаморфических и интрузивных пород.

В статье применена единая методика обработки результатов измерений физических свойств по территории всего Среднеприднепровского региона. Информация для исследований была собрана из производственных геологических и геофизических отчетов и литературных источников. Анализ имеющихся фактических геолого-геофизических материалов по Криворожскому железорудному району показал, что густота расположения пробуренных на площади скважин неравномерна и соответствует масштабам от 1:100000 до 1:50000. В результате изучения физических свойств кристаллических пород была выполнена петрофизическая классификация пород. Выделены петроплотностные и петромагнитные группы пород с учетом закономерных связей между физическими свойствами, составом и текстурой пород, отражающие условия их образования, литогенеза и метаморфизма. Использование существующей системы геолого-геофизических критериев выделения формаций позволило конкретизировать возможности использования петрофизики при изучении тектоники и структурно-вещественных комплексов Криворожского железорудного района и прилегающих террито-

---

© В.К. Свистун, П.И. Пигулевский, А.С. Кирилук, 2015

рий. Изложенные в статье результаты исследований позволяют построить петроплотностные и петромагнитные карты латеральной изменчивости физических свойств горных пород, оценить изменения физических параметров с глубиной и влияние их на наблюдаемые на поверхности земли аномальные эффекты.

**Ключевые слова:** формация, комплекс, физические свойства, плотность, намагниченность.

**ВВЕДЕНИЕ.** На современном этапе прогнозирования месторождений полезных ископаемых наиболее эффективными признаны методы всестороннего комплексного анализа геологических, геофизических и геохимических данных. Такие данные накоплены в Днепропетровской геофизической экспедиции (ДГЭ) «Днепрогеофизика» за последние 50–60 лет в результате планомерных, систематических исследований недр Земли. Они позволяют получить информацию о геологическом строении как приповерхностных частей земной коры, так и о ее глубинных структурах и процессах, происходящих в верхней мантии.

Одним из направлений обобщения и анализа комплексной информации является создание петрофизических карт и изучение на их основе сложной, но закономерной связи физических характеристик геологических формаций с историей развития земной коры, с процессами осадконакопления, магмообразования и метаморфизма.

Вопросы тектоники, стратиграфии, магматизма и метаморфизма докембрия Криворожского железорудного района (Кривбасса) и его обрамления (рис. 1) разработаны недостаточно полно, что связано как со сложностью геологического строения региона в целом, так и гипотетичностью концепций тектонического развития Криворожско-Кременчугской структурно-формационной зоны. Обзор тектонических схем предыдущих исследований приведен в работах Б.З. Берзенина, Н.М. Доброхотова, Г.И. Каляева, Н.Я. Азарова [1,2].

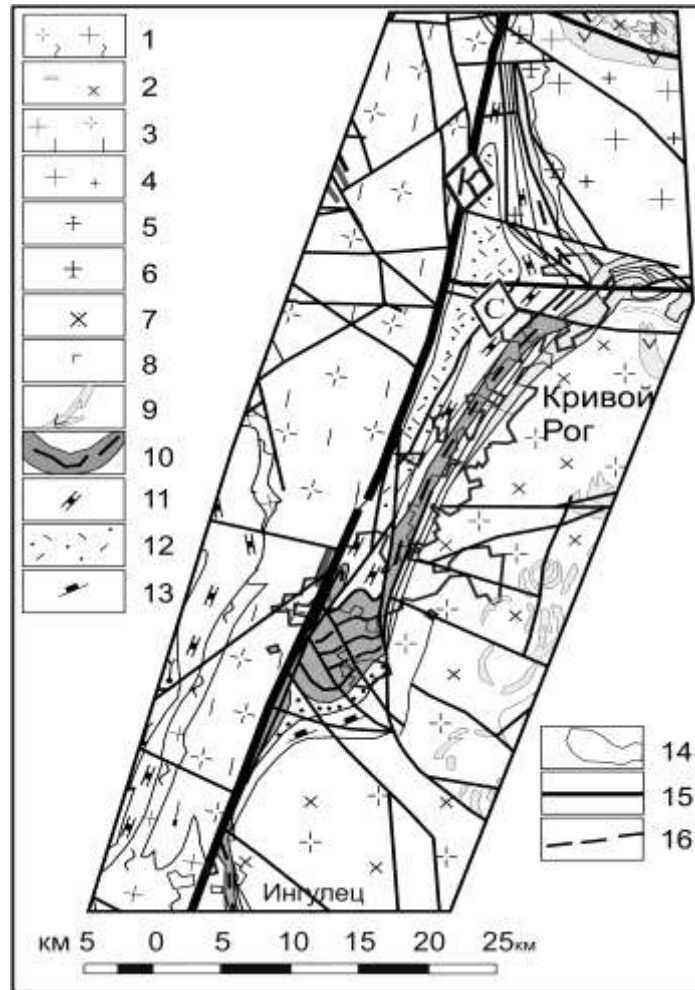
В целом район Кривбасса имеет многоярусное строение, в котором выделяются докембрийский, палеозойский, мезозойский и кайнозойский структурные этажи.

Определению дифференциации по плотности и магнитным характеристикам протерозойских и архейских метаморфизованных осадочно-вулканогенных, ультраметаморфических и интрузивных пород, обусловленной разными условиями их образования и интенсивностью метаморфических процессов посвящена настоящая статья.

**СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ.** В 60–90-е годы прошлого столетия в Криворожском железорудном районе было выполнено достаточное количество кондиционных геологических и геофизических крупномасштабных съемок, сопровождавшихся отбором образцов из керна скважин и обнажений для последующего определения их физических свойств.

Анализ ранее выполненных работ показал, что изучение физических свойств пород производственными организациями выполнялось бессистемно, по различной методике, что привело к наличию ряда существенных недостатков в

этих работах.



К – Криворожско-Кременчугский глубинный разлом;  
С – Криворожская (Саксаганская) структура.

1 – плагиограниты и плагиомигматиты биотитовые, амфибол-биотитовые; 2 – граниты и мигматиты биотитовые, амфибол-биотитовые порфиробластические; 3 – плагиограниты и плагиомигматиты, амфиболиты и диориты 4 – аплито-пегматоидные граниты, граниты биотитовые, амфибол-биотитовые, равномернозернистые и порфиробластические, плагиомигматиты биотитовые, амфибол-биотитовые; 5 – аплито-пегматоидные граниты, граниты биотитовые, амфибол-биотитовые, равномернозернистые и порфиробластические; 6 – граниты аплито-пегматоидные, граниты биотитовые, амфибол-биотитовые порфиробластические, плагиомигматиты биотитовые, амфибол-биотитовые; 7 – гнейсы и кристаллосланцы биотитовые, амфибол-биотитовые, амфиболовые, амфиболиты; 8 – габброиды; 9 – амфиболиты и сланцы плагиоклаз-амфибол-хлоритовые, плагиоклаз-амфиболовые гранатсодержащие, актинолититы, силикатно-магнетитовые кварциты; 10 – железистые кварциты, кварциты силикатно-магнетитовые, богатые железные руды; 11 – метапесчаники, кварциты, сланцы слюдисто-хлоритовые, мраморы, кальцифиры, офикальциты, гнейсы та сланцы биотитовые, гранат-биотитовые, слюдисто-графитовые, линзы железистых кварцитов; 12 – метапесчаники, метаконгломераты, метаалевролиты, сланцы слюдистые; 13 – гнейсы амфиболовые, биотитовые, гранат-биотитовые, амфиболиты, амфиболовые сланцы; 14 – литологические границы; 15 – разломы I и II рангов, установленные по материалам бурения; 16 – разломы разных рангов, предполагаемые по геофизическим полям

Рисунок 1 - Фрагмент геолого-формационной карты строения Криворожского железорудного района (по материалам Кичурчака В.М., Пигулевского П.И., 2003)

Основные из них следующие:

- отсутствовала единая система отбора образцов;
- измерение физических параметров производилось различной аппаратурой;
- скважины, из которых отбирались образцы, неравномерно располагались по площадям исследований;
- исследуемые образцы были различного срока хранения, выборки по отдельным разновидностям пород не всегда были представительными;
- не определялась пористость пород и т.д.

Также в эти годы были выполнены работы по обобщению физических свойств пород Кривбасса – Баклановым Н.И., 1963; Купчинским Е.П., 1971; Бурьяном Н.Р., 1985; Ключевой В.Ф., 1988, Золотаревой Л.И., 1992 и др. Этими работами наиболее полно были изучены и обобщены физические свойства (плотностные и магнитные) пород Криворожской, Анновской и Петровской синформных структур. В работе Н.Р. Бурьяна были обобщены и результаты исследований партии руднично-шахтной геофизики МЧМ УССР.

Фрагмент геолого-формационной карты строения Криворожского железорудного района (по материалам Кичурчака В.М., Пигулевского П.И., 2003) приведен на рис. 1.

В 1979–1985 гг. отрядом оперативного анализа Центральной геофизической партии ДГЭ «Днепрогеофизика» (Золотарева Л.И. и Ключева В.Ф.) по отдельным участкам работ были составлены каталоги фактического материала 1:50000 с привязкой к листам государственной разграфки, но при этом, уточнение наименований пород не проводилось.

В небольшом объеме изучение физических свойств пород проводилось криворожскими геологами и на этапе геологического изучения площади (ГИП-1) – при ее подготовке под бурение Криворожской сверхглубокой скважины (СГ-8) и в процессе ее бурения [2].

**МЕТОДИКА РАБОТ.** Несмотря на то, что каталоги отчетов содержали разнородные, иногда разноречивые сведения, они все же позволили сохранить большое количество первичного материала (в архивах материалы уничтожены) и облегчили авторам настоящей статьи работу по поиску, сбору и переобобщению материалов определений физических свойств горных пород.

Для повышения геологической эффективности накопленной информации по переобработке и дополнительному анализу результатов измерений физических свойств [5,6] была применена единая для всего Среднеприднепровского региона методика обработки [3,5]. Она учитывала методические подходы примененные авторами в работе [4].

Анализ имеющихся геологических материалов по Криворожскому железорудному району показал, что густота расположения пробуренных на площади скважин соответствовала разным масштабам (в большинстве случаев 1:50000).

Результаты изучения физических свойств кристаллических пород с последующим составлением петрофизических карт включали в себя обобщение

имеющихся разномасштабных и разнонаправленных исследований.

Для получения картины дифференциации физических свойств геологических образований, слагающих изучаемую площадь, исследования выполнялись в два этапа. На первом этапе была выполнена петрофизическая классификация пород, предусматривающая выделение петроплотностных и петромагнитных групп пород с учетом закономерных связей между физическими свойствами, составом и текстурой пород, отражающих условия их образования, литогенеза и метаморфизма. На втором, при построении петрофизических карт, по возможности более полно отразить физическую латеральную неоднородность геологических образований.

При этом ставились задачи:

- отразить наиболее существенные закономерности изменения физической характеристики пород разного генезиса и состава;
- использовать петрофизическую характеристику для выяснения общности или различия условий образования, литогенеза, метаморфизма разных геологических формаций для внесения корректив в существующую схему формационного расчленения пород докембрия.

Полученные средние значения плотности и намагниченности пород для различных комплексов позволили в дальнейшем разделить места распространения богатых и бедных железных руд, а также построить петрофизические карты отдельно по плотности и намагниченности пород.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.**

### ***Структурно-тектоническая позиция Кривбасса в структуре земной коры Западно-Ингулецко-Криворожско-Кременчугской шовной зоны.***

Западно-Ингулецко-Криворожско-Кременчугская шовная зона (ЗИККШЗ) [1] является источником железорудного потенциала Украины и повышенной сейсмичности в центральной части УЩ. Она состоит с трех структурно-формационных зон: – Западно-Ингулецкой (Кировоградской), которая прилегает с востока к Ингульскому мегаблоку; – Ингулецко-Криворожской, расположенной между Криворожско-Кременчугским и Ингулецким разломами; – Криворожско-Кременчугской, западной границей которой является Криворожско-Кременчугский глубинный разлом (ККГР). К нему приурочена Криворожско-Кременчугская структурно-формационная зона (СФЗ), которая пересекает УЩ в меридиональном направлении и отражает разновозрастной полициклический характер развития с многоярусной складчатостью, которая, в свою очередь, усложняется поперечными блочными разрывами. СФЗ достаточно хорошо изученная поскольку в ее границах находится самые большие в мире докембрийские железорудные бассейны (Криворожский и Кременчугский).

Между Криворожским и Кременчугским синклиниями вдоль глубинного разлома прослеживаются фрагменты складчатых структур, сложенных неполными разрезами криворожской серии, которые очень хорошо прослеживаются в гравитационном и магнитном полях и в их трансформантах.

Согласно принятой схеме формационного расчленения УЩ [1,4] на изучаемой территории выделяются 4 структурно-формационных комплекса, отличающихся по вещественному составу, степени регионального метаморфизма и ультраметаморфизма.

К этим подразделениям относятся архейские прогеосинклинальные комплексы (3500–2500 млн. лет), широко представленные на всей территории УЩ, раннепротерозойские протогеосинклинальные комплексы (2600–1900 млн. лет), развитые в пределах Западно-Ингулецкой и Криворожско-Кременчугской структурно-формационной зон, раннепротерозойские орогенные комплексы (2100–1700 млн. лет), проявляющихся в пределах антиформных структур и позднепротерозойские платформенные интрузивные комплексы (1600–1000 млн. лет), развитые в проницаемых зонах.

Каждый из структурно-формационных комплексов включает ряд формаций и групп формаций, петрофизическая характеристика которых приведена ниже.

В пределах Криворожско-Кременчугской структурно-формационной зоны в составе раннепротерозойских миоэвгеосинклинальных комплексов выделяются четыре группы формаций: метавулканогенная андезит-базальтовая, кремнисто-джеспилитовая, кремнисто-сланцево-карбонатная, метаконгломерат-метапесчаниковая. Породы комплекса несогласно залегают на размытой поверхности архейских гранитоидов и метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма.

В районе Кривбасса метавулканогенная андезит-базальтовая группа представлена метаандезит-базальтовой формацией, кремнисто-джеспилитовая – двумя формациями: джеспилит-кремнисто-сланцевой и кремнисто-карбонатно-метапесчаниковой; кремнисто-сланцево-карбонатная – также двумя – карбонатно-терригенной и метаконгломерат-метапесчаниковой.

Миогеосинклинальные комплексы на рассматриваемой территории представлены лишь одной – флишоидной метаалевролит-метапесчаниковой формацией флишоидной группы.

### ***Метаандезит-базальтовая (мбз) формация.***

В пределах описываемой территории образования данной формации наблюдаются только в замыкании основной Криворожской структуры. К главным членам формации относятся диабазовые метапорфириты, метаандезиты, амфиболиты, амфибол-хлоритовые, кварц-хлоритовые и биотит-кварц-хлоритовые туфосланцы, второстепенные представлены кварц – биотитовыми и кварц-серицитовыми сланцами, метагравелитами и метапесчаниками. При этом хлоритовые, амфиболовые, биотит-кварцевые сланцы и метапесчаники занимают верхние части разреза формации, тогда как в ее нижней части преобладают вулканогенные образования. Мощность формации достигает 1,2 км, первичный состав отвечает пикритам, толеитам, оливиновым базальтам, коматиитам и андезито-базальтам с прослоями терригенных пород и туфогенного материала.

Физические свойства пород формации на площади исследований изучены

лишь по единичным образцам, поэтому здесь приводится характеристика, заимствованная из производственных отчетов ДГЭ «Днепрогеофизика» по аналогичным работам на соседних площадях, где образования формации характеризуются высокой плотностью ( $2.75\text{--}3.34\text{ г/см}^3$ ), неизменные их разновидности – слабой намагниченностью (до  $50 \times 10^{-3}\text{ А/м}$ ), измененные – широким диапазоном намагниченности ( $112\text{--}96800 \times 10^{-3}\text{ А/м}$ ) и фактора  $Q$  (от 0.18 до 98.62). Породы формации, вероятно, относятся к первично- немагнитным образованиям, т.к. для неизменных их разновидностей значения фактора  $Q$  близки по величине к вычисленным для пород архейского комплекса.

На картах физических полей (рис. 2, 3) формации выделяется неоднозначно. Площадь ее распространения в южном замыкании Криворожской структуры находится в переходной зоне градиентов поля  $\Delta g_a$  и в зоне отрицательного поля  $Z_a$ , связанного с влиянием нижней границы железистых кварцитов Кривбасса.

### *Джеспилито-кремнисто-сланцевая (дс<sub>3</sub>) формация.*

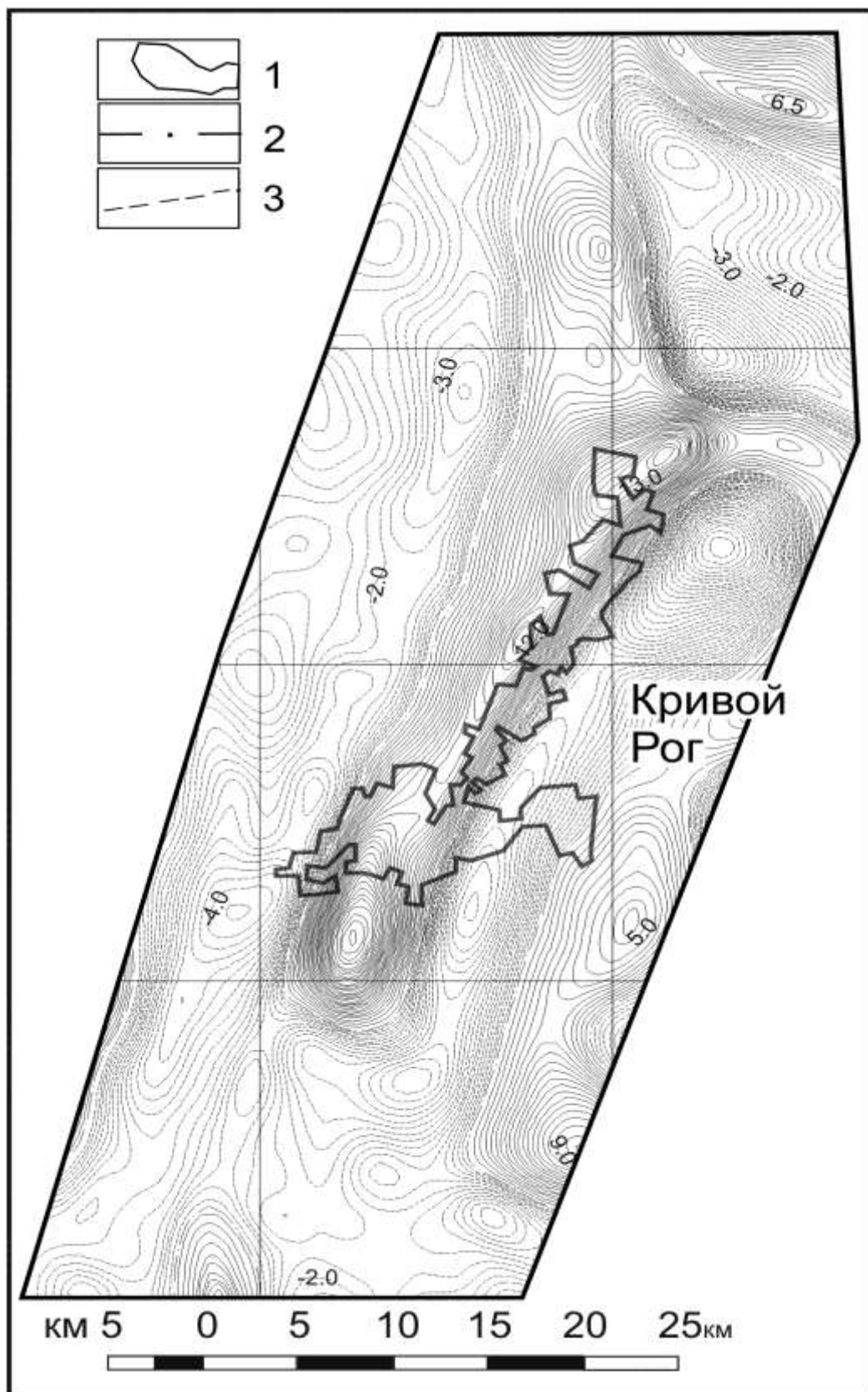
Она с несогласием залегает на породах андезит-базальтовой формации или на размытой поверхности архейских комплексов и отвечает по объему саксаганской и скелеватской свитам криворожской серии.

К главным членам формации относятся железистые кварциты, филлитовидные, серицит-хлоритовые сланцы, железные руды, метапесчаники. Второстепенные представлены амфибол-тальковыми, тальк-карбонатными, метаконгломератами и метагравелитами. Формация имеет упорядоченный разрез. В основании подразделения резко преобладают метапесчаники, метаконгломераты и метагравелиты, в верхних горизонтах – железистые кварциты, сланцы и железные руды. Грубообломочные образования пользуются ограниченным распространением в пределах описываемой территории. Эти образования установлены в центральной и южной частях Кривбасса (рис. 1), где картируются вдоль восточного борта Криворожской структуры, от широты Девладовской зоны разломов до рудника им. К. Либкнехта, а также вскрыты рядом скважин в пределах замыкания основной синклинали на простирании Лихмановской структуры, в районе Ингулецкого ГОКа.

С повышением стратиграфических уровней грубообломочные образования сменяются метапесчаниками и филлитовидными сланцами, с которыми пространственно связаны метакоматиты.

В верхней части разреза наблюдается ритмичное чередование железистых кварцитов и сланцев. Мощность ритмов изменяется от первых десятков до 150–200 м. Мощность формации варьирует от 1.4 до 2.0 км.

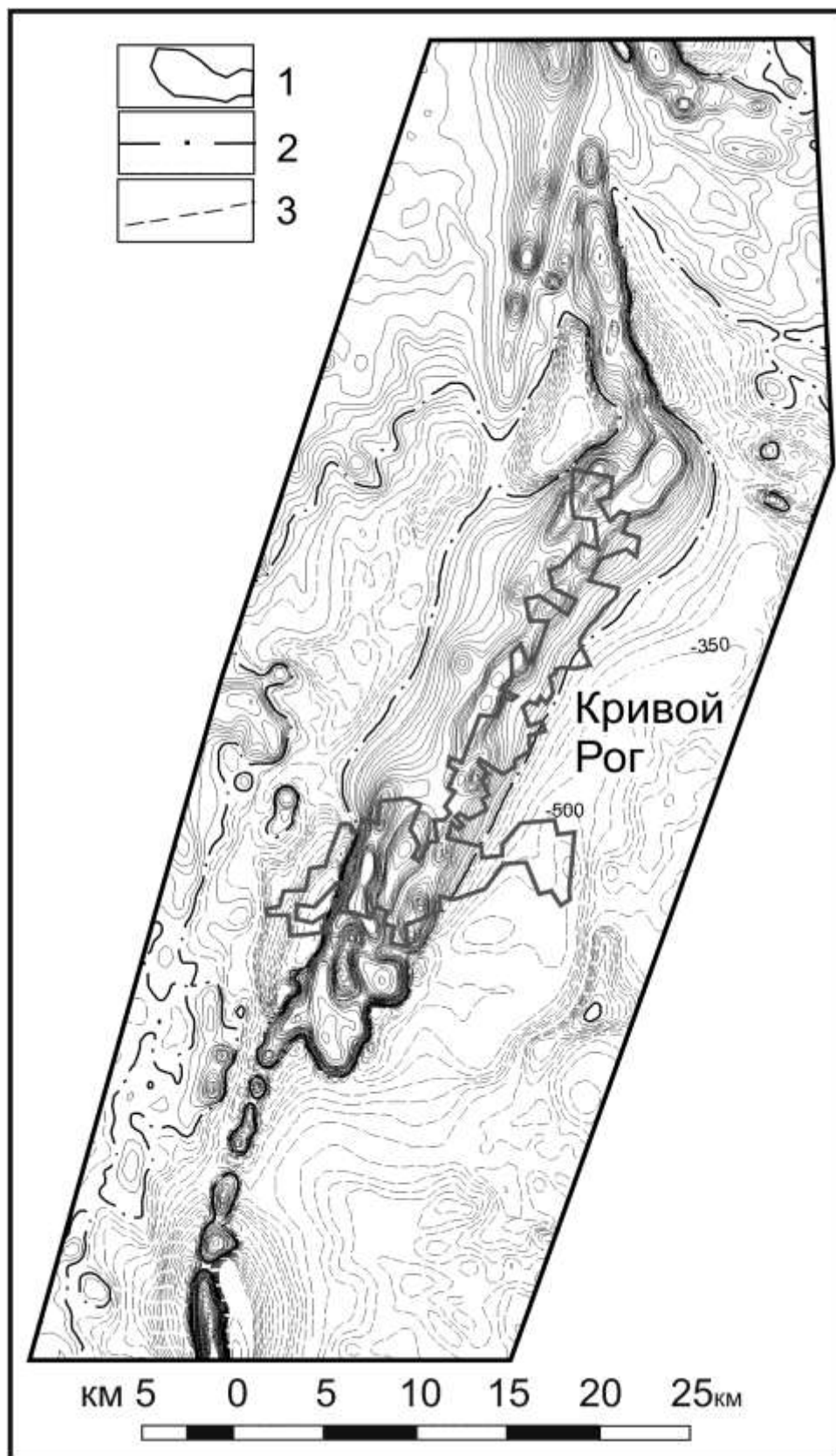
По количеству определений физических свойств описываемая формация является наиболее детально изученной. Общее количество определений составляет 2184 при величинах отдельных выборок до 200–350 и даже 880 образцов.



1 – положительные изолинии; 2 – нулевые; 3 – отрицательные

Рисунок 2 – Фрагмент карты локальных аномалий гравитационного поля Криворожского железорудного бассейна (с обрамлением)





1 – положительные изолинии; 2 – нулевые; 3 – отрицательные

Рисунок 3 - Фрагмент карты аномального магнитного поля За Криворожского железорудного бассейна (с обрамлением)

По количественным характеристикам все породы формации можно разделить на три группы. Первая – наиболее высокоплотные и высокомагнитные породы со средними величинами плотности, превышающими  $3.0 \text{ г/см}^3$  и значениями магнитной восприимчивости и естественной остаточной намагниченности, измеряющимися десятками и сотнями тысяч единиц. Это железистые кварциты и сланцы, окисленные железистые породы, богатые железные руды и сланцы амфибол-хлоритовые. Фактор  $Q$  для этой группы пород также достигает значительных величин – от 2.72 до 6.64 ед.

Вторая группа – породы высокоплотные ( $\sigma_{\text{ср.}} = 2.80\text{--}2.95 \text{ г/см}^3$ ) слабомагнитные или практически немагнитные. Это сланцы тальковые, тальксодержащие, филлитовидные кварц-серицит-биотитовые. Фактор  $Q$  низкий.

И, наконец, третья группа – породы пониженной плотности ( $2.67\text{--}2.71 \text{ г/см}^3$ ), практически немагнитные – включает в себя кварциты безрудные, метапесчаники и метагравелиты.

В физических полях четко фиксируется положение верхних горизонтов формации по простиранию интенсивных аномалий (рис. 2, 3), представленных высокоплотными и высокомагнитными железистыми породами.

### ***Кремнисто-карбонатно-метапесчаниковая (ккз) формация.***

В пределах Криворожской структуры кремнисто-карбонатно-метапесчаниковая формация пользуется повсеместным развитием (рис. 1). Наиболее полный разрез формации наблюдается в Саксаганском районе, где она характеризуется большой пестротой литологического состава и фациальной изменчивостью и наращивает разрез джеспилит-кремнисто-сланцевой формации.

Главными членами формации являются метапесчаники, безрудные кварциты, сланцы хлоритовые, магнетит-хлоритовые, биотитовые, серицитовые, углеродистые, доломитовые, мрамора. К второстепенным членам относятся седиментационные брекчии, железные руды и кварц-карбонатные породы.

Рудные члены формации дважды чередуются в разрезе, причем наибольшим развитием они пользуются в нижней его части. В верхней части разреза преобладают метапесчаники, разнообразные углеродистые сланцы, карбонатные породы, доломитовые мрамора. По объему формация соответствует гданцевской свите криворожской серии и имеет мощность до 1.6 км. Реконструкция первичного состава показывает, что она представлена толщей пород, в основании которой преобладают кластогенные породы с редкими слоями хемогенных карбонатов и переотложенных кор выветривания, богатые железные руды, а выше по разрезу развиты, в основном, пелиты с телами хемогенных доломитов и примесью углеродистого вещества.

Выборки определений физических свойств почти по всем разновидностям пород формации достаточно представительны, но при этом в процессе сбора материалов авторам не удалось найти данных первичных определений магнитных свойств образцов, поэтому их характеристики заимствованы с соседних площадей.

По плотности породы формации можно разделить на две группы: средней плотности ( $2.71\text{--}2.78 \text{ г/см}^3$ ) – сланцы биотитовые графитсодержащие, карбонатные породы, кварциты безрудные, метапесчаники – и повышенной плотности ( $2.87 \text{ г/см}^3$ )

– сланцы кварц – хлорит-серицитовые.

Особняком стоят железистые породы с колебаниями значений плотности от 3.10 до 3.42 г/см<sup>3</sup> и довольно высокими магнитными характеристиками (2500–7000 x 10<sup>-3</sup> А/м).

По магнитным характеристикам формацию в целом следует, по-видимому, относить к слабомагнитной. Повышенные магнитные свойства отмечаются лишь у сланцев кварц- хлорит- серицитовых и, теоретически, у карбонатных пород.

Для измененных разновидностей всех пород формации характерны повышенные значения фактора Q.

В целом же, большая пестрота литологического состава сильная фациальная изменчивость формации служат причиной значительной нестабильности ее физических характеристик.

А поскольку породы формации залегают непосредственно на породах джеспилит-кремнисто-сланцевой формации; аномальный эффект ее «складывается» с эффектом последней и в физических полях разделить эти две формации практически невозможно (рис. 2, 3).

### ***Метаконгломерат-метапесчаниковая (мм<sub>3</sub>) формация.***

Формация картируется в приосевой части Криворожской структуры и по объему отвечает глееватской свите криворожской серии. Породы формации залегают с перерывом на образованиях кремнисто-карбонатно-метапесчаниковой формации. В ее строении принимают участие метаконгломераты, метапесчаники, метаалевриты, сланцы кварц-биотитовые, гранат-биотитовые, переслаивающиеся между собой в вертикальном разрезе и замещающие друг друга по латерали. В пределах изучаемой территории в составе толщи наблюдается крупное линзовидное тело конгломератов, прослеживающееся от Рудничного Управления им. Кирова на север до Рудничного Управления им. Ленина.

По физическим свойствам образования формации очень однородны. Все они относятся к группе пород средней плотности (2.70–2.80 г/см<sup>3</sup>) практически немагнитных. Магнитное поле невыразительное, сглаженное, в поле Δg –это участки относительно пониженных значений фона (по сравнению с аномалиями над железистыми кварцитами), осложненные наличием отдельных локальных аномалий интенсивностью до 0.5–1.5 мГал (рис. 2).

***Выводы.*** В результате обобщения и комплексного анализа информации по петрофизическим свойствам горных пород Кривбасса были выделены группы пород, которые соответствуют определенным геологическим формациям. Они были положены авторами в основу построения петрофизических карт для изучения сложной, но закономерной связи физической характеристики геологических формаций с историей развития земной коры, с процессами осадконакопления, магмообразования и метаморфизма.

Проведенными исследованиями установлена существенная дифференциация по плотности и магнитным характеристикам протерозойских и архейских метаморфизованных осадочно-вулканогенных, ультраметаморфических и интрузивных пород, обусловленная разными условиями их образования и интенсивностью метаморфи-

ческих процессов. Использование существующих систем формационных геологических критериев выделения формаций, совместно с использованной авторами схемой классификации петрофизических параметров, позволяют конкретизировать возможности использования петрофизики при изучении структурно-вещественных комплексов.

Изложенные в статье результаты исследований будут применены при построении петроплотностных и петромагнитных карт латеральной изменчивости физических свойств горных пород, при оценке изменения физических параметров с глубиной и их влияния на наблюдаемые аномальные эффекты на поверхности земли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / Н. Я. Азаров, А. В. Анциферов, Е. М. Шеремет [и др.]. – К.: Наукова Думка, 2006. – 196 с.
2. Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8 / Н.С. Курлов, Е.М. Шеремет, Н.А. Козарь [и др.] – Донецк: Ноулидж, 2011. – 555 с.
3. Петрохімія і петрофізика гранітоїдів Українського щита та деякі аспекти їх практичного використання / М.І. Толстой, Ю.Л. Гасанов, Н.В. Костенко [и др.]. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2003. – 329 с.
4. Пігулевський П. Г. Особливості геологічної будови верхнього шару земної кори південно-східної частини УЩ / П. Г. Пігулевський // Вісник Київ. ун-ту. Геологія. – 2011. – Вип. 55. – С. 67–72.
5. Пігулевський П.И. Геолого-геофизическая модель Приазовского мегаблока Украинского щита (анализ, моделирование, результаты) / П.И. Пігулевський, В.К. Свистун. - Донецк: Ноулидж, 2014. – 207 с.
6. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых / Под ред. Н. Б. Дортман. – М.: Недра, 1984. – 455с.

#### REFERENCES

1. Azarov, N.Ya., Antsiferov, A.V., Sheremet, Ye.M. and Pigulevskiy, P.I. (2006), *Geologo-geofizicheskaja mode' Krivorozhsko-Kremenchugskoj shovnoj zony Ukrainського shhita* [Geological-geophysical model of the Krivoy Rog-Kremenchug suture zone of the Ukrainian Shield], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.
2. Kurlov, N.S., Sheremet, E.M. and Kozar, N.A. (2011), *Krivorozhskaja sverhglubokaja skvazhina SG-8* [Krivoy Rog ultradeep well SG-8], Noulidzh, Donetsk, Ukraine.
3. Tolstoj, M.I., Gasanov, Ju.L. and Kostenko, N.V. (2003), *Petrohimija i petrofizyka granitoidiv Ukrainського shhyta ta dejaki aspekty ih praktychnogo vykorystannja* [Petrochemistry and Petrophysics of granitoids Ukrainian shield and some aspects of their practical use], Kyivsky universytet, Kiev, Ukraine.
4. Pigulevskij, P.G. (2011), "Features of the geological structure of the upper layer of the crust the south-eastern part of the US", *Visnyk Kyiv. un-tu*, no.55, pp. 67–72.
5. Pigulevskij, P.I. and Svistun, V.K. (2014), *Geologo - geofizicheskaja model Priezovskogo megabloka Ukrainського shhita (analiz, modelirovanie, rezultaty)* [Geological and geophysical model of Azov megablock of Ukrainian Shield (analysis, simulation, results)], Noulidzh, Donetsk, Ukraine.
6. Dortman, N.B. (1984), *Fizicheskie svojstva gornyh porod i poleznykh iskopaemykh* [Physical properties of rocks and minerals], Nedra, Moscow, SU.

#### Об авторах

**Свистун Владимир Кириллович**, начальник экспедиции, Днепропетровская геофизическая экспедиция «Днепрогеофизика» (ДГЭ «Днепрогеофизика»), Днепропетровск, Украина, dpge@ukr.net

**Пігулевський Петр Ігнат'євич**, доктор геологических наук, старший научный сотрудник, Институт геофизики Национальной академии наук Украины (ИГ НАНУ), Киев, Украина, pigulev@ua.fm

**Кирилюк Александр Степанович**, инженер, Институт проблем природопользования и экологии Национальной академии наук Украины (ИППЭ НАНУ), Днепропетровск, Украина.

#### About the authors

**Svistun Vladimir Kirillovich**, Master of Science (M. Sc.), Head of expedition, Dnepropetrovsk geophysical expedition «Dneprogeophysika» (DGE «Dneprogeophysika»), Dnepropetrovsk, Ukraine, dpge@ukr.net

**Pigulevskiy Petr Ignatyevich**, Doctor of Geological Sciences (D. Sc), Senior Researcher of Institute of Geophysics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IG NASU), Kiev, Ukraine, pigulev@ua.fm

**Kyrylyuk Alexandr Stepanovich**, M. Sc (Tech), Engineer of Institute of Nature Management Problems and

**Анотація.** Метою досліджень були аналіз та узагальнення матеріалів фізичних властивостей гірничих порід і руд Криворізького залізорудного району та прилеглих територій. Вивчені і систематизовані відомості щодо диференціації щільнісних та магнітних характеристиках протерозойських і архейських метаморфизованих осадово-вулканогенних, ультра-метаморфічних та інтрузивних порід.

У статті застосована єдина методика обробки результатів вимірювань фізичних властивостей на території всього Середньопридніпровського регіону. Інформація для досліджень була зібрана з виробничих геологічних і геофізичних звітів та літературних джерел. Аналіз наявних фактичних геолого-геофізичних матеріалів по Криворізькому залізорудному району показав, що густина розташування пробурених на площі свердловин нерівномірна і відповідає масштабам від 1:100000 до 1:50000.

У результаті вивчення фізичних властивостей кристалічних порід була виконана петрофізична класифікація порід. Виділено петрощільнісні і петромагнітні групи порід з урахуванням закономірних зв'язків між фізичними властивостями, складом і текстурою порід, що відображають умови їх утворення, літогенезу і метаморфізму. Використання існуючої системи геолого-геофізичних критеріїв виділення формацій дозволило конкретизувати можливості використання петрофізики при вивченні тектоніки і структурно-речових комплексів Криворізького залізорудного району та прилеглих територій. Викладені у статті результати досліджень дозволяють побудувати петрощільнісні і петромагнітні карти латеральної мінливості фізичних властивостей гірничих порід, оцінити зміни фізичних параметрів з глибиною і вплив їх на спостережувані на поверхні землі аномальні ефекти.

**Ключові слова:** формація, комплекс, фізичні властивості, щільність, намагніченість.

**Abstract.** Analysis and synthesis of physical properties of rocks and ores in the Krivoy-Rog iron ore district and its adjacent areas were in the focus of this research. Information about differentiation of density and magnetic characteristics of Proterozoic and Archean metamorphosed sedimentary and volcanic, ultrametamorphic and intrusive rocks was studied and systematized.

An integrated technique was used for processing results of measurements of physical properties for the entire Srednepridneprovsky region. For the purpose of this research, information was collected from the production part of geological and geophysical reports and other literature. Analysis of the available geological and geophysical maps of Krivoy Rog iron ore district has showed that location density of the wells drilled in the area is nonuniform and corresponds to the scale from 1:100,000 to 1:50,000.

Physical properties of crystalline rocks were studied resulting in petrophysical classification of the rocks which were divided into petrodensity and petromagnetic groups with taking into account regular dependence between physical properties and rock composition and texture which reflect conditions of the rock formation, lithogenesis and metamorphism. Using of the existing system of geological and geophysical criteria for identifying formations helps concretizing a possibility of using rock physics in the study of tectonics and structural-lithological units in the Krivoy Rog iron-ore district and its adjacent areas. The presented results of research allow making petrodensity and petromagnetic maps of lateral variability of the rock physical properties, estimating changes in physical parameters with depth and their impact on the earth anomalous effects observed on the surface.

**Keywords:** formation, complex, physical properties, density, magnetization.

*Стаття поступила в редакцію 22.03.2015*

*Рекомендовано к печати д-ром геол. наук Л.И. Пимоненко*

Дякун І.Л., мл. науч. сотр.  
(ІГТМ НАН України)

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ ПРИ  
ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

Дякун І.Л., мол. наук. співр.  
(ІГТМ НАН України)

**ИНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ В КИПЛЯЧОМУ ШАРІ ПРИ  
ТЕРМІЧНІЙ ПЕРЕРОБЦІ ТВЕРДОГО ПАЛИВА**

Dyakun I.L., M. Sc. (Tech)  
(IGTM NAS of Ukraine)

**INTENSIFICATION OF PROCESSES IN A FLUIDIZED BED AT  
THERMAL PROCESSING OF SOLID FUEL**

**Аннотация.** Интенсификация технологических процессов является одной из важных задач науки и техники. Особенно актуально вопросы интенсификации стоят для тепло-массообменных процессов, в частности для термической переработки твердого топлива. Одной из перспективных технологий термической переработки твердого топлива разной зольности и степени метаморфизма является кипящий слой с экономическими и экологическими показателями, соответствующих лучшим мировым стандартам. В статье рассмотрены вопросы усовершенствования технологии кипящего слоя посредством организации пульсирующей подачи воздуха (газа) в слой. Предложены модель и методика расчета рациональных параметров пульсирующего потока, а также движения и горения твердой частицы в кипящем слое. Проведены исследования закономерностей влияния амплитудно-частотных характеристик пульсирующей подачи воздуха на полноту выгорания твердых топливных частиц в слое. Разработаны конструкции технических средств (пульсаторов), реализующих подачу пульсирующего воздуха в кипящий слой и обеспечивающих регулирование формы колебаний, а также скважности воздушного потока.

**Ключевые слова:** интенсификация, пульсирующий кипящий слой, пульсатор.

Интенсификация технологических процессов является одной из важных задач науки и техники. Основой увеличения производительности оборудования и снижения энергозатрат на проведение технологических процессов может служить создание и внедрение эффективных технологических аппаратов с малой удельной энергоемкостью и материалоемкостью, высокой степенью воздействия на обрабатываемые вещества.

Особенно актуально вопросы интенсификации стоят для тепло-массообменных процессов, в частности для термической переработки твердого топлива. Старение шахтного фонда страны, износ угледобывающего оборудования, использование несовершенных технологий добычи, усложнение горно-геологических условий добычи с переходом на глубокие горизонты – все эти факторы привели к существенному ухудшению качества добываемого твердого