

УДК 553.04

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-4-3-14

ЗОЛОТО-РТУТНАЯ РУДНАЯ ФОРМАЦИЯ В ЮЖНОМ ДОНБАССЕ

Владимир Макарович Артеменко¹✉, Александр Лукич Дергачев²

¹ Российское геологическое общество, Севастополь, Россия; artemenko_bm@mail.ru✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; alderg51@yandex.ru

Аннотация. Продолжительное изучение, прогнозирование и поиски авторами ртутного, ртутно-сурьмяного, золото-сульфидного оруденения в Донецкой металлогенической провинции привели к выявлению перспективной золото-ртутной формации. Докучаевский (карлинский) тип руд локализуется в нижнекарбоневой (турне — нижний визе) карбонатной (известняки, доломитизированные известняки, доломиты) толще Павлоградско-Докучаевского металлогенического пояса. В пределах прогнозируемого Докучаевского золоторудного района выделены три рудных узла и семь рудных полей. Рассмотрены геологическое строение района, позиция прогнозируемых рудных полей, предварительная характеристика месторождений и рудных тел. Представлены некоторые предложения к методике ведения поисковых работ.

Ключевые слова: месторождения золота, золото-ртутная рудная формация, месторождения типа Карлин, Южный Донбасс

Для цитирования: Артеменко В.М., Дергачев А.Л. Золото-ртутная формация в Южном Донбассе // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 4. С. 3–14.

GOLD-MERCURY ORE FORMATION IN SOUTHERN DONBASS

Vladimir M. Artemenko¹✉, Alexander L. Dergachev²

¹ Russian Geological Society, Sevastopol, Russia; artemenko_bm@mail.ru✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; alderg51@yandex.ru

Abstract. Continuous exploration works and investigations of mercury, mercury-antimony and gold-sulfide mineralization in Donetsk metallogenic province resulted in identification of promising gold-mercury ore formation. Dokuchaev-type (Carlin-type) gold mineralization is confined to the Lower Carboniferous limestones, dolomitic limestones and dolomites of the Pavlodar-Donetsk metallogenic belt. Predictive Dokuchaev gold ore district comprises three ore clusters totaling seven ore fields. Geology of the district, position of predicted ore fields, preliminary characterization of potential gold deposits and ore bodies are discussed. Some proposals for methodology of exploration works are presented.

Keywords: gold deposits, gold-mercury ore formation, Carlin-type deposits, Southern Donbass

For citation: Artemenko V.M., Dergachev A.L. Gold-mercury ore formation in Southern Donbass. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 4: 3–14. (In Russ.).

Введение. Данные геологической науки и геологоразведочная практика второй половины XX века свидетельствуют о значительном распространении в природе золото-ртутного оруденения. Зачатую оно характеризуется промышленным содержанием в рудах как Au, так и Hg. Сведения о геологической позиции и условиях формирования оруденения этого типа, составе руд с равноценными концентрациями Au и Hg приняты во внимание при выделении специфической золото-ртутной формации, которая вслед за В.А. Кузнецовым и В.И. Старостиным [Кузнецов, 1966; Старостин, 2012] понимается как естественное сообщество рудных образований, объединяемых между собой сходными парагенетическими ассоциациями главнейших рудных минералов и тектономагматическими условиями происхождения, а также близкими особенностями развития рудного процесса [Берзон и др., 1989; Берзон, Степанов, 1986 и др.].

Месторождения золото-ртутной формации, позднее отнесенные к типу Карлин, были открыты

и начали детально изучаться на западе США с 1960-х годов. Позднее десятки месторождений подобного типа были обнаружены, главным образом, в штате Невада. Благодаря их разработке США вышли на первое место в мире по добыче золота, и этот геолого-промышленный тип привлек внимание геологов всего мира [Минеральные..., 1989]. В 1970–1980-х годах началась и быстрыми темпами возростала разработка месторождений типа Карлин в Китае. Позднее минерализация этого типа была обнаружена в Канаде, на Урале, Балканах, в Казахстане и других регионах, где характеризовалась следующими общими признаками, впервые установленными на типичных месторождениях типа Карлин в Неваде [Cline, et al., 2005].

1. Месторождения локализируются в осадочных толщах, преимущественно в карбонатных (известняки, доломиты) и тонкообломочных терригенных (известковистые алевролиты) породах, особенно часто — на границах литологически различных толщ.

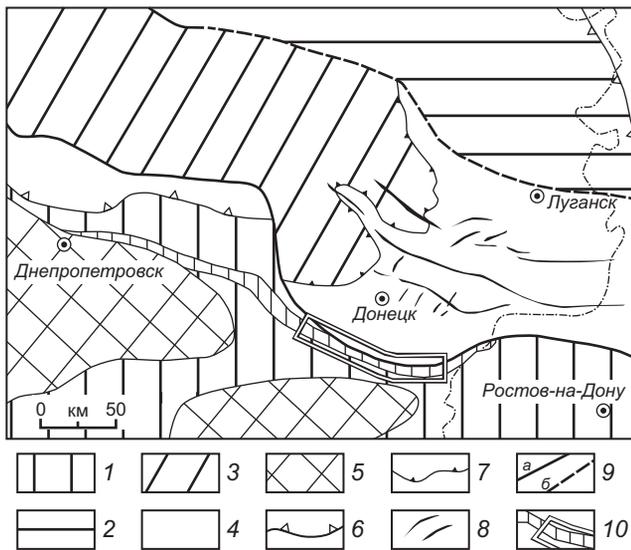


Рис. 1. Региональная позиция золотоносной нижнекаменноугольной формации ($C_{1t}-C_{1v}$) в пределах Павлоградско-Донецкого металлогенического района (тектоническая основа по [Атлас..., 1984], с дополнениями): 1 — склоны Украинского и Воронежского щитов; 2 — борта Днепровско-Донецкой впадины; 3 — Днепровско-Донецкая впадина; складчатые области: 4 — герцинская — Донецкая; 5 — докембрийская — Украинского щита; контуры платформенных структур: 6 — наиболее крупные; 7 — I порядка; 8 — оси антиклинальных складок; 9 — региональные разломы: а — достоверные, б — предполагаемые; 10 — контуры рудоносного турне-визейского ($C_{1t}-C_{1v}$) структурно-формационного комплекса перспективного для поисков оруденения Докучаевского (Карлинского) типа — выделен Докучаевский золоторудный район

2. Золото заключено в сульфидах (преимущественно в арсенопирите и мышьяковистом пирите, содержащем большое количество элементов-примесей) и глинистых минералах; соотношение $Au:Ag > 1$ (от 10:1 на месторождении Гетчел и 20:1 на месторождениях Карлин, Энфилд-Бем и Кортец до 97:1 на месторождении Пинсон). Размеры частиц высокопробного самородного золота мелкие и ультрамелкие (от десятых долей до 5–30 мкм на тех же месторождениях) [Минеральные..., 1989; Константинов и др., 1992; Горон, 2019].

3. Преимущественно вкрапленные руды характеризуются низко-среднетемпературными минеральными парагенезисами, включающими самородное золото, пирит, арсенопирит, антимонит, киноварь, аурипигмент, реальгар, самородное серебро, а также жильные минералы: кварц, кальцит, доломит, халцедон, глинистые минералы, серицит, барит.

4. Типичны средне-низкотемпературные изменения вмещающих пород, представленные джасперидизацией и аргиллизацией, иногда алунигизацией и баритизацией.

5. Размещение и строение месторождений контролируется геологической структурой и они, как правило, не имеют очевидной связи с интрузивными породами. Сложная и разнообразная морфология рудных тел (пласто-, трубо- и Т-образная, непра-

вильная) определяется локальными зонами высокой пористости и проницаемости благоприятных пород, разломами с крутыми и пологими ориентировками сместителей и особенно участками пересечения и сопряжения этих структур [Cline, et al., 2005].

6. Возраст оруденения соответствует относительно молодым эпохам тектоно-магматической активизации. Месторождения этого типа практически всегда встречаются в ртутно-сурьмяных зонах или в соседних с ними районах [Radtke, 1985; Берзон, Степанов, 1986; Берзон и др., 1989; Константинов и др., 1992 и др.].

Рудообразующие элементы Au, As, Sb и Hg схожи по геохимическим характеристикам. Согласно термодинамическим расчетам [Cheng, et al., 1986], при восстановительных условиях, средней температуре около 200°C , высокой фугитивности серы ($\log fS_2 = -6...-16$) и средней фугитивности кислорода ($\log fO_2 = -31...-41$) из слабощелочных рудообразующих флюидов могут осаждаться все четыре элемента. При понижении температуры, давления, fS_2 и повышении fO_2 и pH, изменение физико-химических условий приводит к обособлению Au, As, Sb, Hg и образованию зональности. Однако различия в поведении Au с одной стороны, и Hg и Sb — с другой, приводят к тому, что проявления золото-мышьяковой минерализации могут встречаться на расстоянии до нескольких километров от ртутно-сурьмяных месторождений. Тем не менее известны случаи, когда открытие месторождений золота этого типа явилось результатом поисков именно ртутного оруденения. Не исключено, что одним из таких примеров является минерализация, выявленная в Докучаевском золото-ртутном районе Южного Донбасса.

Краткая геологическая характеристика Докучаевского золото-ртутного района. Докучаевский золото-ртутный район (пояс), впервые выделенный ранее на площади около 50 км^2 [Артеменко, Лебедь, 1996; Артеменко, Артеменко, 1999; Артеменко и др., 2002 и др.], расположен в Южно-Донбасской металлогенической провинции. Он занимает юго-восточную часть Павлоградско-Докучаевского металлогенического пояса (рис. 1), перспективного для обнаружения разномасштабных месторождений типа Карлин. Позиция этого рудного района в зоне регионального глубинного разлома может позитивно отразиться на продуктивности юго-восточного звена единого структурно-формационного турнейско-визейского комплекса.

Позиция района в региональных тектонических структурах определяется его положением в зоне сочленения складчатого Донбасса и Украинского кристаллического щита. Ранее при региональном районировании эта территория выделялась как «Южная зона блоковых структур» [Металлогения..., 1974]. Выполненные вместе с В.В. Юдиным геодинамические реконструкции методом структурной сбалансированности позволяют рассматривать

геотектонические структуры района как резонансно-тектонические, расположенные над шовной (сутурной) зоной [Артеменко, Юдин, 1998]. Построение сбалансированных разрезов Донецкой складчато-надвиговой области (в масштабах 1:100 000 и 1:200 000) и их палинспастическая реконструкция позволяют выделить одновергентную серию взбросо-надвигов южного падения и связанных с ними пликативных форм. Фронтальные дислокации одновозрастной складчатой системы формируют бескорневые навешенные антиклинали, дисплекты и дуплексы, послойные пересекающиеся надвиги. Особо следует отметить ранее пропущенные в Донбассе региональные послойные срывы по пластам некомпетентных пород, содержащих углистое вещество.

Золотоносность изучаемой территории в значительной степени определяется региональной структурной позицией Южно-Донбасской металлогенической зоны, которая имеет северо-западное простираие, близкое к простираию сутурной зоны, и располагается над ней, в полосе ее активного тектоно-магматического влияния.

Зона так называемого Южно-Донбасского глубинного разлома (точнее сутурная зона) включает имеющие региональное распространение Северно-Волновахский (Комсомольский) и Южно-Волновахский (Васильевский) взбросы, Комсомольское нарушение, Криворожско-Павловский сброс и Михайловско-Юрьевскую зону разрывов. Сочетание сбросо-взбросовых движений по этим, а также целому ряду других более мелких нарушений, привело к возникновению региональных складчато-надвиговых и локальных блоковых структур горсто-грабенового типа (Стыльский горст, Покрово-Киреевский грабен и др.).

Геотектоническими типоморфными особенностями прогнозируемых месторождений и рудных полей являются сбросовые и надвиговые системы [Артеменко, Артеменко, 1990; Артеменко, Багатаев, 1988]. По возрасту консолидации толщ они представляют собой поздние герциниды — ранние мезозойды(?).

В геологическом строении района выделяются докембрийский структурный этаж, представленный разнообразными метаморфическими породами (гнейсы, сланцы, мраморы, кварциты, граниты, плагиограниты, мигматиты), и герцинский структурный этаж, сложенный вулканогенно — осадочными породами девона, в том числе терригенными образованиями эйфельского яруса, карбонатными отложениями, основными эффузивами живетского яруса, а также терригенно-вулканогенными породами франского и фаменского ярусов (Артеменко, Юдин, 1998). На последних несогласно с размывом залегают карбонатные и терригенно-карбонатные породы нижнего карбона (турнейский и визейский ярусы).

Карбонатные и терригенно-карбонатные геологические формации, вмещающие золото-ртутное оруденение (известняки, доломиты, известковые

алевролиты), расположены в верхнем (герцинском) структурном этаже [Артеменко, Багатаев, 1988] и представлены породами турнейского и визейского ярусов. Сводная колонка рудовмещающего структурно-формационного комплекса, который охватывает нижнюю часть карбона (турне и низы визе) и выделяется в свиту C_1^1 (А), по материалам Приазовской геологоразведочной экспедиции, включает следующие слои (сверху вниз):

$C_1 v_f$ — известняки темно-серые, серые со стяжениями кремня, мощность 50–110 м;

$C_1 v_e$ — сланцы кремнистые, известняки, мергели, мощность 25–30 м;

$C_1 v_d$ — известняки темно-серые, серые со стяжениями кремней, мощность 80–100 м;

$C_1 v_{b-c}$ — известняки серые, разнозернистые, мощность 30–60 м;

$C_1 v_a$ — известняки темно-серые, сланцы глинистые, мощность 5–15 м;

$C_1 t_d$ — известняки сливные и мелкозернистые с редкими прослоями глинистых сланцев, мощность 20–40 м;

$C_1 t_c$ — известняки серые средне- и крупнозернистые, мощность 20–30 м;

$C_1 t_b$ — доломиты, пятнисто-доломитизированные известняки, сливные известняки с прослоями глинистых сланцев, мощность 35–60 м;

$C_1 t_a$ — известняки черные, темно-серые, сливные, пятнисто-доломитизированные, доломиты, прослои глинистых сланцев и песчаников, мощность 0–360 м.

Магматические образования распространены в изучаемом районе ограниченно, представляют собой, вероятно, дорудные (синрудные?) штокообразные и дайкоподобные тела, межпластовые и лакколитоподобные интрузии, которые предшествующими исследователями отнесены к Южно-Донбасскому андезит-трахиандезитовому комплексу (P_2-T_1) [Бутурлинов, 1979; и др.]. Магматические породы тесно связаны с разрывной тектоникой, а в отдельных случаях посленижнекарбонные магматические образования контролируются пликативными дислокациями, локализуясь в призмковых частях антиклиналей (Новотроицкая и Александринская антиклинали). Из магматических образований трахиандезиты сосредоточены преимущественно на западном фланге золоторудного района, а породы андезитового состава — в его центральной части и на восточном фланге.

Более молодой доверхнемеловой Миусский (лампрофировый) магматический комплекс, связанный с мезозойской тектоно-магматической активизацией, известен в соседнем Амвросиевском геологическом районе. Тела лампрофиров локализованы в пределах зон повышенной трещиноватости Еланчик-Ровеньковского поднятия и имеют северо-восточное простираие, то есть ориентируются практически перпендикулярно к осям главных складчатых структур Донбасса [Металлогения..., 1974; Бутурлинов, 1979].

Выходы интрузивных пород детально изучены авторами в Стыльском и Дальнем карьерах, в обнажении на правом берегу р. Сухая Волноваха и в районе Новотроицка. Они образуют дайкообразные тела, которые прорывают вмещающие карбонатные отложения раннекаменноугольного возраста. По составу это андезитовые порфириды, что позволяет отнести их к Южно-Донбасскому комплексу.

Минералого-геохимические особенности проявлений золото-ртутной минерализации. В процессе продолжительных поисков ртутного оруденения в предшествующие годы в зоне сочленения Донбасса с Приазовьем промышленные концентрации ртути обнаружены не были [Зациха и др., 1987]. В то же время были установлены многочисленные аномалии ртути и рассеянная кинварная минерализация, характерные для золото-ртутной формации.

Последующее более детальное их изучение позволило авторам установить, что в таких участках встречается свободное самородное золото. Оно выявлено в турнейских доломитах, в пятнисто-доломитизированных известняках, сливных известняках с прослоями глинистых сланцев, в серых крупно- и среднекристаллических известняках (карьер по добыче карбонатного сырья Доломитный) и визейских темно-серых известняках со стяжениями кремней (добычной карьер карбонатного сырья Восточный), а также в бурых железняках.

При изучении рудовмещающей раннекаменноугольной карбонатной формации ($C_1 t - C_1 v$) были отобраны и проанализированы на содержание золота более 400 проб карбонатных пород, джаспероидов, массивных сульфидных образований и бурых железняков. Анализы выполнялись атомно-абсорбционным и пробирным методами (УкрГИМР), часть проб проверялась пробирным методом в Новомосковской ГРЭ (ГПП Южукргеология). Пробы отбирались из всего разреза карбонатной толщи от $C_1 t_a$ до $C_1 v_d$, из пород, в разной степени подвергшихся эпигенетическим метасоматическим изменениям.

Содержание Au в карбонатных породах различных участков колеблется от кларкового до 2,16 г/т, количество проб, содержащих более 0,1 г/т Au составляет 24 %. В существенно окварцованных карбонатных породах (джаспероидах) концентрация Au колебалась от кларкового до 1,16 г/т, при этом количество проб с содержаниями более 0,1 г/т достигает 39 %. В массивных сульфидных (пиритовых) пробах содержание Au составляет от 0,00п до 1,60 г/т, а наиболее высокие концентрации установлены в бурых железняках, представляющих собой, вероятно, участки окисленных субсогласных сульфидсодержащих тел. Здесь содержание золота колеблется от 0,00п до 13,2 г/т, а количество проб с концентрацией золота более 0,1 г/т составляет 40 %.

Рудные минералы, ассоциирующие с самородным золотом, в карбонатном комплексе района представлены, главным образом, сульфидами и сульфосоля-

ми. Наиболее распространенной является пиритовая минерализация нескольких типов.

В пачках терригенно-карбонатных пород отмечается тонкая вкрапленность кристалликов пирита кубического габитуса, а также пиритизированные фаунистические остатки. Повышенных содержаний Au в таких пиритах не установлено. В доломитизированных известняках, доломитах, в карбонатных и кварцевых прожилках часто присутствуют эпигенетические кристаллы пирита размером от долей миллиметра до первых сантиметров. На некоторых участках наблюдаются субсогласные пласты, сложенные массивным пиритным агрегатом, мощностью до одного метра и более. Эти образования сопровождаются прожилково-вкрапленной кварц-сульфидной минерализацией и содержат 1–2 г/т Au. Эпигенетический пирит характеризуется повышенными содержаниями разнообразных элементов-примесей, в том числе Au, As, Ag, Hg, Tl, Co, Ni, Mo.

Выявленный мышьяковистый пирит содержит до 1,34 % As. Для него характерно зональное внутреннее строение, присутствие примеси Au, содержание которого положительно коррелирует с концентрацией As и в локальных участках, по данным микрозондового анализа, достигает 0,4 %.

Марказит наблюдается в виде мелких включений в зернах пирита, замещающая последний при изменении физико-химических условий. Марказит вместе с пиритом встречается также в сталактитоподобных современных натечных новообразованиях, отлагающихся из стекающих вод на стенках карьеров.

Леллингит определен нами в ассоциации с мышьяковистым пиритом, а также среди реликтов сульфидов в бурых железняках. Состав леллингита, по данным микрозондового анализа, близок к стехиометрическому; постоянными примесями в нем являются Au, S, Co и Ni.

Арсенопирит обнаружен в виде единичных реликтовых зерен в гетитовом агрегате в районе Стыльского карьера. Микрозондовым анализом в минерале установлена примесь золота.

Сфалерит, представленный маложелезистой разностью (содержание Fe не превышает 0,2 %), наблюдается в доломите в виде ксеноморфной вкрапленности в ассоциации с пиритом, а также установлен среди реликтов сульфидов в бурых железняках.

Пирротин встречен в виде изометричных включений размером 10–20 мкм в зернах пирита. Для пирротина характерен состав, близкий к стехиометрическим соотношениям, и примеси Au, As, Ag, Co, Ni, Cu.

Халькопирит образует вкрапленность ксеноморфных зерен размером сотые — десятые доли миллиметра в ассоциации с другими медными минералами: борнитом и халькозином.

Галенит встречается в виде мелких выделений в ассоциации с халькопиритом, и по данным микрозондового анализа, содержит примеси Ag, Bi, Hg.

Блеклая руда установлена нами на Стыльском участке, где представлена мышьяковистой разновидностью — теннантитом (Cu_3AsS_3), содержащим не более 1,2 мас. % Sb. Из изоморфных примесей для теннантита характерны Zn (до 7,79 мас. %) и Fe (до 1,97 мас. %). Он кроме того содержит Hg, Ag, Bi, Te, Se в количестве менее 1 мас. %.

Выходящие на дневную поверхность залежи бурых железняков исследованы в обнажениях в междуречье рек Сухая и Мокрая Волноваха. Бурые железняки трассируют на современном эрозионном срезе зону Северо-Волновахских разрывных нарушений. Вмещающими породами служат известняки нижнего карбона (турне-визе). Пласто- и карманообразные, линзовидные залежи бурых железняков предшествующие исследователи считали продуктом окисления болотных руд. Протяженность тел окисленных образований колеблется от первых десятков метров до 1 км при мощности от нескольких метров до нескольких десятков метров.

Минеральный состав бурых железняков при детальном рассмотрении оказался достаточно сложным. Кроме преобладающего гетита, гидрогетита, гематита здесь установлены лепидокрокит, ярозит, мелантерит, магнетит, ильменит, ромеит, пирит, сфалерит, арсенопирит, леллингит, самородное золото; из нерудных минералов выявлены кварц, халцедон, каолинит, кальцит, сидерит, доломит, гидрослюда, алунит, церуссит, аметист, барит и гипс. Сульфиды содержатся в массе окислов железа в виде тонкой вкрапленности и являются, по-видимому, реликтами первичной сульфидной минерализации.

Геохимической особенностью тел бурых железняков является богатый набор рудогенных элементов. В количествах, повышенных по сравнению с кларковыми, они содержат Au, Ag, As, Hg, Mo, Pb, Sb, Tl, Be, Zn. Количество проб с содержанием Au выше 0,1 г/т колеблется по отдельным телам от 25 до 56 %; содержание Au, по данным пробирного анализа, достигает 3–12 г/т и коррелирует с концентрациями Hg, As, Mo, Be. Все приведенные выше данные о бурых железняках свидетельствуют о типичных признаках «железных шляп» — зон окисления эндогенных рудных месторождений.

Из проб бурых железняков гравитационными методами было выделено самородное золото (рис. 2). Выделенные золотины по размерности относятся к пылевидному (10–50 мкм), очень мелкому (50–100 мкм), в редких случаях — мелкому (0,1–0,5 мм) классам. Замеры 100 зерен показали, что 70 % выделений имеют размеры в интервале 50–100 мкм. Вместе с тем, следует учитывать, что количество золотин с размерами менее 50 мкм существенно занижено из-за технических трудностей их выделения. Судя по данным сцинтилляционного эмиссионного спектрального анализа, в пробах преобладают золотины размером не более 10 мкм.

Форма выделений самородного золота ксеноморфная, преимущественно уплощенная до пла-

стинчатой, реже чешуйчатая, встречены единичные комковатые и проволочковидные зерна. Для золота характерны однородность состава, высокая пробность, колеблющаяся от 895 до 996 (средняя по 9 определениям — 955), и незначительное количество элементов-примесей, среди которых установлены — Ag, Te, Cu, Hg, As, Fe, Se, Pt. Самородное золото, выявленное в бурых железняках, по-видимому, испытало перекристаллизацию и переотложение в зоне окисления, приведшие к очистке от примесей и укрупнению золотин.

Геохимическая характеристика рудовмещающего структурно-формационного комплекса определяется поисковой ролью первичных ореолов рассеяния Hg (0,00003–0,8 %, преимущественно в форме киновари), As (50–500, иногда до 1000 г/т в форме реальгара, арсенопирита или аурипигмента) и Sb, а также гидрогеохимических аномалий As (0,001–0,01 мг/л), Zn, Cu и изредка F. Сульфидоносность рудовмещающего комплекса осадочных пород, как правило, невысокая и не превышает нескольких процентов.

Геохимическое поле рудного района характеризуется неоднородностью и аномально повышенными концентрациями в коренных породах Au, Ag, As, Sb, Hg, Tl, Mo, Pb, Zn, Bi и других элементов. Содержание Au в пробах положительно коррелирует с концентрациями As, Hg, Mo, Cu, Mg, Be, Sb и отрицательно — с содержаниями Ca, Sr. Эти данные, очевидно, указывают на связь золота с процессами доломитизации карбонатных толщ и активизационными процессами.

Перспективы выявления месторождений золото-ртутной формации в Южном Донбассе.

Сопоставление характерных черт геологического строения, закономерностей локализации и минералого-геохимических особенностей золотого оруденения Южного Донбасса и оруденения типа Карлин в штате Невада, обнаруживает ряд аналогий на региональном и локальном уровнях.

Важной особенностью глубинного строения сравниваемых золото-ртутных провинций является высокое положение поверхности верхней мантии. Этим поднятиям соответствуют области с повышенным тепловым и флюидным потоком. Поразительное сходство геодинамической обстановки обнаруживают зоны невадийского, частично андийского, субдукционных типов, в пределах которых известен ряд крупных золото-ртутных месторождений карлинского типа (Карлин, Голд-Акрес, Пинсон, Джеррит-Каньон и др.), и зона сочленения складчато-надвиговой области Донбасса с Приазовским массивом Украинского щита, где установлены прямые признаки масштабного золото-ртутного оруденения. Во всех указанных провинциях имеются активные континентальные окраины, сложенные мощными комплексами древних пород, проявлены сходные магматизм и металлогения. Примыкающие к континентальным окраинам осадочные террасы, сформированные на месте терригенных прогибов,

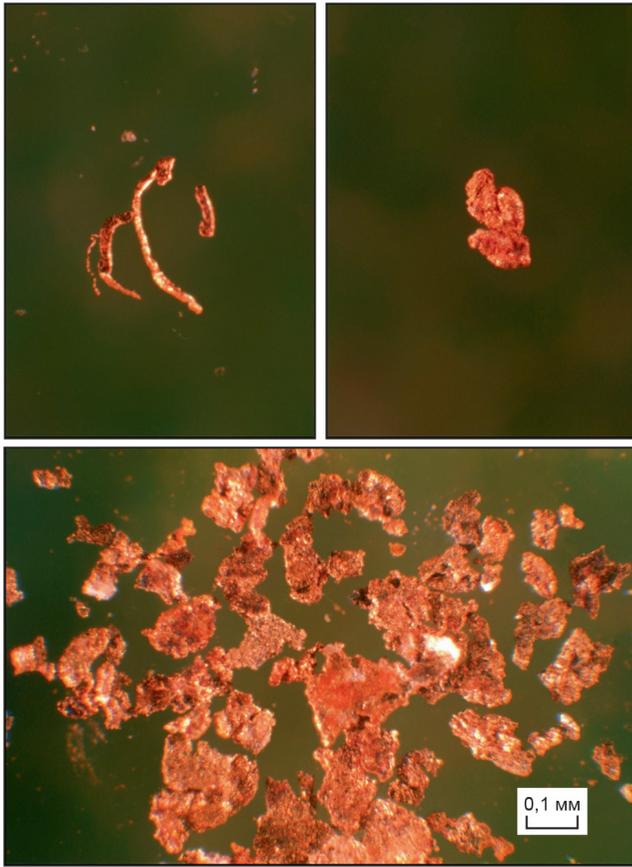


Рис. 2. Самородное золото, выделенное гравитационным методом из бурых железняков зоны окисления золото-ртутного рудения участка Стыльский (Северно-Волновахское рудное поле). Фотоснимки выполнены цифровой фотокамерой Lumix FZ38

в основании имеют базальтоиды, выше залегают терригенные, терригенно-вулканогенные отложения, а в верхней части разреза — мелководные шельфовые рудовмещающие терригенно-карбонатные породы.

Разрывные зоны глубокого заложения испытывали неоднократную активизацию в позднем палеозое и, по-видимому, в мезозое. Рудные районы золото-ртутного оруденения, как правило, расположены на пересечении продольных высокоамплитудных разрывных зон (разломов) или зон напряженной линейной складчатости с поперечными, часто скрытыми, нарушениям фундамента. Обычно они представляют собой относительно однородные амагматические тектонические блоки. Эти территории характеризуются специфической минерагенией — распространены рудопроявления и эндогенные ореолы рассеяния золото-ртутного, ртутного, сурьмяно- и мышьяково-ртутного состава, с которыми пространственно совмещены шлиховые ореолы киновари и самородного золота.

В сопоставляемых районах магматогенные образования, представленные дайкообразными телами пород среднего и основного состава, имеют близкую геолого-структурную позицию с оруденением, встречаются относительно часто, но при этом резко

подчинены осадочным породам. В Докучаевском рудном районе не устанавливается каких-либо признаков связи рудоносных флюидов с эпизональными магмами или минералого-геохимической зональности и зональности ореолов вторичных изменений пород относительно дайковых тел. Аналогичные соотношения описаны и на тех классических месторождениях карлинского типа, где также встречаются магматические породы (Карлин, Джеррит-Каньон) [Heitt, et al., 2003; Hofstra, et al., 1999].

Как и на месторождениях в Неваде [Cline, et al., 2005], на золото-ртутных рудных полях Южного Донбасса с телетермальным оруденением (низкотемпературным, без видимой связи с магматизмом) рудные залежи подчиняются структурному и литологическому контролю и характеризуются разнообразной и сложной морфологией. По отношению к слоистости осадочных комплексов рудоподводящие и рудовмещающие разрывные нарушения и зоны дробления занимают как секущее, так и межпластовое субсогласное положение.

Основная масса руд локализована и прогнозируется среди джаспероидов, джаспероидных брекчий и слабокремненных карбонатных и терригенно-карбонатных пород, перекрытых сланцевыми (алевролит — аргиллитовыми) толщами, согласно залегающими или слагающими аллохтоны надвигов. Последние часто выполняют роль структурно-литологического экрана для рудообразующих растворов.

В обоих рудных районах геохимическими индикаторами золото-ртутных месторождений являются Au, As, Hg, Sb, Tl, W, Ag, и другие элементы. При этом минеральный состав и геохимические особенности руд отражают более тесную ассоциацию Au с As, Sb, Tl и Hg, чем с Ag и цветными металлами. Геохимические методы поисков месторождений этого типа по эндогенным (первичным) ореолам оказываются весьма эффективными. Промышленные месторождения могут быть выявлены там, где эндогенные ореолы рассеяния пространственно сочетаются с интенсивными гидротермально-метасоматическими изменениями вмещающих пород.

Рядом важнейших общих признаков в месторождениях Карлинского тренда и Южного Донбасса обладает самородное золото: в обоих случаях оно тонкодисперсное, высокопробное (отношение Au : Ag всегда значительно больше единицы, обычно изменяется от 10 : 1 до 95 : 1), содержится в сульфидах (преимущественно в пирите и арсенопирите) или в виде пленок на них и в глинистых минералах, часто характеризуется примесями Hg, Te, Cu, Se, Fe, Pt и др. элементов.

Положение прогнозируемых рудных полей в пределах Докучаевского рудного района. Главными рудолокализирующими структурами являются тектонические нарушения высоких порядков — фронтальные зоны надвигов, сбросов, а также пересекающиеся зоны дробления и межпластовые срывы.

В пределах Докучаевского рудного района нами выделяются следующие рудные узлы: Западный (Новотроицкий) — Южно-Волновахское и Новотроицкое рудные поля, Центральный (Докучаевский) — Докучаевское и Южно-Волновахское рудные поля, Восточный — Комсомольское, Ребриковское, Южное (рис. 3).

Западный (Новотроицкий) рудный узел во многом совпадает с Новотроицким участком поисков ртути, имеет близкие к изометричным очертания и размеры 6×9 км. На этой огромной площади удастся с высокой степенью надежности локализовать перспективные рудные поля для проведения первоочередных поисков.

Южно-Волновахское рудное поле имеет сложную линейную форму и размер 7,5×1,2 км. Оно приурочено к западному флангу Южно-Волновахского сброса и зонам экзоконтактов серии тел трахиандезитов и трахитов. Рудовмещающими являются карбонатные и терригенно-карбонатные породы турнейского и визейского ярусов. В пределах рудного поля отмечены находки знакового золота и его повышенное содержание в бороздовых пробах коренных пород. Оконтурены огромные первичные ореолы ртути и вкрапленной киновари в зоне сброса, в экзоконтактах и на флангах магматических тел, а также гидрогеохимические аномалии As и Hg и бурые железняки («железная шляпа») в благоприятной структурной позиции. Кроме того, ранее отмечались находки флюорита, галенита, халькопирита и сфалерита.

Новотроицкое рудное поле (1×3 км) охватывает восточный фрагмент субширотного Волновахского сброса и зону сопряжения его с Максимовским и Южно-Волновахским сбросами. Рудовмещающими являются сложнорасположенные известняки турнейского и визейского ярусов.

Центральный (Докучаевский) рудный узел имеет линейную форму и простирается в северо-восточном направлении на 20 км при ширине от 2,0 до 3,5 км. В его пределах наиболее перспективным для первоочередных поисков являются Докучаевское и Северно-Волновахское рудные поля.

Докучаевское рудное поле имеет Г-образную форму и состоит из субмеридионального отрезка (5,0×0,7 км), приуроченного к зоне Максимовского (Александринского) сброса, и северо-восточного отрезка (5,0×1,0 км), который совпадает с отрезками Северно-Волновахского и Колосковского сбросов. Рудовмещающими являются окремненные известняки визейского яруса. Для рудного поля характерны комплексные аномалии Hg, представленной в том числе киноварью, As, Zn, Cu, F, а также минеральные проявления самородного золота, сфалерита, галенита и флюорита.

Северно-Волновахское рудное поле приурочено к зоне сближенных субпараллельных Северно-Волновахского и Колосковского сбросов. Эта площадь имеет лентовидную форму (7,5×1,5 км) и северо-за-

падное простирание. Рудовмещающими породами служат известняки и сланцы частично верхней части турнейского и, главным образом, визейского ярусов. Геохимическая характеристика рудовмещающего структурно-формационного комплекса аналогична приведенной выше для Южно-Волновахского и Докучаевского рудных полей. Характерной особенностью Северно-Волновахского рудного поля является цепочка из семи тел бурых железняков («железных шляп») размером от 250×100 м до 1000×500 м, которые приурочены к одноименному сбросу.

В золото-ртутной металлогенической провинции Невада (США) подобные тела бурых железняков (зон окисления первичных руд) в Карлинском золоторудном поясе представляют собой самостоятельный высокопродуктивный и высокотехнологичный тип золотого оруденения. Поэтому подобные бурые железняки в Южном Донбассе заслуживают пристального внимания, с учетом их повышенной золотоносности, подтвержденной пробирным анализом.

Особенностью, которая отличает Центральный (Докучаевский) рудный узел от Западного (Новотроицкого), является меньшее распространение магматических пород андезит-трахиандезитового комплекса и значительное преобладание андезитов над трахиандезитами и трахитами.

Восточный рудный узел (12,5×1,5 км) также имеет общедонецкое северо-западное простирание и протягивается на юго-восток от Центрального (Докучаевского) рудного узла.

В его пределах обособляется **Комсомольское рудное поле** (6,0×0,7 км). Эти рудные узел и поле приурочены к восточному флангу Волновахского сброса, а также зонам его сопряжения с Южно-Волновахским сбросом и Васильковским взбросом. На восточном фланге Комсомольское рудное поле ограничивается контактом нижнепротерозойских двуслюдяных биотитовых гранитов и верхнепротерозойских граносиенитов Восточно-Приазовского комплекса.

Ребриковское рудное поле расположено в одноименной тектонической зоне; перспективы его требуют изучения.

Южное рудное поле расположено к югу от Южного карьера карбонатного сырья. В геологическом строении его главная роль принадлежит турнейским карбонатным породам, подчиненную роль играют верхнедевонские терригенные образования. Геолого-структурная позиция рудного поля определяется восточной зоной выклинивания межпластовых тел трахиандезитов, с которой связаны первичные геохимические ореолы Hg и As, проявления киновари, сфалерита, галенита и флюорита, а также тела бурых железняков — вероятные зоны окисления сульфидсодержащих руд. Комплекс прямых признаков золото-ртутного оруденения позволяет высоко оценить перспективы этого относительно компактного рудного поля.

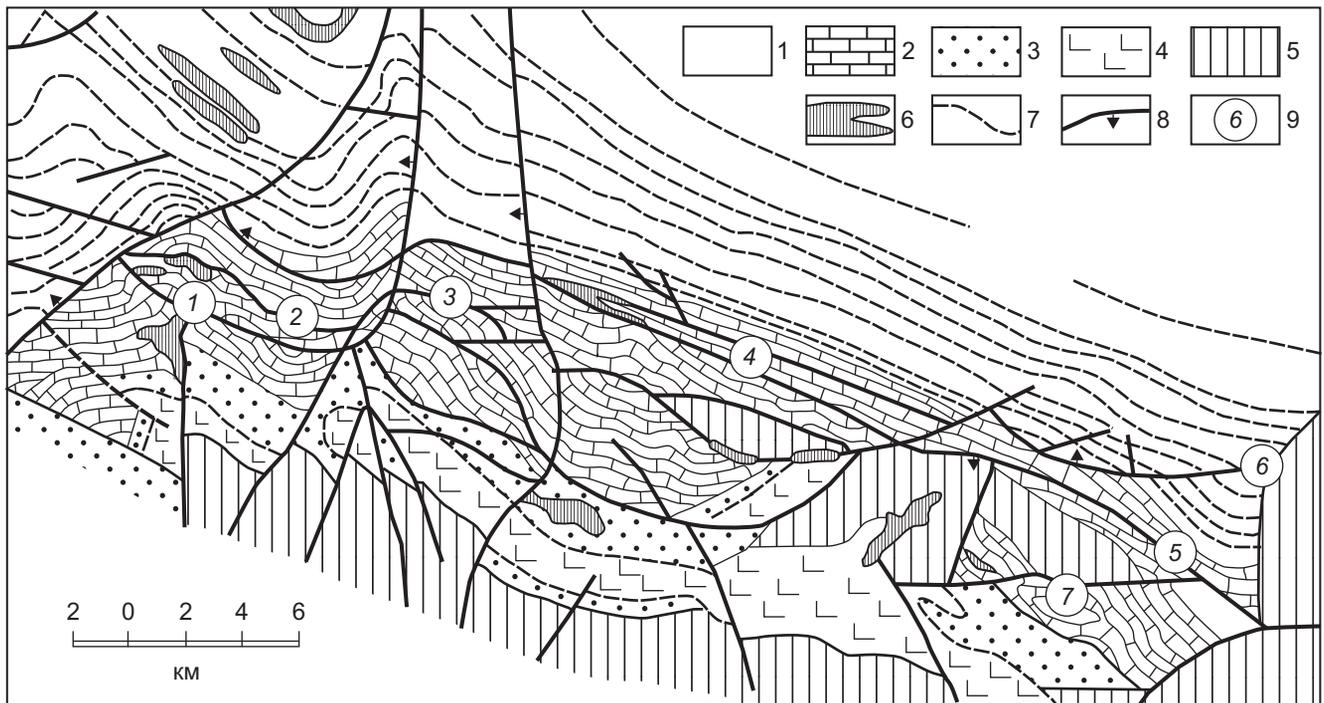


Рис. 3. Геологическая схема Докучаевского рудного района и прогнозируемые рудные поля (геологическая основа по материалам Приазовской ГРЭ, позиции рудных полей по [Артеменко, Лебидь, 1996]): 1 — терригенная угленосная формация верхнего — среднего карбона ($C_1^2-C_2^3$) — аргиллиты, алевролиты, песчаники, известняки; 2 — карбонатная формация турне — нижнего визе ($C_1^t-C_1^v$) — известняки, доломиты, известковистые алевролиты, глинистые сланцы; 3 — терригенно-вулканогенные породы верхнего девона (D_3^{fr-fm}); 4 — основные эффузивы с прослоям терригенных и карбонатных пород среднего девона ($D_2^{ef-žv}$); 5 — интрузивно-метаморфические формации архея-протерозоя; 6 — андезит-трахиандезитовый комплекс (P_2-T_1); 7 — маркирующие (свитные) известняки ($C_1^2-C_2^3$); 8 — разрывные нарушения; 9 — прогнозируемые рудные поля (1 — Южно-Волновашское, 2 — Новотроицкое, 3 — Докучаевское, 4 — Северно-Волновашское, 5 — Комсомольское, 6 — Ребриковское, 7 — Южное)

Общая характеристика рудных тел прогнозируемых месторождений. В геолого-структурном отношении месторождения и рудные тела, как и рудные поля в целом, связаны с зонами относительно крупных сбросов, пологими пересекающимися зонами надвигов и дробления, межпластовыми срывавами, а также представлены внутрипластовым оруденением. Роль складчатых нарушений является подчиненной, хотя от ориентировки слоистости зависит, насколько интенсивно проявлено оруденение в той части разреза, которая примыкает к рудоподводящим и рудораспределяющим структурам. В ряде случаев рудные поля контролируются брахискладками, связанными с интрузивными породами, не выходящими на дневную поверхность. Анализ геологического строения района и распределения главных признаков прогнозируемого оруденения в стратиграфическом разрезе указывает на вероятное положение месторождений в стратиграфическом интервале от низов турнейского до верхов визейского ярусов, а также, частично, в разрезе николаевской свиты среднего девона.

Морфология месторождений и рудных тел разнообразна и определяется, главным образом, геолого-структурным и литолого-стратиграфическим факторами. При этом главная роль принадлежит зачастую линейным зонам, несущим рудную минерализацию в пределах сбросов, надвигов и зон дробле-

ния, а также пластообразным телам в межпластовых срывавах и стратиформным внутрипластовым телам в пачках переслаивания компетентных карбонатных и терригенно-карбонатных пород. Самостоятельную роль играют золотоносные коры выветривания, представленные бурями железняками, которые слагают карманоподобные рудные тела.

Околорудные изменения представлены низкотемпературными фациями метасоматитов — джаспероидами и аргиллизитами. Низкотемпературная гидротермальная деятельность привела к широкому развитию в исследуемом районе эпигенетических изменений карбонатной толщи, выраженных доломитизацией, пиритизацией, аргиллизацией, окварцеванием и кальцитизацией. Указанные типы гидротермальных изменений осадочных горных пород можно отнести к метасоматитам аргиллизитовой формации. Окварцованные карбонатные породы рассматриваются нами как джаспероиды. В метасоматической колонке выделяются зоны: внешняя — доломитизации и кальцитизации, промежуточная — карбонатизации и окварцевания, внутренняя — окварцевания и развития глинистых минералов.

По степени замещения исходных пород различаются метасоматиты: слабопроявленные — с 5–20 % новообразований (доломитизированные известняки, кальцитизированные известняки); сильнопро-

явленные — с 20–80 % новообразований (доломиты известковистые, доломиты кальцитизированные); полнопроявленные — с 80–100 % новообразований (доломиты, джаспероиды). В измененных карбонатных породах практически повсеместно развита вкрапленность мелкозернистого пирита. При формировании метасоматитов активную роль в процессах замещения играли Ca, Mg, Fe, Al, Si. Анализ коэффициентов концентрации элементов в отдельных типах измененных пород указывает на постепенное изменение состава и отсутствие четких границ между зонами. В полнопроявленных доломитовых метасоматитах отмечается тенденция к концентрированию Mg, Fe, Mo, Tl, в меньшей степени — Mn, Ag. В доломитах известковистых концентрируется Li и незначительно — Ba, P.

Аргиллизитовые изменения, по-видимому, сопровождают доломитизацию. Распространение глинистых минералов имеет локальный характер. Главными минералами являются алюмоседадонит, хлорит; ультракислую сульфатную зону аргиллизации фиксируют каолинит, кварц, алюминит, гипс. Пиритизация является более поздней по отношению к доломитизации.

Широким распространением пользуются кремнистые метасоматиты по известнякам. Эти породы сложены криптозернистым кварцем и халцедоном с тонкодисперсной вкрапленностью гидроокислов железа. Кремнистые метасоматиты формируются на ранних стадиях предрудного процесса. При магнизиальном и кремнистом метасоматозе высвобождается большое количество кальция, это обуславливает широкое развитие позднего кальцита во всех типах пород. Кальцитизация — наиболее поздний и низкотемпературный тип гидротермальных изменений. При метасоматических процессах также происходило перераспределение углеродистого вещества.

Последовательность метасоматических преобразований представляется следующей: известняк → доломитизированный известняк, доломит (перераспределение углеродистого вещества) → кремнистый метасоматит (джаспероид) → кальцитизация пород → дробление и образование рудной минерализации.

Преобладающие текстуры руд вкрапленные, реже — прожилково-вкрапленные и брекчиевидные. Вещественный состав руд прогнозируемого типа в этом районе изучен недостаточно. Имеющиеся оригинальные данные и сравнение с другими примерами проявлений аналогичной минерализации в других районах позволяют прогнозировать ассоциацию высокопробного ртутистого золота с минералами Hg, As, Sb и Tl. Из рудных минералов доминируют пирит, киноварь, реальгар, аурипигмент, антимонит, самородное золото, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, галенит и др., а среди нерудных — кварц, халцедон, карбонаты, барит, флюорит, серицит, каолинит, углеродистое вещество. Суммарное содержание сульфидов составляет, как правило, несколько процентов. Недостаток надеж-

ной информации не позволяет судить о содержании золота в рудах Докучаевского рудного района, его составе и распределении в руде и минералах, а также о размерах золотин.

В то же время по аналогии с месторождениями карлинского типа Невадской металлогенической провинции можно ожидать, что прогнозируемое оруденение может быть представлено относительно небогатыми рудами с мелкими и ультрамелкими частичками высокопробного самородного золота [Константинов и др., 1992; Минеральные..., 1989; Radtke, 1985]. Поэтому получение знакового золота при шлиховании и в протолочных пробах изучаемого рудного района может свидетельствовать о наличии богатых руд и значительных перспективах золотого оруденения.

Вертикальный размах прогнозируемого оруденения, по аналогии с другими рудными объектами карлинского типа и с учетом геологического строения района, может достигать 100–500 м.

В Докучаевском рудном районе на новых объектах, не имеющих разведанных (доказанных) запасов, были определены прогнозные ресурсы золота. Эти ресурсы оценены в соответствии с инструктивными документами с учетом потенциальной возможности формирования золото-ртутных месторождений промышленных масштабов и базируются на положительных стратиграфических, литологических, геохимических, тектонических, магматических, минерагенических и других предпосылках, а также установленных типоморфных признаках оцениваемой рудной формации — повышенных содержаниях Au и наличии свободного самородного золота. Прогнозно-металлогенические построения в сочетании с оригинальными геохимическими исследованиями, бороздовым и штупным опробованием свидетельствуют о возможности выявления новых месторождений золота.

По промышленной классификации прогнозные ресурсы квалифицируются как собственно золотые, где удельная ценность золота превышает 50 %. Прогнозируемая минерально-сырьевая база относится к коренным месторождениям. Мощность и морфология прогнозируемых рудных тел изменчивы, однако, преобладающими, по-видимому, будут многоярусные стратиформные субпластовые и секущие залежи, зоны вкрапленной иногда сплошной минерализации средней мощностью 3–20 м, а также мегазоны прожилково-вкрапленной минерализации и залежи большой (более 20 м) мощности (рис. 4).

По соотношению легкообогатимого и упорного золота, влияющего на технологические свойства руд, наиболее вероятно преобладание золотых легко- и среднеобогатимых руд, преимущественно со свободным мелким, очень мелким, тонким и пылевидным золотом. Как показывает опыт внедрения современных эффективных методов кучного и автоклавного выщелачивания золота из руд месторождений типа Карлин в палеозойских терриген-

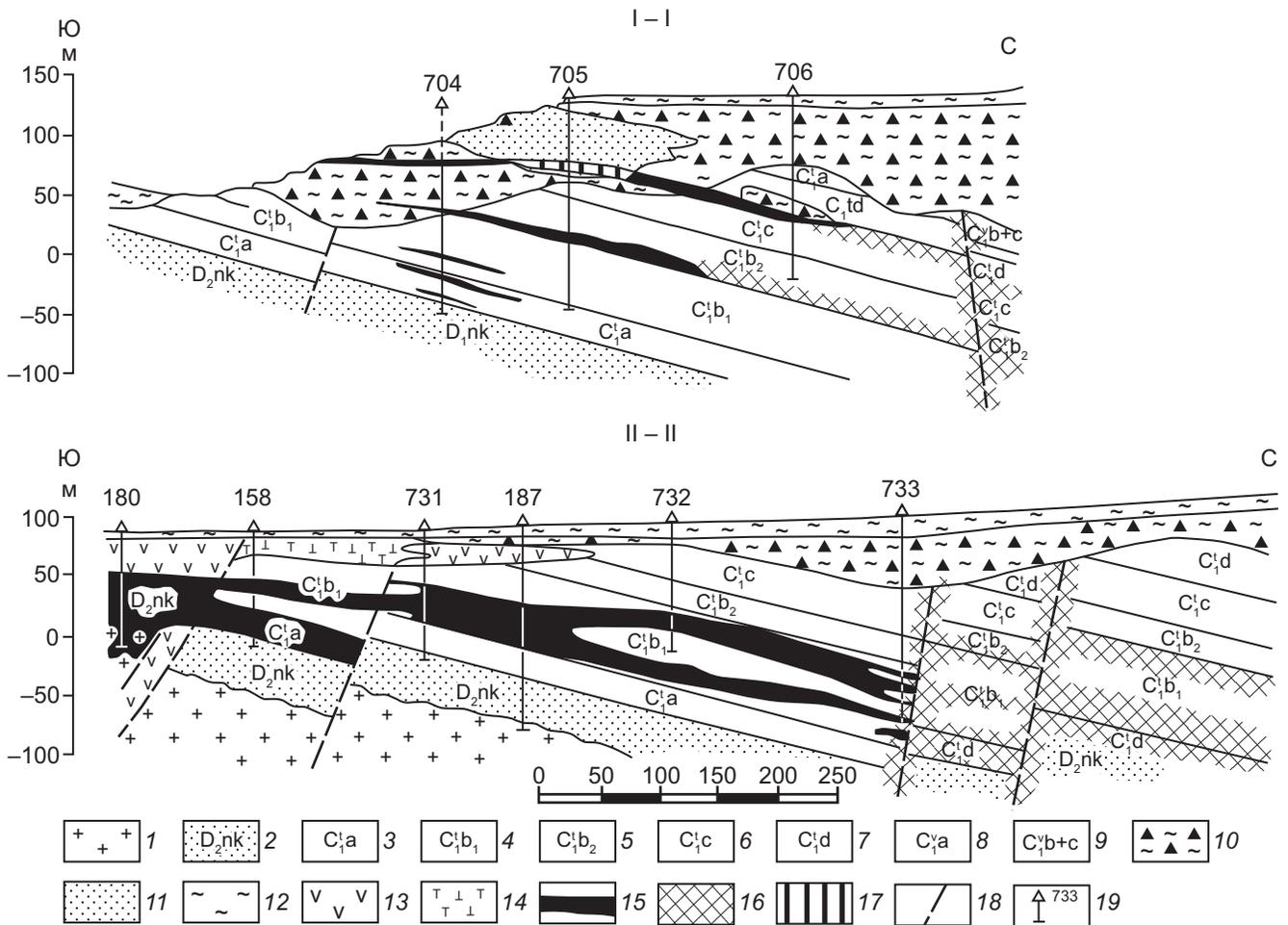


Рис. 4. Геологические разрезы стратиформных отложений пиритизированных и окварцованных (окремнелых) карбонатных пород: 1 — гранитоиды докембрия; 2 — терригенные породы николаевской свиты (D_2nk); 3 — известняки (C_1ta); 4 — доломиты (C_1tb_1); 5 — доломиты, доломитизированные известняки (C_1tb_2); 6 — известняки (C_1tc); 7 — известняки (C_1td); 8 — переслаивание известняков и аргиллитов (C_1va); 9 — известняки (C_1vb+c); 10 — карстовые отложения (глина с обломками кремней и пород субстрата); 11 — песчаные отложения; 12 — суглинки; 13 — андезиты; 14 — ортофиры; 15 — отложения интенсивно пиритизированных, окварцованных (окремнелых) карбонатных пород; 16 — прогнозируемые зоны пиритизации; 17 — бурые железняки; 18 — тектонические нарушения; 19 — скважины. Участки — Стыльский (I-I), Кипучая Криница (II-II)

но-карбонатных породах США, Канады и Китая, мелкие и ультрамелкие классы золотин не являются препятствием для эффективного извлечения золота из золото-ртутных руд.

Рекомендации к методике поисковых работ в Докучаевском золоторудном районе. 1. *Геологический анализ.* В первую очередь, внимание должно быть обращено на геологические условия рудообразования: геолого-структурное положение рудных зон и рудных тел; факторы тектонического и литологического контроля; содержание и состав золота в пластах турнейско-визейских пород, тектонических зонах и корах выветривания; проявления магматизма (состав, местоположение и условия залегания магматических пород андезит-трахиандезитового комплекса P_2-T_1); признаки гидротермальной активности, генетические и парагенетические минеральные ассоциации и др.

2. Особого внимания заслуживает картирование околорудных изменений вмещающих пород (джа-

спероидов и аргиллизитов), которые выражены окремнением, халцедонизацией, пиритизацией, глинистыми изменениями, Fe-карбонизацией, баритизацией, флюоритизацией. Чем шире площадь и интенсивность изменений, тем большим может быть масштаб выявленного оруденения.

3. При поисках месторождений типа Карлин весьма эффективны *геохимические методы*, расходы на которые в США и Китае составляют 20–30 % и более от суммы общих ассигнований на геологоразведочные работы. Наилучшие результаты получены по первичным ореолам рассеяния. Элементами-индикаторами месторождений карлинского типа являются Au, As, Hg, Sb, Ag (W, Tl). Промышленные месторождения могут быть обнаружены там, где аномалии Au, As, Hg, Sb, Ba и Ag совмещены с зонами значительных средне-низкотемпературных изменений рудовмещающих пород.

4. *Учет вертикальной зональности месторождений.* Первоочередными объектами изучения явля-

ются зоны окисления (бурые железняки), которые развиваются в верхних частях рудных отложений (Северно-Волновахское, Южно-Волновахское, Комсомольское и Южное рудные поля). Эффективным поисковым признаком коренного оруденения могут быть относительно малые тела бурых железняков, выходящие на дневную поверхность. Другим проявлением минералогической зональности является развитие карбонатных (исключительно в известняках) и кварцевых жил и прожилков (как правило, только в слоях аргиллитов).

5. Важное значение имеет *учет особенностей количественного определения содержания золота* в рудах и породах. В изучаемом рудном районе золото трудно обнаружить не только вследствие очень мелких размеров его выделений, но и из-за сложности химического анализа руд. Они обусловлены летучестью золота в присутствии ртути во время термической подготовки проб. Это обстоятельство приводит к систематическому занижению реального содержания Au в пробах. Другой аспект аналитической проблемы — высокое содержание карбонатов в исследуемых пробах (кальцит, доломит, анкерит, сидероплезит и др.), что не всегда принимается во внимание в стандартных методиках и также может приводить к снижению или потере значительного количества золота в исследуемых пробах.

6. Главным видом горных работ при поисках и разведке в изучаемом рудном районе является,

по-видимому, *колонковое бурение*. Как правило, это вертикальные скважины с проходкой до 100–300 м, иногда до 500 м. Необходимо стремиться к более полному перебурированию пород турне — висте. Наклонное бурение целесообразно для прослеживания крутопадающих минерализованных зон. На конкретных площадях скважины располагаются в профилях, ориентированных вкрест простиранию рудовмещающих структур. При благоприятных условиях на перспективных участках необходима будет проходка канав и шурфов.

7. К числу геологических факторов, благоприятствующих ведению поисково-разведочных работ, направленных на изучение вкрапленного тонкодисперсного золото-ртутного оруденения в нижнекаменноугольных и среднедевонских терригенно-карбонатных толщах нового золоторудного района, относится *наличие ряда сопутствующих полезных ископаемых*. Вскрышные и рудовмещающие карбонатные породы прогнозируемых золоторудных месторождений (известняки, доломитизированные известняки и доломиты), как правило, являются высококачественным флюсовым сырьем для металлургической промышленности, а магматические породы могут использоваться для производства щебня. Следует учитывать также выявленные первым автором перспективные проявления новых типов алюминиевого (алюминит) и фосфатного сырья (крандаллит).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Артеменко В.М., Артеменко О.В. Самородное золото из бурых железняков Южного Донбасса // Матер. міжнар. конф. «Наук. основи прогн., пошук. та оцінки родовищ золота». Львів, 1999. С. 13–14.

Артеменко В.М., Артеменко О.В. Два типа гипогенной зональности сурьмяно-ртутной рудной формации Донбасса // Вестн. Харьк. ун-та. 1990. С. 23–27.

Артеменко В.М., Артеменко О.В., Чернищина О.М. Нові дані про тонко вкраплене золоте зруденіння в верхньопалеозойських терригенно-карбонатних комплексах Південного Донбасу // Мінерал. ресурси України. 2002. № 2. С. 9–15.

Артеменко В.М., Багатаев Р.М. Жильное ртутно-сурьмяное оруденение глубоких горизонтов Никитовского месторождения // Геол. рудн. м-ний. 1988. № 5. С. 94–99.

Артеменко В.М., Лебідь М.І. Золото-ртутне зруденіння в карбонатних породах Докучаївського рудного району, Південний Донбас (до проблеми пошуків родовищ типу Карлін) // Мінерал. ресурси України. 1996. № 1. С. 14–17.

Артеменко В.М., Юдин В.В. Модель складчатого Донбасса и новые аспекты его металлогении // Руды и металлы. 1998. № 1. С. 80–85.

Атлас геологического строения и нефтегазоносности Днепровско-Донецкой впадины. Киев: Изд. УкрНИГРИ, 1984. 178 с.

Берзон Р.О., Левитан Г.М., Степанов В.А. Золото-ртутное оруденение и геотектонические условия его формирования // Сов. геология. 1989. № 9. С. 37–39.

Берзон Р.О., Степанов В.А. Золото-ртутная формация эндогенных месторождений. Экспресс-информация //

ВИЭМС. Сер. Геология и методы поисков и разведки металлических полезных ископаемых. 1986. Вып. 2. С. 1–9.

Бутурлинов Н.В. Магматизм грабенообразных прогибов юга Восточно-Европейской платформы в фанерозое: Дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. Донецк, 1979. 484 с.: ил. + Прил. (276 с.: ил.).

Зацеха Б.В., Зарицкий А.И., Стремовский А.М. Исследование природы гидротермальной минерализации зоны сочленения Донбасса с Приазовьем // Геология и геохимия горючих ископаемых: Респ. межвед. сб. Львов, 1987. Вып. 9. С. 127–145.

Константинов М.М., Вартамян С.С., Курбанов Н.К., Мигачев И.Ф. Некоторые вопросы геологии золоторудных месторождений США // Сов. геология. 1992. № 7. С. 3–11.

Кузнецов В.А. Генетические группы и формации эндогенных рудных месторождений и их значение для металлогенического анализа // Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1966. 224 с.

Металлогения Украины и Молдавии. Киев: Наукова думка, 1974. 511 с.

Минеральные ресурсы развитых капиталистических и развивающихся стран. М.: ВНИИ Зарубежгеология, 1989. 51 с.

Старостин В.И. Металлогения. М.: КДУ, 2012. 560 с.

Cheng Q., Yang G., Dai Q. Association of carlin type gold deposits with mercury, antimony and arsenic and its significance to prospecting // Proceeding of International symposium of gold geology and exploration. Shenyang. 1989. P. 540–543.

Cline J.S., Hofstra A.H., Muntean J.L., et al. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geologic characteristics and

viable models // *Econ. Geol.* 100th Anniversary Volume. 2005. P. 451–484.

Gopon P., Douglas J.O., Auger M.A., et al. A nanoscale investigation of Carlin-type gold deposits: An atom-scale elemental and isotopic perspective // *Econ. Geol.* V. 114. 2019. № 6. P. 1123–1133.

Heitt D.G., Dunbar W.W., Thompson T.B., Jackson R.G. Geology and geochemistry of the Deep Star gold deposit, Carlin trend, Nevada // *Econ. Geol.* V. 98. 2003. P. 1107–1136.

Hofstra A.H., Snee L.W., Rye R.O., et al. Age constraints on Jerritt Canyon and other Carlin-type gold deposits in the western United States—relationship to Mid-Tertiary extension and magmatism // *Econ. Geol.* V. 94. 1999. P. 769–802.

Radtke A.S. Geology of the Karlin gold deposit, Nevada // *US Geol. Prof. Pap.* 1985. № 1267. 263 p.

Статья поступила в редакцию 28.03.2025,
одобрена после рецензирования 23.05.2025,
принята к публикации 28.08.2025