

# Структура Молдовского железорудного месторождения (Украинский щит) по геолого-геофизическим данным и его возможная эндогенная природа

© В. А. Ентин<sup>1</sup>, О. Б. Гинтов<sup>2</sup>, С. В. Мычак<sup>2</sup>, А. А. Юшин<sup>3</sup>, 2015

<sup>1</sup>Государственное предприятие «Украинская геологическая компания», Киев, Украина

<sup>2</sup>Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

<sup>3</sup>Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 28 апреля 2015 г.

Представлено членом редколлегии М. И. Орлюком

На прикладі Молдовського залізорудного родовища (Середнє Побужжя, Україна) викладено уявлення про ендегенну природу залізистих і залізисто-карбонатних порід, що утворюють численні відносно невеликі за розмірами родовища та рудопрояви в Середньому Побужжі, так званому Побузькому залізорудному районі. Це уявлення є альтернативним найпоширенішому погляду на осадово-вулканогенно-метаморфогенне походження залізорудних родовищ Українського щита, породи яких зібрані у стиснені складки із субвертикальними крилами із субгоризонтальними шарнірами.

Для доказу ендегенної природи Молдовського родовища наведено результати комплексної інтерпретації даних магнітного і гравіметричного знімання масштабів 1:2000—1:5000, вивчення фізичних властивостей гірських порід і глибокого буріння (до 1200 м), які вказують на субвертикальне падіння рудних тіл, повну відсутність навіть первинних ознак складчастості — загального змінання та центриклінального або периклінального змикання у структурі родовища. Результати попереднього ізотопного аналізу карбонатних порід родовища також свідчать про тренд їх складу в бік карбонатитів.

Показано, що родовище є гакоподібною складкою волочіння з вертикальним шарніром, яка ймовірно утворилась із залізорудної дайки протяжністю 2—3 км і була ускладнена в шарнірній частині вулканогенною екструзією. Подібні дайки залізистих порід і руд відомі у багатьох регіонах світу.

**Ключові слова:** Побужжя, Молдовське залізорудне родовище, магматизм, структура, генезис.

**Вместо введения.** Возвращение к обозначенной в заголовке проблеме, активно разрабатывавшейся в 70—80-х годах прошлого века и в дальнейшем отошедшей на второй план, связано с несколькими причинами, главными из которых являются следующие.

1. Повышение значимости относительно небогатых, но легко обогатимых железных руд Среднего Побужья необходимо связывать с почти полной отработкой залежей богатых железных руд Криворожья, где глубина подземной разработки превысила уже 1000—1200 м, что существенно повышает уровень себестоимости извлекаемой руды. Кроме того, наряду с общеизвестной высокой тектонической активностью Криворожско-Кременчугской зоны разломов, сопровождаемой землетрясениями тектонической природы, возрастает опасность и техногенных землетрясений, связанных с

огромным объемом шахтных проходок.

2. В мире появились новые экологически безопасные технологии разработки небольших, неглубоко залегающих месторождений легкообогатимых руд, не требующие заложения карьеров. Это с новой силой привлекает внимание к территории Среднего Побужья Украинского щита — Побузькому железорудному району (ПЖР), в пределах которого известны именно такие месторождения и рудопроявления магнетитовых и карбонат-магнетитовых руд.

3. На различных континентах стали известны многочисленные примеры фанерозойских и докембрийских железорудных месторождений с доказанным магматическим происхождением железистых пород в виде штоков, даек, трубок, жил и т. д. Особенностью таких месторождений нередко является их комплексный характер, обусловленный тесной связью

с железистыми породами таких полезных ископаемых, как золото, медь, молибден, уран, редкие земли и др. Подобная соподчиненность разнотипных руд в XXI в. рассматривается как единый класс магматогенно-гидротермальных железооксидных золотомедных месторождений [Hydrothermal..., 2002]. Проявления такого пространственно совмещенного комплексного оруденения на Украинском щите (УЩ) уже установлены в Ингулецко-Криворожской шовной зоне и весьма вероятны в других шовных зонах УЩ. Мнения об эндогенном происхождении магнетитовых и карбонатно-магнетитовых руд ПЖР, а также связь с ними золота и редких металлов, уже давно высказывались некоторыми исследователями. Кроме того, в пределах ПЖР, в сходных структурно-тектонических условиях Голованевской шовной зоны и в непосредственной близости от железорудных месторождений, установлены и самостоятельные эндогенные месторождения и рудопроявления золота, хрома, апатита, массивы ультрабазитов с никеленосной корой выветривания, что еще больше укрепляет позиции сторонников эндогенной природы месторождений типа Молдовского.

4. В последнее десятилетие разработаны методы прецизионных минералогических и изотопно-геохимических исследований, учета распределения когерентных и некогерентных элементов, с помощью которых можно более обоснованно решать вопросы отнесения пород и руд к тому или иному генетическому типу, а также методы 3D моделирования геофизических объектов, позволяющие более точно определять параметры аномалиеобразующих тел, давать объемное представление их внутренней структуры, что приближает исследователей к решению вопроса о генетическом типе и перспективности месторождений.

В данной статье на примере Молдовского месторождения магнетитовых руд ПЖР рассмотрены только некоторые из обозначенных выше проблем, опирающиеся в основном на материалы геофизических работ и бурения глубоких скважин. Будем надеяться, что дальнейшее комплексное геолого-геофизическое изучение этих проблем в пределах Среднего Побужья приведет к окончательному определению роли ПЖР в наращивании запасов минерального (в том числе стратегического) сырья в Украине.

**Краткая история изучения ПЖР.** Молдовское железорудное месторождение (МЖРМ) известно еще с 1930-х годов по выявленной в

процессе землемерных съемок на северной окраине с. Молдовка Голованевского района Кировоградской области (Среднее Побужье) интенсивной Молдовской магнитной аномалии. В структурно-тектоническом отношении, по современным представлениям, оно находится в центральной части Голованевской шовной зоны (рис. 1), относящейся к Ингульскому мегаблоку УЩ [Гинтов, 2005]. Интенсивный этап геолого-геофизического изучения МЖРМ начался после открытия в 1968 г. в северной части аномалии при поисковых работах на силикатный никель перспективного типа карбонат-магнетитовых железных руд [Каневский, Гинтов, 1972]. Обстоятельства, приведшие к этому открытию, изложены в работе [Ентин, 2003].

В дальнейшем геологические исследования по изучению железорудных объектов района Среднего Побужья шли в двух направлениях. С одной стороны, расширялся круг вовлеченных в обследование поисково-ревизионными работами геологических структур высокой намагниченности [Доброхотов и др., 1971; Богатырев и др., 1974, 1976, 1981], с другой, до середины 1980-х годов, с некоторыми перерывами, продолжалось более углубленное геолого-геофизическое изучение МЖРМ [Ионис и др., 1986].

В результате работ первого направления на Побужье было обследовано и в общих чертах изучено более полутора десятков рудопроявлений магнетитового железа, проявляющихся в магнитном поле аномалиями свыше 10000 нТл (Молдовская, Секретарская, Грушковская, Лащевская, Слюсаревская, Савранская, Байбузовская, Полянецкая, Песчанская, Чемирпольская, Бакшинская, Шамраевская, Новоселковская и др.). Это позволило выделить в пределах УЩ Побужский железорудный район (см. рис. 1). Параллельно на площади МЖРМ были выполнены детальные магнитные и гравиметрические (с градиентометром) съемки масштаба 1:5000—1:2000 (рис. 2), некоторые специализированные виды электроразведки, пробурено около 50 поисково-разведочных скважин (рис. 3). Результаты этих исследований изложены в производственных отчетах бывшего треста «Киевгеология» и многих научных публикациях. В наиболее полном виде они обобщены и представлены в работах [Ярошук, 1983; Ярошук и др., 1985]. При этом принималось, что генезис магнетитосодержащих залежей большинства объектов ПЖР связан с накоплением в палеотектонических условиях архея(?) и палеопротерозоя осадочно-вулканогенного

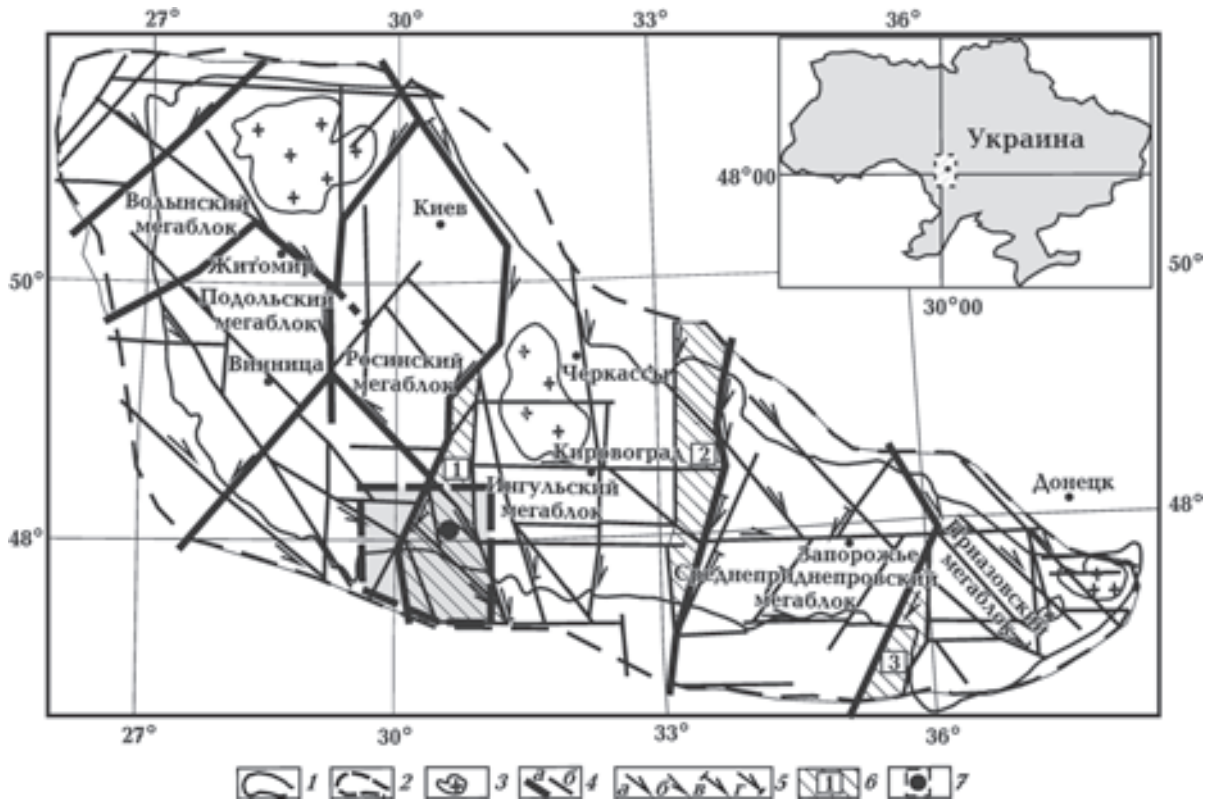


Рис. 1. Положение Побужского железорудного района и Молдовского месторождения в пределах УЩ и Украины (врезка): 1 — контур открытой части УЩ, 2 — контур УЩ со склонами, строение которых четко прослеживается на геофизических картах, 3 — интрузивные массивы гранитоидов, 4 — зоны разломов (а — межмегаблоковые, б — внутримергаблоковые), 5 — кинематические знаки (а — правый сдвиг, б — левый сдвиг, в — взбросо-сдвиг, г — сбросо-сдвиг), 6 — шовные зоны и их номера (1 — Голованевская, 2 — Ингулецко-Криворожская, 3 — Орехово-Павлоградская), 7 — контур Побужского железорудного района (штрих) и положение Молдовского месторождения.

вещества, собранного впоследствии в грабен-синклинальные складки и моноклинали незначительной протяженности. Повсеместные (на крыльях и в замках) крутые углы падения, как и постоянное присутствие в разрезах железорудных толщ вулканитов и магматических продуктов, объяснялись приуроченностью их к разломным троговым зонам и разломам северо-западного простирания. Правда, допускалось, что некоторые из них, в частности Полянецкая и Савранская структуры, могут интерпретироваться как сохранившиеся в различной степени вулcano-тектонические постройки, ядра которых выполнены магматическими породами.

В отношении МЖРМ сформировалось мнение, что основной его структурной формой является сохранившийся от ассимиляции в процессе региональной гранитизации фрагмент замковой части и западного крыла протяженной Молдовско-Тарноватской синклинали [Ярошук, 1983].

Тем не менее, благодаря особенностям строения, допускающим неоднозначность их

геолого-генетической трактовки, а также появляющимся новым результатам научных исследований, МЖРМ, как и его аналоги на Среднем Побужье, по-прежнему остается привлекательным объектом для дополнительного изучения. Ниже мы обратим внимание на ту часть фактических геолого-геофизических данных, которые, с учетом вновь открывающихся обстоятельств, могут быть переосмыслены с позиций, отличающихся от принятых ранее взглядов на возможный генезис МЖРМ.

**Геолого-геофизические и геохимические особенности МЖРМ.** По данным детальных геофизических съемок в магнитном и гравитационном полях МЖРМ обособляется в виде крюкоподобной полосы положительной аномалии протяженностью около 2 км, имеющей сложное внутреннее строение [Ентин, 1987, 2012]. Его более протяженная линейная юго-западная часть в магнитном поле представлена двумя субпараллельными, отстоящими на 250 м друг от друга цепочками локальных максимумов, из которых западная характеризуется

значительно большим значением магнитной индукции (рис. 2, а). В области северного структурного подворота МЖРМ обе цепочки сливаются в одну зону северо-восточного простирания, состоящую из двух локальных максимумов неправильной изометричной формы амплитудой 55 000 и 40 000 нТл, разделенных минимумом 10 000 нТл. В поле локальных аномалий силы тяжести МЖРМ проявлено, по сравнению с магнитным полем, не столь дифференцированно, а в виде единой полосы локальных максимумов интенсивностью до 3 мГал (рис. 2, б). Одновременно с этим наблюдается четко выраженное восточное смещение осевой линии полосы гравитационных максимумов по отношению к западной цепочке магнитных максимумов наибольшей амплитуды. В области же северного замка МЖРМ отмечено более полное совмещение границ локальных экстремумов магнитного и гравитационного полей, причем с минимумом магнитного поля, разделяющим в замке два максимума, совпадает и минимум гравитационного поля.

Результаты комплексной интерпретации геофизических данных дают полное понимание, что магнитные аномалии высокой интенсивности в пределах МЖРМ обусловлены магнетитсодержащими породами железистой силикат-карбонатной формации, представленными на западном фланге пластовыми телами, а в области северного замыкания — телами штокообразной формы. Неоднородности магнитного поля связаны как с вертикальной и латеральной невыдержанностью содержания магнетита в рудных залежах, так и с изменением их мощности в тех же направлениях.

Немаловажный вклад в формирование общего облика и характера внутренней структуры МЖРМ вносит система разрывных нарушений сдвиго-сбросового и сдвиго-взбросового характера, создающих сильные динамические напряжения в породах кристаллического фундамента Голованевской шовной зоны [Ентин, 1987]. Все отмеченные структурные формы рудных залежей характеризуются субвертикальным падением (рис. 4, 5) и «бесконечным», в геофизическом понимании, распространением на глубину. В самостоятельном виде пластовые залежи силикатно- и карбонатно-магнетитовых руд, несмотря на их высокую плотность ( $\sigma \geq 3,4 \text{ г/см}^3$ ), в поле силы тяжести не проявляются, что подчеркивает общую очень высокую плотность кристаллических образований всего разреза МЖРМ, почти целиком представленного ме-

таморфизованными в гранулитовой фации породами вулканоплутонического генезиса (кристаллосланцами основного состава, амфиболитами, габбро), а также карбонатными образованиями — безрудными кальцифирами. Последние также характеризуются очень высокой плотностью ( $\sigma = 2,85 \div 2,90 \text{ г/см}^3$ ), что не свойственно породам осадочного генезиса, и наряду с другими признаками может служить дополнительным фактором отнесения их к первично-магматическим образованиям.

В целом, если принять во внимание такие специфические черты проявления МЖРМ в потенциальных полях, как линейность установленных в его западном крыле локальных максимумов магнитного и гравитационного полей с их частыми пережимами, раздувами, кулисообразными смещениями по простиранию, изометричную форму максимумов в области северного замыкания, то больше всего по генетическому типу структура МЖРМ сходна с дайко- и штокоподобными морфоструктурами магнетитовых залежей в Чили, Перу, вулканоматматическими образованиями Сибири (Алдан), Алтая и других регионов [Дымкин, Пругов, 1980; Павлов, 1983; Михайлов, 1983]. Подробное их описание приведено А. А. Юшиным в этом же номере «Геофизического журнала» [Юшин, 2015].

Для современной стадии изученности МЖРМ в его пределах пробурено достаточно большое количество скважин, которые, правда, в основном были размещены в северной части структуры, характеризующейся наиболее сложным характером внутреннего строения (см. рис. 3). Однако даже в южной линейной части межскважинная увязка геологического разреза оказалась весьма затруднительной.

Важным и неординарным для всей территории УЩ стало вскрытие в центральной части северного замка МЖРМ трех разобщенных мощных зон карбонатной брекчии, прослеженной отдельными скважинами до глубины 250—300 м (см. рис. 3, разрезы 1, 15, 5б). Присутствие в брекчии некоторых минералов высокого давления ( $\alpha$ -тридимит,  $\beta$ -кристоаллит) и другие признаки позволили позже предположить здесь наличие докембрийской взрывной структуры центрального типа [Семеновко, Половко, 1980]. Некоторые геологи такое предположение считают недостаточно обоснованным, а выявленные зоны брекчирования — результатом проявления обычного разломного катаклаза. Однако внимательный анализ результатов бурения вдоль профилей 1, 15,

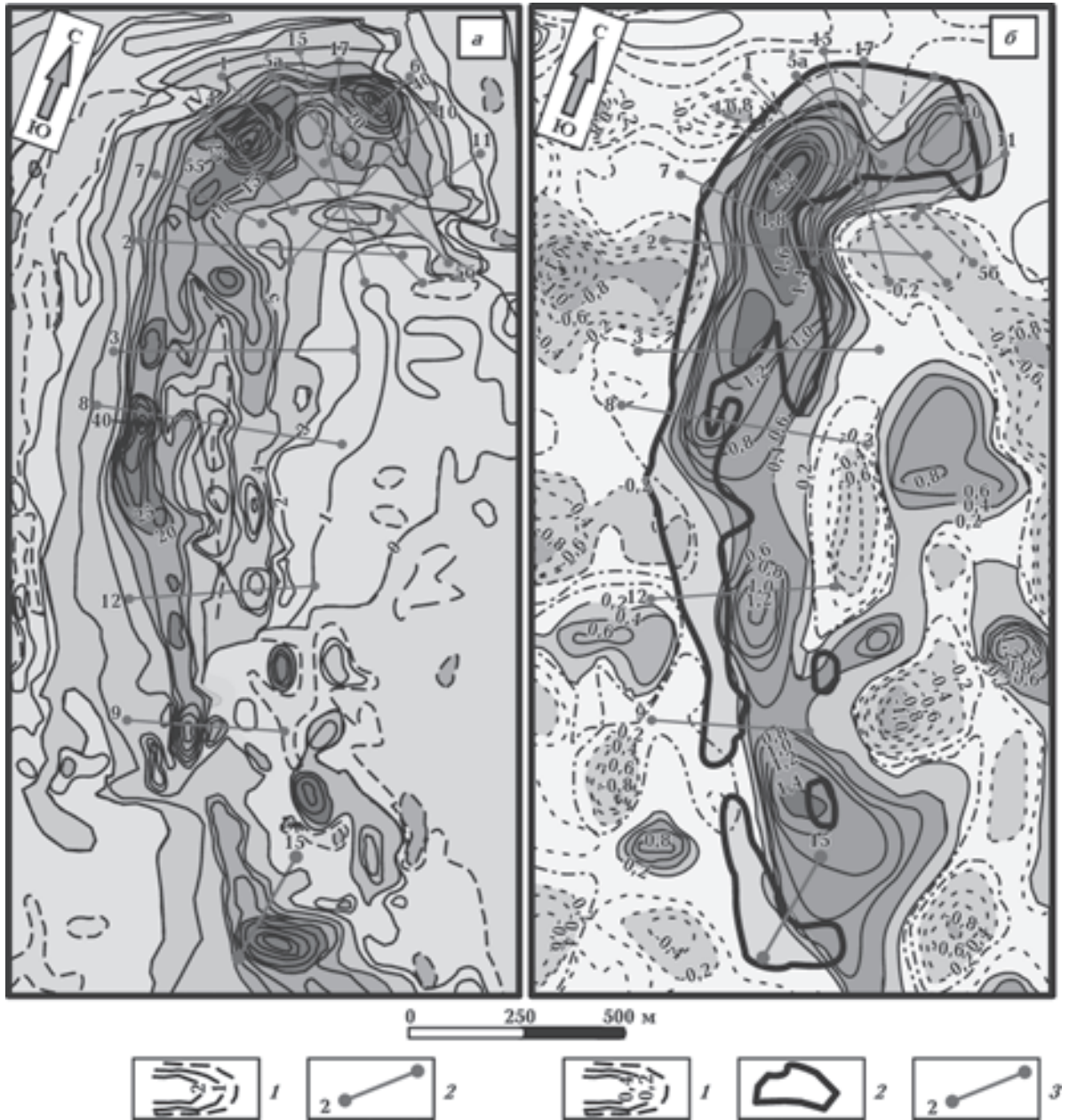


Рис. 2. Карты МЖРМ м-ба 1:2 000 (по материалам В. Ф. Богатырева, М. Н. Доброхотова, В. А. Ентина, 1970—1986): а — карта изодинам  $Z_a$ , сечение изодинам через  $10^3$ — $5 \cdot 10^3$  нТл (1 — изодинамы  $Z_a$  (сплошные — положительные, штриховые — отрицательные), 2 — буровые профили и их номера); б — карта изоаномал  $\delta dg$ , сечение изоаномал через 0,2 мГал (1 — изоаномалы  $\delta dg$  (сплошные — положительные, штриховые — отрицательные, штрихпунктирные — нулевая), 2 — контур аномалии  $Z_a$  по изодинаме  $5 \cdot 10^3$  нТл, 3 — буровые профили и их номера).

5б (см. рис. 4, 5), пересекающих все три зоны брекчирования, показывает, что южная зона имеет встречное, по отношению к северной зоне, северо-западное падение и сечет толщ кристаллических пород в этой части МЖРМ (профиль 1). Отмечается также определенная пространственная приуроченность всех трех тел карбонатной брекчии к единой локализованной области пониженной напряженно-

сти гравитационного и магнитного полей (см. рис. 2), с которой совпадает в плане область значительного увеличения мощности коры выветривания. Последнее обстоятельство хорошо заметно на приведенном схематическом продольном геолого-геофизическом разрезе МЖРМ (рис. 6). Напрашивается естественное предположение, что все три выявленные зоны брекчирования являются фрагментами

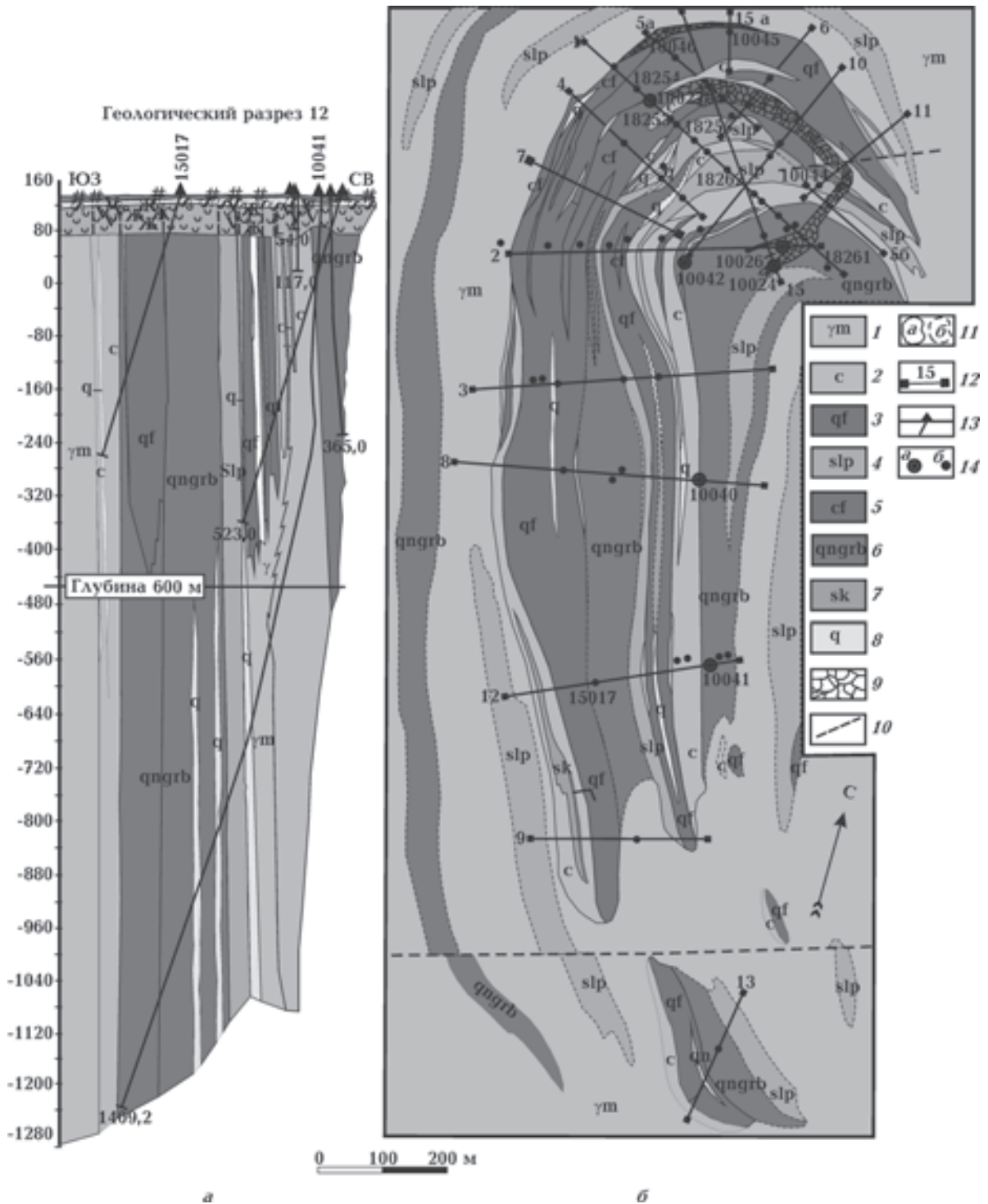


Рис. 3. Геологический разрез вдоль профиля 12. Схематическая геологическая карта МЖРМ м-ба 1:2000 по материалам [Ионис и др., 1986]: 1 — граниты и мигматиты, 2 — кальцифилы безрудные с оливином, пироксеном и шпинелью, 3 — кварциты железистые, преимущественно магнетит-феррогиперстеновые и магнетит-двупироксеновые с гранатом, 4 — кристаллосланцы двупироксен-плаггиоклазовые, переходящие в амфиболиты, 5 — кальцифилы рудные с магнетитом, оливином, пироксеном, шпинелью, иногда с клиногумитом, 6 — гнейсы гранат-биотитовые и биотитовые с силлиманитом и кордиеритом, гнейсы графитовые и пироксеновые, 7 — скарны безрудные пироксеновые и гранат-пироксеновые, 8 — кварциты безрудные гиперстеновые, гранат-гиперстеновые и биотит-гранат-гиперстеновые, 9 — зоны дробления и брекчирования, 10 — разрывные нарушения, 11 — геологические границы (а — установленные, б — предполагаемые), 12 — линии разрезов и их номера, 13 — буровые скважины на разрезе 12, 14 — положение буровых скважин на карте МЖРМ (а — глубокие скважины, б — скважины, вошедшие в кристаллический фундамент).

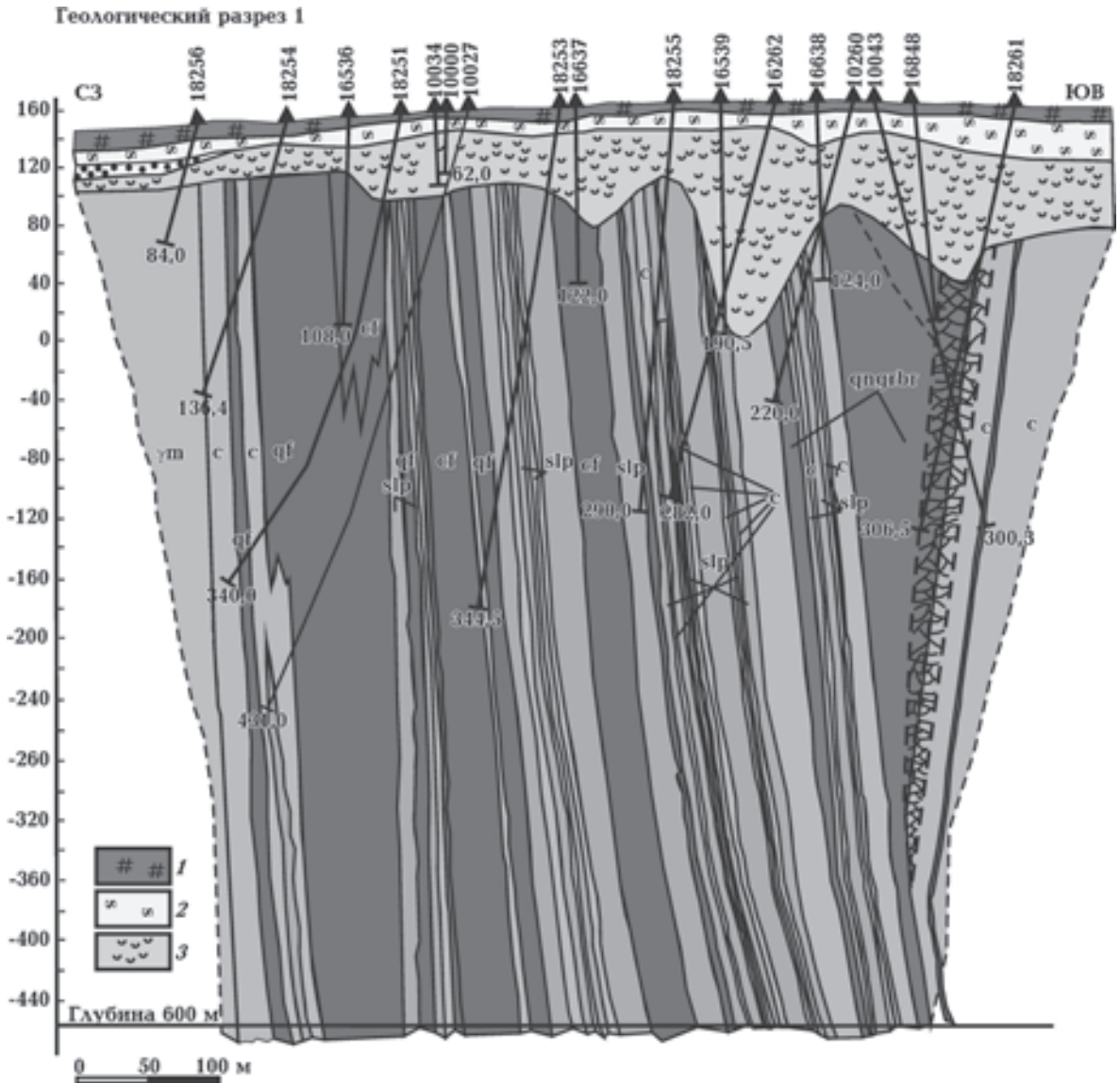


Рис. 4. Геологический разрез МЖРМ вдоль профиля 1 по материалам [Ионис и др., 1986]: 1 — почвенно-растительный слой, суглинки, 2 — песчано-глинистые отложения, глины, 3 — каолинистая и каолинит-гидрослюдистая кора выветривания. Остальные условные обозначения см. на рис. 3.

кольцеобразной взрывной структуры, которые с глубиной объединяются и образуют единый магматический канал поступления карбонатного расплава из очага плавления. Интересно, что предполагаемый магматический канал совпадает в плане с субвертикальным шарниром замковой части МЖРМ.

Предложенный взгляд на возможное магматогенное происхождение железорудной толщи и вмещающих ее образований, как и предположение о дайкоподобном и штокообразном характере залегания рудных залежей, противоречит основной наиболее устоявшейся концепции формирования железорудных структур УЩ как складок общего смятия, главным

образом синклинального типа [Железисто-кремнистые..., 1978; Ярошук, 1983; Ярошук и др., 1985]. Однако необходимо вспомнить, что и ранее отмечалась целая группа геолого-геофизических факторов, которые плохо вписывались в предложенную картину генезиса структуры МЖРМ, как и некоторых других железорудных месторождений (Грушковского, Секретарского, Лещевского) Голованевской шовной зоны, что позволило выдвинуть концепцию формирования их структуры как фрагментов приразломно-сдвиговой складчатости [Гинтов и др., 1985; Ентин, 1987] (рис. 7).

Так, отсутствуют какие-либо признаки выполаживания и выклинивания с глубиной по-

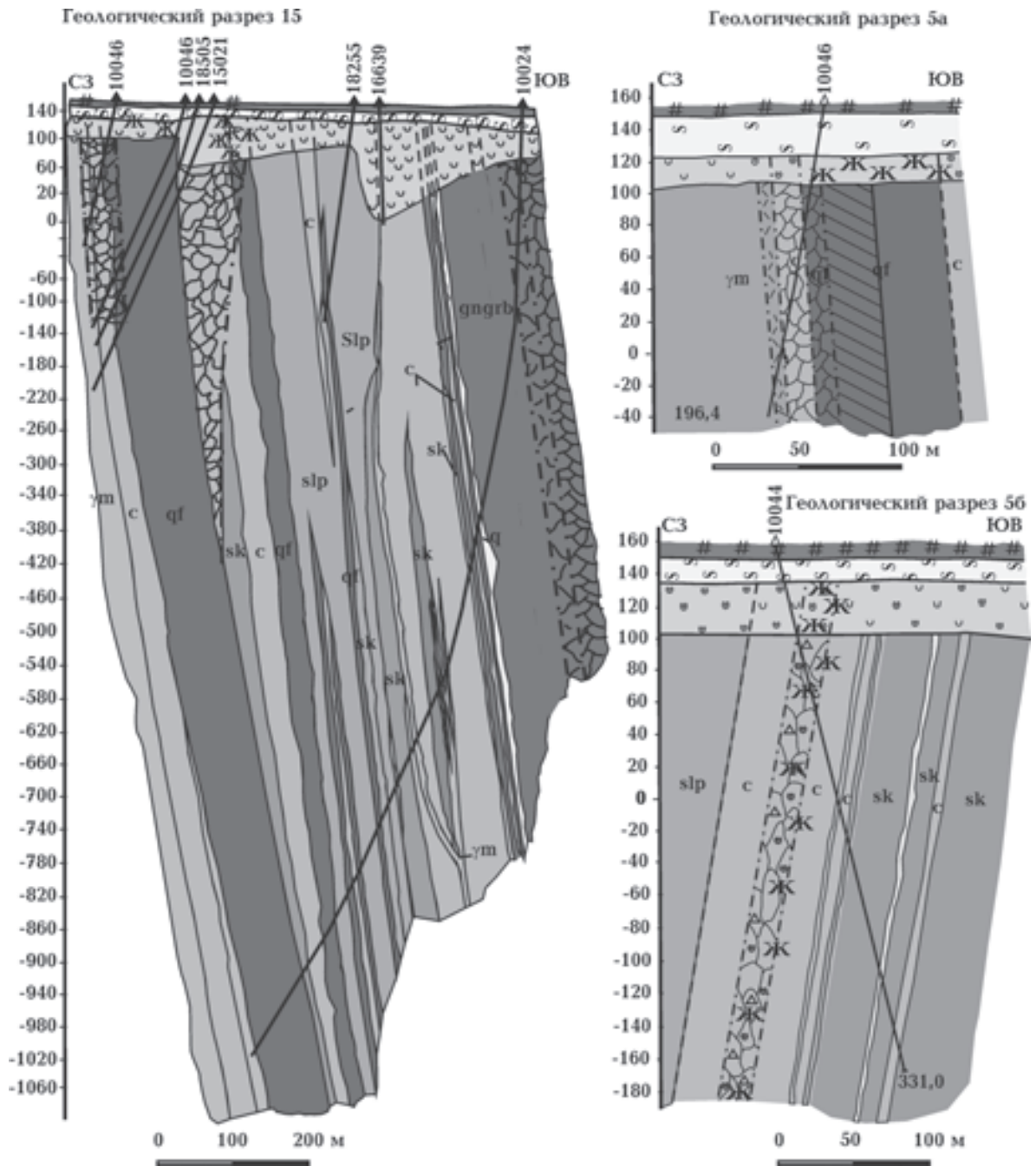


Рис. 5. Геологические разрезы МЖРМ по профилям 15, 5а и 5б. Условные обозначения см. на рис. 3 и 4.

род железорудной формации как в крыльях, так и в замковой части МЖРМ. И наоборот, как показали результаты бурения глубоких скважин, в четырех из пяти случаях на глубине более 1000 м наблюдается общее увеличение горизонтальной мощности силикат-карбонат-магнетитовых образований. Лишь в одном случае, при разрушивании западного крыла в месте разрыва цепочки магнитных аномалий (см. рис. 2, а, 3, 5, пр. 12, скв. 1041), было уста-

новлено локальное выклинивание магнетитовых образований на глубине не менее 500 м.

Проведенные в свое время в пределах МЖРМ исследования по изучению положения осей тензора магнитной восприимчивости показали, что длинные оси тензора занимают крутопадающее положение по всему периметру Молдовской структуры [Ентин, 1987]. Как установил В. Н. Завойский на примере Галещинского (Криворожско-Кременчугская по-



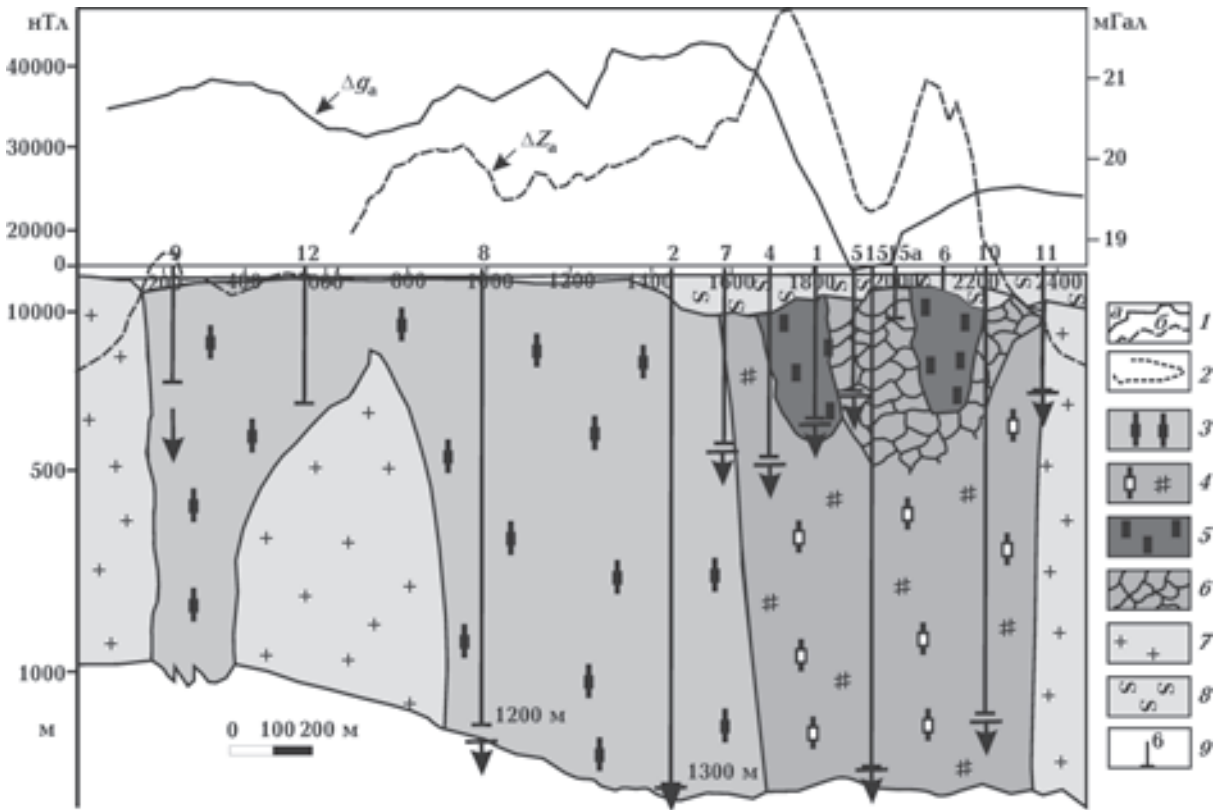


Рис. 6. Обобщенный продольный геолого-геофизический разрез МЖРМ: 1 — графики аномальных значений ( $a$  — гравитационного поля (1 см — 0,5 мГал),  $b$  — магнитного поля (1 см — 5 000 нТл), 2 — геологические границы, 3 — железорудные пласты преимущественно силикатно-магнетитовые, 4–6 — железорудные образования (4 — смешанного карбонат-силикат-магнетитового состава, 5 — метасоматически обогащенные магнетитом, 6 — пониженной плотности (брекчированные, трещиноватые)), 7 — мигматиты, 8 — кора выветривания, 9 — условные следы пересечения буровыми профилями, спроектированные на продольный разрез скважины.

лоса) и Белозерского (Среднее Приднепровье) железорудных месторождений [Завойский, 1982], положение длинной оси тензора магнитной восприимчивости магнетитосодержащих пород связано с ориентацией их сланцеватости, сформированной в результате процесса волочения при продольном сдвиге. Длинная ось тензора отражает направление падения шарнира и крыльев сформированной складки. В случае Молдовской структуры это свидетельствует о том, что ее шарнир и западное крыло еще *изначально* занимали субвертикальное положение и не выполаживались на глубине.

Тектонофизическое изучение Лихмановской структуры в пределах Киворожско-Кременчугской полосы [Гинтов и др., 1990] также показало, что железорудные породы криворожской серии сформировали здесь правосдвиго-взбросовую складку волочения из моноклиальной субвертикально падавшей толщи, поэтому синклинали не образуются.

Отметим, что результаты уже упоминавшегося разбуривания железорудных объек-

тов Побужья везде, в том числе за пределами Голованевской шовной зоны (например, Савранское, Песчанское, Байбузовское рудопроявления и др. [Богатырев и др., 1974; Ентин, 2012]), указывают на субвертикальное падение пород и, главное, нигде не было установлено антиклинальных или синклинальных перегибов слоев или субгоризонтально залегающих фрагментов. Каким образом первоначально горизонтально залегающие, как предполагается, осадочно-вулканогенные толщи приобретают моноклиальное субвертикальное падение, не образуя складок общего смятия, остается загадкой. Даже в Голованевской шовной зоне почти сплошного меланжа остались небольшие участки недеформированных или слабодеформированных пород [Гинтов, 2005], однако упомянутых фрагментов в них не встречено.

Впервые этим вопросом полвека тому назад, исследуя Побужье, задался О. И. Слензак [Слензак, 1965]. Однако он рассматривал проблему формирования структурных особенностей докембрийской коры УЩ в основном с

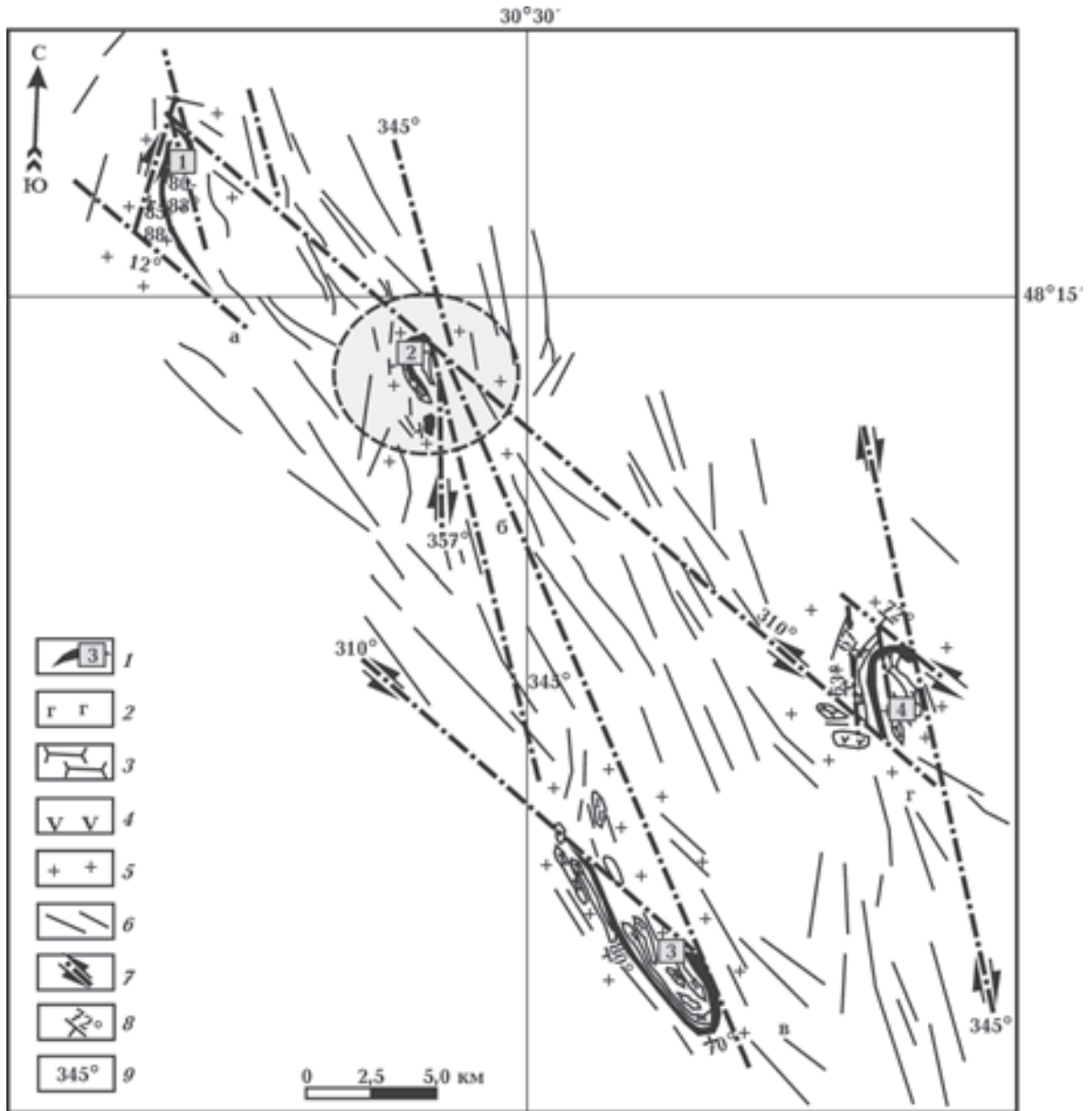


Рис. 7. Структурная схема площади развития основных железорудных месторождений центральной части Голованевской шовной зоны: 1 — месторождения силикат-карбонат-магнетитовых руд (цифры в квадратах: 1 — Новоселицкое, 2 — Молдовское (кружком отмечен район исследований), 3 — Секретарское, 4 — Лащевское), 2 — ультрабазиты, 3 — кристаллосланцы, 4 — metabазиты, 5 — граниты и мигматиты, 6 — оси магнитных аномалий, отражающие простирание горных пород, 7 — право- и левосдвиговые зоны скальвания, 8 — направление и угол падения железистых пород по данным бурения, 9 — азимуты простирания зон скальвания.

позиций метаморфической дифференциации горных пород в твердом состоянии под действием сил горизонтального сжатия. Образование железорудных тел штоко- и дайкообразной формы, а также формирование некоторыми из них складок волочения с этих позиций трудно объяснить.

В статье О. В. Усенко, опубликованной в этом же номере «Геофизического журнала» [Усенко, 2015], по результатам изучения со-

става и петрохимии пород железистой формации Голованевской шовной зоны сделано заключение, что они, особенно связанные с оливиновыми кальцифирами, являются, вероятнее всего, продуктами глубинного вещества первично-магматической природы. При этом породы железисто-кремнисто-карбонатного состава заполняли подводящие каналы, раскрытие которых могло быть обусловлено горизонтальными тектоническими подвижками

значительной амплитуды. В то же время не исключалось, что силикатно-магнетитовые породы образованы на одном этапе, а кальцифиры — на другом.

Приведенные в статье [Усенко, 2015] данные по расчленению и химическому составу пород железисто-кремнистой и железисто-карбонатной формаций исследуемого района, основанные на материалах исследований 70—80-х годов прошлого века, в какой-то мере, во-первых, освобождают от необходимости делать это в нашей статье, а во-вторых, показывают, что к этим исследованиям необходимо вернуться, используя новейшие методики и последние данные по железорудным и карбонатитовым месторождениям мира.

Следует отметить, что сомнения в однозначности отнесения карбонатных образований (кальцифиров) Голованевской шовной зоны к продуктам осадочного генезиса высказывались и ранее. Известный специалист по железорудным месторождениям В. Ф. Богатырев, руководивший поисковыми и поисково-разведочными работами в пределах участков развития пород железорудной формации и кальцифиров Среднего Побужья в 70—80-х годах прошлого века, писал: «... В порядке постановки вопроса мы выдвигаем предположение о карбонатитовой природе карбонатной толщи Слюсаревской магнитной аномалии. ... Симптоматично, что по данным количественного и полуколичественного спектрального анализа в кальцифирах Слюсаревского и Молдовского месторождений, хотя и в незначительных концентрациях, но установлены типичные «карбонатитовые» элементы: La, Ce, Y, Yb, Be, B, Ta, Nb, Ba, Sr, P, F, Th, которые почти полностью отсутствуют в ультрабазитах района месторождений. ... Таким образом, не исключено, что в Среднем Побужье имеем не только новый тип карбонатно-магнетитовых руд, но и новую железисто-карбонатную рудную формацию, генетически связанную с карбонатитами» [Богатырев и др., 1974].

Кроме того, при изучении карбонатной брекчии МЖРМ в ней были установлены фрагменты коры выветривания монтморилонитового состава, характерные для переработанных ультрабазитов щелочного ряда, которые обычно ассоциируются с карбонатитами [Семененко, Половко, 1980]. Большое содержание в кальцифирах темноцветных минералов (пироксенов и оливина), ведущее к значительному увеличению плотности, дало основание для отнесения их к метасоматическим образованиям [Довгань и др.,

1989]. В коре выветривания кальцифиров Тарасовской и Троянской структур, находящихся в 20—30 км к северу от МЖРМ, установлены весовое, на уровне рудопроявлений, содержание апатита, а в самих кальцифирах — высокое содержание стронция, что также сближает их с карбонатитами [Юрчишин, Соловей, 1989; Костюченко и др., 1990].

Определенное участие эндогенного (возможно, даже карбонатитового) материала в разнотипных вещественных ассоциациях Молдовской структуры подтверждается результатами изотопных данных [Ярошук, 1983; Загнитко, Луговая, 1989]. Здесь только следует указать, что причиной многочисленных и многолетних дискуссий по вопросам отнесения тех или иных массивов к карбонатитам является многообразие изотопных параметров, что во многих случаях приводит к выводу о гидротермально-метасоматических изменениях исходных карбонатных пород.

Вместе с тем системный анализ комплекса изотопно-геохимических параметров позволяет проследить степень взаимной контаминации корового карбонатного и глубинного карбонатитового вещества, что отчетливо проявлено позицией карбонатов карбонатитовых образований, щелочных массивов и осадочных пород Восточного Саяна, Енисейского кряжа, Западного Забайкалья на изотопных диаграммах [Врублевский, Гертнер, 2005], где виден отчетливый тренд изотопных характеристик пород и руд от первично-осадочных карбонатных пород (NSC) в область существенного обогащения мантийной компонентой (PIC).

Принимая за основу интерпретации комплекса изотопных данных по МЖРМ координатные схемы [Врублевский, Гертнер, 2005], получаем совершенно аналогичный тренд распределения изотопных параметров (рис. 8). На диаграмме наблюдается систематическое изотопное «облегчение» изотопного состава как углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ), так и кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ ) карбонатов МЖРМ в направлении от мраморов к полю карбонатитов (PIC), что указывает на максимальную контаминацию глубинным веществом именно магнетитовых руд. Это еще не является основанием для отнесения карбонат-магнетитовых руд месторождения к собственно магматическим карбонатитам, однако свидетельствует о значительном участии в их формировании глубинного (магматического или флюидного?) вещества. Выявление прямых производных карбонатитового магматизма в данном случае требует проведения до-

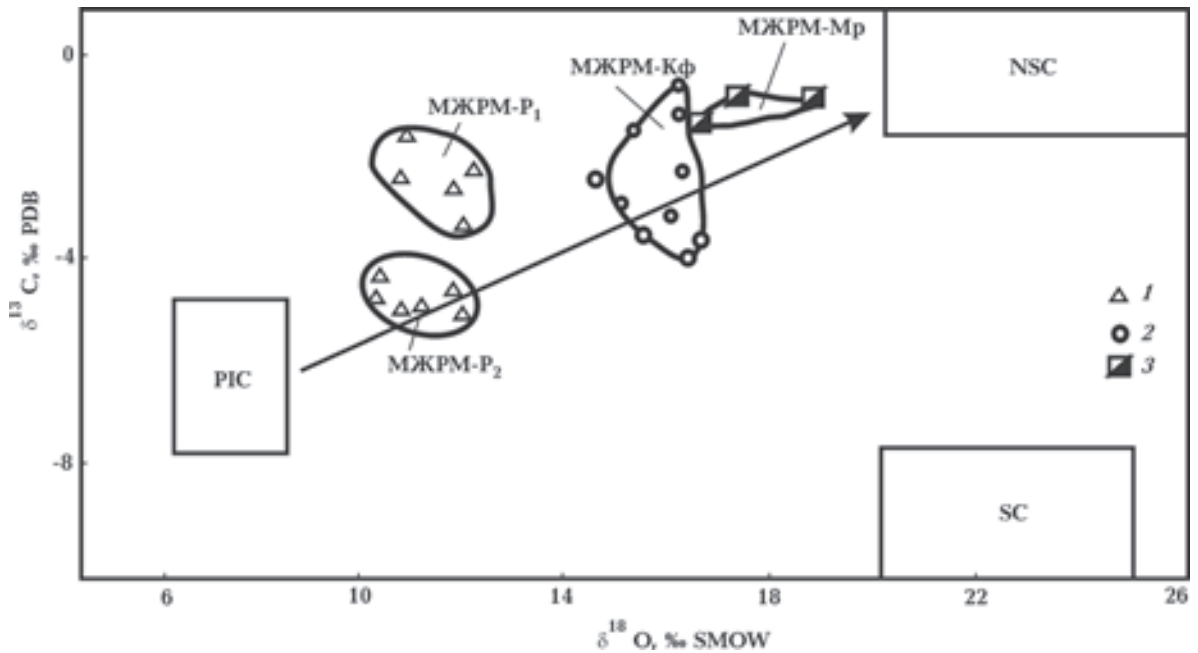


Рис. 8. Вариации изотопного состава углерода и кислорода карбонатов пород и руд Молдовской структуры (основа, по [Врублевский, Гертнер, 2005]): 1 — магнетит-карбонатные руды, 2 — кальцифиры и железистые кальцифиры, 3 — массивные карбонатные породы и мраморы. Буквенные индексы в прямоугольниках фиксируют параметры карбонатов мантийного (PIC — типичные магматогенные карбонатиты), корового (NSC — морские осадочные карбонаты) и возможного влияния почвенных карбонатов (SC) в коре выветривания. Локальные поля изотопных параметров пород и руд Молдовской структуры: МЖРМ-Р<sub>1</sub> и МЖРМ-Р<sub>2</sub> — железные руды, МЖРМ-Кф — скарнированные и железненные кальцифиры, МЖРМ-Мр — мраморы.

полнительных детальных минералогических и изотопно-геохимических исследований.

**Выводы.** Целый ряд структурно-тектонических, минералогических и геохимических факторов дает возможность, по нашему мнению, достаточно обоснованно предположить участие в образовании МЖРМ эндогенных процессов, обусловивших формирование специфической дайково-штоковой морфоструктуры и осложненной впоследствии сдвиговыми процессами и наложенными вулканотектоническими событиями.

Предложенный механизм образования МЖРМ позволяет в едином контексте трактовать роль разломов как основного канала доставки первичного обогащенного железом вещества из зоны плавления в верхние горизонты земной коры, а также как главного инструктора последующей деформации и активатора процессов вулканизма.

С этих же позиций могут быть пересмотрены взгляды на генезис и формирование других железорудных проявлений Побужского железорудного района с той только разницей, что некоторые из них уже на первоначальном этапе своего становления были сформированы как

вулканотектонические структуры центрального типа (например, Савранская, Полянецкая и др.), от которых до настоящего времени сохранились лишь отдельные кольцевые фрагменты. Представление о первично-магматической природе основной части железорудных структур Побужья, как свидетельствует мировой опыт [Юшин, 2008; Юшин и др., 2008], значительно расширяет их поисковые перспективы.

И хотя в оценках генетической позиции вещественного наполнения МЖРМ имеются многочисленные и весьма противоречивые мнения — от признания его карбонатитовым до отнесения к метасоматически (или метаморфически) переработанным первично-осадочным образованиям, приведенные в настоящей статье данные о структурных особенностях МЖРМ создают основу для дальнейшего детального переосмысления комплекса полученных ранее и новых материалов. В решении этой задачи выделяется два основных аспекта — геолого-геофизический (с созданием детальной модели как структуры в целом, так и пространственных соотношений ее локальных элементов) и минералого-геохимический (с определением генетической позиции геологически различаемых

элементов структуры на основе использования комплекса минералогических и геохимических методов).

Сложность этого этапа обобщения заключается в необходимости системного анализа не только традиционных минералогический и петрографических и геохимических данных, но и результатов прецизионных минералогических и изотопно-геохимических исследований, распределения когерентных и некогерентных элементов, учитывая влияние глубинных ме-

тасоматических процессов [Юшин, 2007, 2008, 2013], а также петрологический анализ и т. д.

Такое обобщение выходит далеко за рамки настоящей статьи, этим вопросам будут посвящены специальные публикации.

Приведенные материалы по МЖРМ заставляют еще раз обратить внимание на проблему комплексного геолого-геофизического и горно-технического изучения ПЖР с учетом разработанных в последнее десятилетие новых методик и технологий.

### Список литературы

- Богатырев В. Ф., Ионис Г. И., Ентин В. А. Отчет о результатах геолого-поисковых и детальных геофизических исследований на железные руды в районе Среднего Побужья за 1971—1974 гг. Кн. 1. Киев: Геолфонды, 1974. 194 с.
- Богатырев В. Ф., Ионис Г. И., Ентин В. А. Отчет о результатах поисково-ревизионных работ на богатые магнетитовые руды в кальцифирах и железистых кварцитах в районе Среднего Побужья в 1974—1976 гг. Кн. 1. Киев: Геолфонды, 1976. 325 с.
- Богатырев В. Ф., Ионис Г. И., Ентин В. А. Отчет о поисках карбонатно-магнетитовых и богатых магнетитовых руд в Среднем Побужье, выполненных Ульяновской геологоразведочной партией в 1976—1981 гг. Т. 1. Киев: Геолфонды, 1981. 321 с.
- Врублевский В. В., Гертнер И. Ф. Природа карбонатитосодержащих комплексов складчатых областей: изотопные свидетельства мантийно-корового взаимодействия. В сб.: *Проблемы источников глубинного магматизма и плюмы*. Иркутск: Изд. ИГ СО РАН, 2005. С. 30—49.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применения при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Гинтов О. Б., Ентин В. А., Исай В. М. Новые данные об особенностях формирования складчатой структуры магнетитовых месторождений Среднего Побужья. *Докл. АН УССР. Сер. Б*. 1985. № 4. С. 15—17.
- Гинтов О. Б., Исай В. М., Коваленко В. Н. Тектонофизические данные о механизме формирования складок первого порядка Криворожского бассейна на примере Лихмановской структуры. *Геол. журн.* 1990. № 5. С. 115—123.
- Доброхотов М. Н., Гинтов О. Б., Ентин В. А., Солонина И. Н. Отчет по теме: «Обобщение и переинтерпретация геолого-геофизических материалов по Украинскому щиту для определения участков перспективных на железо». Кн. 1. Киев: Геолфонды, 1971. 412 с.
- Довгань Р. М., Ентин В. А., Зюльцле В. В. Геологическое строение и полезные ископаемые района Завальевского геологического района. Отчет геолого-съёмочного отряда № 6 о ГТК м-ба 1:50 000 листа М-35-144-Б совместно с геологической съёмкой листа М-35-132-Г. Т. 1. Киев: Геолфонды, 1989.
- Дымкин А. М., Пругов В. П. Стратиформный тип железоруднения и его генетические особенности. Москва: Наука, 1980. 200 с.
- Ентин В. А. Геолого-структурные особенности и прогнозная оценка ресурсов железорудных месторождений среднего Побужья по геолого-геофизическим данным. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Киев, 1987. 32 с.
- Ентин В. А. Кто сказал первым «мяу», или о роли личности и случая в геологическом поиске. *Геолог Украины*. 2003. № 3-4. С. 122—128.
- Ентин В. А. Природные геофизические феномены Украины. Киев: Изд. УкрГГРИ, 2012. 76 с.
- Железисто-кремнистые формации Украинского щита. Т. 2. Отв. ред. Н. П. Семененко. Киев: Наук. думка, 1978. 367 с.
- Завойский В. И. Использование тензора магнитной восприимчивости для решения задач структурной геологии. *Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли*. 1982. № 3. С. 76—84.
- Зангитко В. Н., Луговая И. П. Изотопная геохимия карбонатных и железисто-кремнистых пород Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1989. 316 с.
- Ионис Г. И., Ентин В. А., Гринин Р. И. Отчет по поисково-оценочным работам на Молдовском железорудном месторождении 1981—1986 гг. Т. 1. Киев: Геолфонды, 1986. 152 с.
- Каневский А. Я., Гинтов О. Б. Находка новой разновидности железных руд на Украинском щите в районе Побужья. *Геол. журн.* 1972. Т. 32. Вып. 5. С. 140—141.

- Костюченко В. С., Федоров А. В., Ентин В. А. Геологическое строение и полезные ископаемые Среднего Побужья. Отчет геолого-съёмочного отряда № 37 о ГКК-200 листа М-36XXXI. Кн. 1. Киев: Геолфонды, 1990. 378 с.
- Михайлов Д. А. Метасоматическое происхождение железистых кварцитов докембрия. Ленинград: Наука, 1983. 168 с.
- Павлов А. Л. Генезис магматических магнетитовых месторождений. Труды Ин-та геологии и геофизики СО РАН. Новосибирск: Наука, 1983. Вып. 552. 220 с.
- Семенов Н. П., Половко Н. И. Проблемы глубинного магматизма. *Геохимия и рудообразование*. 1980. Вып. 8. С. 5—16.
- Слензак О. І. Про структуру українського докембрію (на прикладі південно-західної частини Українського кристалічного щита). Київ: Наук. думка, 1965. 139 с.
- Усенко О. В. Условия формирования железистых пород Среднего Побужья. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 4. С. 32—50.
- Юрчишин А. П., Соловей Н. П. Отчет о поисках апатита в западной части Украинского щита. Кн. 1. Киев: Геолфонды, 1989. 495 с.
- Юшин А. А. Геохимия платиновых металлов в ультрабазитах как показатель региональной специфики мантийно-коровых взаимодействий: *Материалы ХLI Тектонического совещания «Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики»*. Т. 2. Москва: ГЕОС, 2008. С. 506—510.
- Юшин А. А. Использование параметров распределения когерентных элементов для расчленения и типизации мафит-ультрамафитовых комплексов Украинского щита: Материалы нарады «Геологія та питання геологічного картування і вивчення докембрійських утворень Українського щита». Дніпропетровськ: ПП «Союз», 2007. С. 130—134.
- Юшин А. А. Метасоматическая углеродизация и процессы рудообразования в углеродистых формациях раннего докембрия Украинского щита. *Сборник науч. трудов Пермского гос. нац. исслед. ун-та*. Пермь, 2013. Вып. 16. С. 159—167.
- Юшин А. А. О перспективах выявления магматогенно-гидротермальных железорудных образований на Украинском щите. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 4. С. 19—31.
- Юшин А. А., Бутырин В. К., Гальчанский Л. В., Стагнущина Н. В., Бондаренко И. Н. Некоторые геохимические особенности и перспективы выявления комплексного оруденения на Восточно-Анновском месторождении Криворожья. *Наукові праці Донецького НТУ. Сер. «Гірничо-геологічна»*. 2008. Вип. 8(136). С. 240—244.
- Ярошук М. А. Железорудные формации Белоцерковско-Одесской металлогенической зоны (западная часть Украинского щита). Киев: Наук. думка, 1983. 224 с.
- Ярошук М. А., Фомин А. Б., Ионис Г. И., Ентин В. А. Отчет по теме «Изучение железисто-кремнистых формаций западной части Украинского щита и тектоники зеленокаменных структур Украинского щита». Т. 1. Киев: Геолфонды, 1985. 448 с.
- Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits a global perspective*, 2002. In: *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*. Ed. T. M. Porter. Vol. 1, 2. Advances in the Understanding of IOCG Deposits. Adelaide: PGC Publishing. 380 p.

## The structure of the Moldovan iron ore deposit (The Ukrainian shield) according to geological-geophysical data and its possible endogenous nature

© V. A. Entin, O. B. Gintov, S. V. Mychak, A. A. Yushin, 2015

An idea of the endogenous nature of ferriferous and ferriferous-carbonate rocks, forming numerous relatively small size of deposits and ore manifestations in the region of the Middle Bug area called Pobuzhsky iron-ore district has been expressed on the example of the Moldovan iron-ore deposit (Middle Bug area, Ukraine). This representation is an alternative for the most commonly held view of the sedimentary-volcanogenic metamorphic origin of iron ore deposits in the Ukrainian Shield the rocks of which are collected in tight folds with subvertical wings and subhorizontal hinges.

As a proof of endogenous nature of the Moldovan deposit the results of complex interpretation of magnetic and gravity surveys at a scale of 1:2000—1:5000, the study of physical properties of rocks and deep drilling (1200 m), which indicate the subvertical drop in ore deposits, a complete

lack of even the initial signs of folding of total collapse and centriclinal or periclinal locking in the structure of deposits have been given in this article. The preliminary isotope analysis of carbonate rock deposits also showed a trend of their composition toward carbonatites.

It is shown that the deposit is a hook-like drag fold with vertical hinge formed, as supposed, from iron-ore dyke at length of 2—3 km and complicated in the hinge part of the impact of volcanic extrusion. These dykes of ferriferous rocks and ores are known in many regions of the world.

**Key words:** Middle Bug area, Moldovan iron ore deposit, magmatism, structure, genesis.

## References

- Bogatyrev V. F., Ionis G. I., Entin V. A.*, 1974. Report on the results of prospecting and detailed geophysical studies on iron-ore in the region of the Middle Bug area 1971—1974. Book 1. Kiev: Geolfondy, 194 p. (in Russian).
- Bogatyrev V. F., Ionis G. I., Entin V. A.*, 1976. Report on the results of the search and audit work on the rich magnetite ores in calciphyres and ferriferous quartzites in the region of the Middle Bug area in 1974—1976. Book 1. Kiev: Geolfondy, 325 p. (in Russian).
- Bogatyrev V. F., Ionis G. I., Entin V. A.*, 1981. Report on search of carbonate-magnetite and magnetite-rich ores in the Middle Bug area region, performed by Ulyanovsk exploration party in 1976—1981. Book 1. Kiev: Geolfondy, 321 p. (in Russian).
- Vrublevskiy V. V., Gertner I. F.*, 2005. Nature of carbonatite-bearing complexes of folded regions: isotopic evidence of mantle-crust interaction. In: *Problems of sources of deep magmatism and plumes*. Irkutsk: Publishing House of Institute of Geology of Siberian branch of Russian Academy of Sciences, P. 30—49 (in Russian).
- Gintov O. B.*, 2005. Field Tectonophysics and its application in the study of crustal deformation of Ukraine. Kiev: Feniks, 572 p. (in Russian).
- Gintov O. B., Entin V. A., Isay V. M.*, 1985. New data about the peculiarities of the formation of the folded structure of the magnetite deposits of the Middle Bug area. *Doklady of AN UkrSSR. Ser. B* (4), 15—17 (in Russian).
- Gintov O. B., Isay V. M., Kovalenko V. N.*, 1990. Tectonophysical data on the mechanism of formation of folds of the first order of Krivoy Rog Basin as an example of Lihmanovsk structure. *Geologicheskij zhurnal* (5), 115—123 (in Russian).
- Dobrokhoto M. N., Gintov O. B., Entin V. A., Solonina I. N.*, 1971. The report on «Synthesis and reinterpretation of geological and geophysical data on the Ukrainian shield to determine sites perspective for iron». Book 1. Kiev: Geolfondy, 412 p. (in Russian).
- Dovgan R. M., Entin V. A., Zyltse V. V.*, 1989. Geological structure and minerals district of Zavalevsky geological area. Report on geological survey № 6 of GGC at a scale of 1: 50,000 sheet M-35-144-B together with the geological survey sheet M-35-132-G. Book 1. Kiev: Geolfondy (in Russian).
- Dymkin A. M., Prugov V. P.*, 1980. Stratiformed type of iron-ore and its genetic features. Moscow: Nauka, 200 p. (in Russian).
- Entin V. A.*, 1987. Geologist-structural features and prognosis estimation of resources of iron-ore deposit of Middle Bug area from geolog-geophysical data. Abstract of thesis for the degree of candidate of geol.-min. sci. Kiev, 32 p. (in Russian).
- Entin V. A.*, 2003. Who said the first «meow» or the role of the individual and case in geological search. *Geolog Ukrainy* (3-4), 122—128 (in Russian).
- Entin V. A.*, 2012. Natural geophysical phenomena in Ukraine. Kiev: Publ. UkrGGRI, 76 p. (in Russian).
- Ferriferous-siliceous formations of the Ukrainian shield, 1978. Ed. N. P. Semenenko. Vol. 2. Kiev: Naukova Dumka, 367 p. (in Russian).
- Zavoiskiy V. I.*, 1982. Using magnetic susceptibility tensor for solving problems of structural geology. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Fizika Zemli* (3), 76—84 (in Russian).
- Zagnitko V. N., Lugovaya I. P.*, 1989. Isotope geochemistry of carbonate and ferruginous-siliceous rocks of the Ukrainian shield. Kiev: Naukova Dumka, 316 p. (in Russian).
- Ionis T. I., Entin V. A., Grinin R. I.* 1986. Report on the survey and assessment work in the Moldovan iron-ore deposit, 1981—1986. Book 1. Kiev: Geolfondy, 152 p. (in Russian).
- Kanevskiy A. Ya., Gintov O. B.*, 1972. Finding a new species of iron-ores in the Ukrainian Shield of the Bug area. *Geologicheskij zhurnal* 32(is. 5), 140—141 (in Russian).
- Kostyuchenko V. S., Fedorov A. V., Entin V. A.*, 1990. Geology and mineral resources of the Sredniy Pobuzhzhya. Report of geological survey № 37 of the GGC—200 sheet M — 36 XXXI. Book 1. Kiev: Geolfondy, 378 p. (in Russian).
- Mikhaylov D. A.*, 1983. Metasomatic origin of ferriferous quartzites of the Precambrian. Leningrad: Nauka, 168 p. (in Russian).
- Pavlov A. L.*, 1983. The genesis of magmatic magnetite deposits. Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy

- of Sciences. Novosibirsk: Nauka, is. 552, 220 p. (in Russian).
- Semenenko N. P., Polovko N. I., 1980. Problems of deep magmatism. *Geohimiya i rudoobrazovanie* (is. 8), 5—16 (in Russian).
- Slenzak O. I., 1965. About the structure of the Ukrainian Precambrian (on the example of the South-Western part of the Ukrainian crystalline shield). Kiev: Naukova Dumka, 139 p. (in Ukrainian).
- Usenko O. V., 2015. Conditions of formation of ferrous rocks of the Middle Bua area. *Geofizicheskiy zhurnal* 37(4), 32—50 (in Russian).
- Yurchishin A. P., Solovey N. P., 1989. Report about the search of apatite in the western part of Ukrainian Shield. Book 1. Kiev: Geolfondy, 495 p. (in Russian).
- Yushin A. A., 2008. Geochemistry of ultramafic platinum metals as an indicator of regional specificity of mantle—crust interaction. In: *Proceedings of the XLI Tectonic Conference «Common and regional problems of tectonics and geodynamics»*. Vol. 2. Moscow: GEOS, 506—510 (in Russian).
- Yushin A. A., 2007. The usage of parameters of the distribution of coherent elements for partition and typing of mafic-ultramafic complexes of the Ukrainian Shield: *Proc. of the meeting «Geology and problems of geological mapping and studying of Precambrian formations of the Ukrainian shield»*. Dnipropetrovsk: Soyuz, P. 130—134 (in Russian).
- Yushin A. A., 2013. Metasomatic carbonization and processes of ore formation in the Early Precambrian carbon formations of the Ukrainian Shield. In: *Collection of scientific works of the Perm State National Research University* (is. 16), 159—167 (in Russian).
- Yushin A. A., 2015. On the prospects of identifying magmatogene hydrothermal iron-formations in the Ukrainian shield. *Geofizicheskiy zhurnal* 37(4), 19—31 (in Russian).
- Yushin A. A., Butyrin V. K., Galchansky L. V., Stadnishi-na N. V., Bondarenko I. N., 2008. Some geochemical characteristics and prospects of identifying complex mineralization at the East Annovsk deposit of Kryvorozhzhya. *Scientific papers of Donetsk National Technical University. Ser. «Mining and Exploration»* (is. 8), 240—244 (in Russian).
- Yaroshchuk M. A., 1983. Iron-ore formations of Belotserkovsk—Odessa metallogenic zone (the western part of the Ukrainian shield). Kiev: Naukova Dumka, 224 p. (in Russian).
- Yaroshchuk M. A., Fomin A. B., Ionis G. I., Entin V. A., 1985. The report «Study of ferrous-siliceous formations of the western part of the Ukrainian Shield and tectonics of greenstone structures of Ush». Kiev: Geolfond, 448 p. (in Russian).
- Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits a global perspective, 2002. In: *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*. Ed. T. M. Porter. Vol. 1, 2. Advances in the Understanding of IOCG Deposits. Adelaide: PGC Publishing. 380 p.