

УДК 553.2:551.243

**В.И. Старостин, Г.А. Пельмский, Д.Р. Сакия****ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

**Введение.** Сокращение ресурсов и запасов золота в традиционных провинциях россыпных и коренных месторождений во второй половине XX в. во всем мире обусловило необходимость извлекать этот металл в качестве попутного компонента из комплексных медно-никелевых, медно-колчеданных, полиметаллических и меднопорфировых руд [3]. Извлечение золота из железистых кварцитов на практике осуществляется в ограниченных размерах в Канаде, Австралии, США и Японии. За XX столетие из железных руд за рубежом добыто 2900 т золота [5, 12]. Безусловно, этот вопрос актуален и для России, где сосредоточены крупнейшие в мире запасы докембрийских железистых кварцитов.

Интерес к золоту в железистых кварцитах в Советском Союзе проявился еще в начале 60-х гг. прошлого столетия. С 1966 г. стала осуществляться государственная программа по изучению золотоносности железорудных месторождений Украинского кристаллического щита (УКЩ), Воронежского кристаллического массива (ВКМ) и Балтийского щита (БЩ), его восточной части — Карелии и Кольского п-ова. В этот период были исследованы многие вопросы по данной проблеме, нашедшие отражение в ряде крупных обстоятельных отчетов и в печатных изданиях [1, 4, 5, 8, 11, 23—26, 34 и др.].

**Ассоциация золота с железом.** Золото — типичный сидерофильный элемент, имеющий достаточно выраженные халькофильные свойства. В природе золото ассоциирует с Cu, Ni, Co, Pt, Cr и Fe. Эта группа металлов находится в тесной генетической связи с породами ультраосновного и основного состава. Наиболее высокое содержание золота характерно для железо-никелевых метеоритов (1,0 г/т). В горных породах наиболее высокое содержание отмечается в гипербазитах (0,008 г/т). Для золота характерна корреляция с Mg, Fe и Cu в ультраосновных—основных породах, а также унаследованность этой корреляции в осадочных породах и глинистых сланцах. В металлогеническом плане многие исследователи отмечают связь золота с железом.

Образованию древнейших месторождений золота предшествовало формирование вмещающих эти месторождения разнородных богатых железом глубинных габбро-гипербазитовых комплексов и толщ железистых кварцитов. Сидерофильность характерна для рассеянного золота, но иногда она может способствовать возникновению заметных концентраций золота в месторождениях железа различных генетических типов,

что позволяет рассматривать его в качестве попутного компонента при обогащении руд.

Представление о сидерофильности золота получило наиболее полное развитие в трудах Ю.Г. Щербакова [31, 32 и др.]. Несмотря на то что ионные радиусы золота и железа отличаются на 37%, высказано предположение о возможности ограниченного изоморфизма этих элементов в силу близости орбитальных радиусов и потенциалов ионизации, хотя это и противоречит известному правилу В.М. Гольдшмидта [33]. Между тем, как отмечает А.Н. Шелехов [29, 30], известны многие исключения из этого правила, когда изоморфизм осуществляется между ионами, отличающимися более чем на 15% и даже более чем в два раза. Ионы Au и Fe имеют близкие значения ионизации и электроотрицательности, но значительно разные размеры для одной и той же координации. На основании этого допускается в ограниченной мере изоморфизм золота с железом.

Рассматривая поведение золота и других элементов с космогеохимической точки зрения, Ю.Г. Щербаков относит золото и его ближайших соседей по первой группе 4—6 периодов периодической системы Д.И. Менделеева к семейству фемических гетерофильных элементов, куда помимо Fe, Mn, Cr, Ni и Co внесены Cu, Zn и платиноиды (PGM) [4, 30 и др.]. Таким образом, наряду с халькофильными свойствами, объясняющими природу нахождения золота в эндогенных золоторудных месторождениях, этот металл обладает отчетливыми сидерофильными свойствами, состоящими в сходных тенденциях связи пары элементов — золота и железа. Это свойство золота еще не использовано в должной мере в практических целях, и его и познание может дать новый могучий и практически не использованный ныне резерв золота [17, 22].

**Золото в железистых кварцитах.** Характерной особенностью металлогении начальных этапов формирования континентальной коры является присутствие золота в железистых кварцитах большинства железорудных провинций мира. В России — это месторождения Курской магнитной аномалии (КМА), месторождения Оленегорское (Кольский п-ов), Костомукшское (Карелия), проявления золота в метаморфических комплексах Анабарского и Алданского щитов. За рубежом подобные образования установлены на Украине (месторождения УКЩ), на юге Африки (пояс Петербург и Барбетон в ЮАР и Зимбабве), на Канадском щите, в Австралии и Бразилии.

Золотоносные железистые кварциты состоят из чередующихся слоев оксидов железа и кремнезема

мощностью от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Помимо оксидов в состав могут входить и другие минералы, богатые железом (карбонаты, силикаты и сульфиды). По преобладанию того или иного минерала в составе кварцитов выделяются четыре фации: оксидная, силикатная, карбонатная и сульфидная, связанные между собой взаимными переходами. Наиболее богата золотом сульфидная фация [21]. Золотоносные железистые кварциты тесно ассоциируют с вулканогенными образованиями (алгомский тип по Гроссу). Алгомский тип не образует крупных железорудных месторождений, однако в них заключены практически все раннеархейские золото-рудные месторождения: стратиформные тонкого и ультратонкого золота, жильные и метасоматические.

Как отмечалось нами ранее [23, 34], время формирования основной массы континентальной коры (3,0—2,5 млрд лет), соответствующее беломорскому тектоническому этапу, характеризуется мощными складчатыми деформациями, охватившими всю кору. В позднем архее железистые кварциты вулканогенно-кремнистой формации формировались в пределах зеленокаменных поясов в разрезе киватинского типа: киватинский комплекс Канадского щита и серия Риудас—Валдес Бразильского щита, комплекс Калгурли в Западной Австралии, михайловская серия КМА и другие. В разрезе зеленокаменных комплексов железистые кварциты занимают различное стратиграфическое положение. Первичные эксгальационно-осадочные концентрации железа возникали в вулканических зонах на этапе стабилизации тектонического режима на общем фоне смены основного магматизма кислым и щелочным. Смена во времени в зеленокаменных поясах основного вулканизма известково-щелочным (андезитовым) и частично кислым, сопоставимым с островодужными ассоциациями позднего докембрия и фанерозоя, свидетельствует об изменении геодинамических условий — смене растяжения (раздвига плит) сжатием. Именно на этой стадии и накапливались железистые осадки с золотом в остаточных прогибах [19].

Железистые кварциты в разрезах киватинского типа имеют преимущественно амфибол-магнетитовый состав, характеризуются низким содержанием железа (4—5%), небольшой протяженностью рудных тел и относятся к вулканогенной формации [16]. Возраст золотоносных железистых кварцитов колеблется от 3,0—2,7 (кратон Сан-Франциску в Бразилии, содержание Au 10—16 г/т) до 2,7—2,6 млрд лет (кратон Йелгарн в Западной Австралии, Au до 8—14 г/т) и 2,7—2,5 млрд лет (блоки Слейв и Сьюпериор в Канаде, Au до 10 г/т).

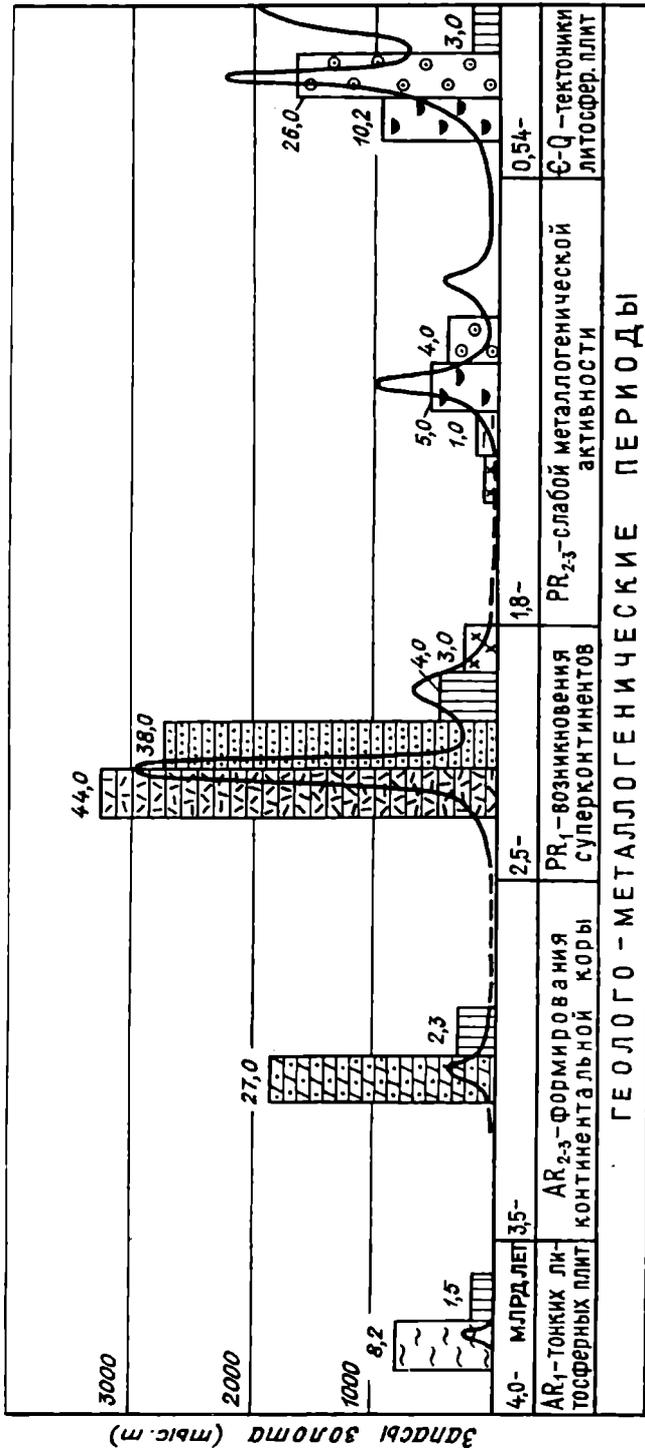
В России в настоящее время наибольший интерес представляют золотоносные железистые кварциты Михайловского месторождения КМА, в которых содержание золота достигает 5 у.е в кварцитах и до 42 у.е в минерализованных зонах, возникших в результате наложенных процессов реювенации.

Изучение золотоносности железистых кварцитов этого месторождения, отвальной массы и хвостов всех стадий магнитной сепарации показало, что, несмотря на дробление и истирание исходной руды, сохраняется природная удлиненная форма выделений золота (0,111 мм), что позволяет надежно его извлекать. Часть золота, по данным нейтронно-активационного анализа, связана с гематитом, гидрооксидами железа, сульфидами, кварцем, амфиболами и достигает в некоторых из них (гематит, амфиболы) существенных концентраций. Однако ни один из названных минералов не обеспечивает промышленного содержания золота в исходном сырье. Золото в железистых кварцитах находится в свободном состоянии, располагаясь в межзерновых промежутках, микротрещинах, а также в виде микровключений в различных минералах [18, 20]. При тонком измельчении кварцитов (до 40—70 мкм) золото высвобождается и как немагнитный минерал попадает в отвальные хвосты мокрой магнитной сепарации. На Михайловском горнообогатительном комбинате (ГОК) ежегодно в хвостохранилище выносятся около 4 т золота, которое за 20 лет превратилось в самостоятельное техногенное месторождение золота с ресурсами около 60 т при содержании около 1 г/т. Только на КМА действуют три таких ГОКа [12]. В пределах КМА практически нет железорудных месторождений, в которых отсутствовало бы золото.

Мелкие и субмикроскопические размеры частиц золота, отсутствие избирательной приуроченности его к определенным минералам, фиксируемая ассоциация с гематитом и гидроксидами железа подтверждает точку зрения о сингенетической природе золота с начальными кремнисто-железистыми осадками, формировавшимися в зонах зарождавшегося островодужного вулканизма в краевых частях зеленокаменных поясов.

Месторождения золота в железистых кварцитах выделяются в самостоятельную рудную формацию (тип Гейта-Вубачикве). Оруденение этого типа в горизонтах железисто-кремниевых пород обычно локализовано в участках проявления наложенной сульфидизации и карбонатизации, реже наблюдается в местах окисления руд и в участках наложенных силикатов. Месторождения расположены на крыльях крупных складок, определяющих общую тектоническую структуру рудного поля. Кроме того, известны примеры, когда месторождения тяготеют к зонам разрывных нарушений, секущих складчатые дислокации. В последнем случае месторождения прослеживаются на нескольких стратиграфических уровнях, на пересечениях крупных разломов с железорудными горизонтами [18].

По предварительным оценкам [24], в железистых кварцитах раннего докембрия заключено более 5,0% всех мировых ресурсов золота (рис. 1). Как следует из этого рисунка, пики золотого оруденения (общие запасы) совпадают с эпохами накопления железа в истории Земли.



**Железистые кварциты  
Восточно-Европейской платформы**

Как известно, Восточно-Европейская платформа (ВЕП) занимает восточную часть европейского континента. Ее границами являются: на северо-западе — надвиговой фронт скандинавских каледонид, на севере — зона байкалид юга Баренцева моря, на востоке — герциниды Урала, на юго-западе — Трансевропейская структурная зона, на юге — полоса надвигов Донецко-Каспийской зоны [7]. ВЕП является древней

**ГЕОЛОГО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ**

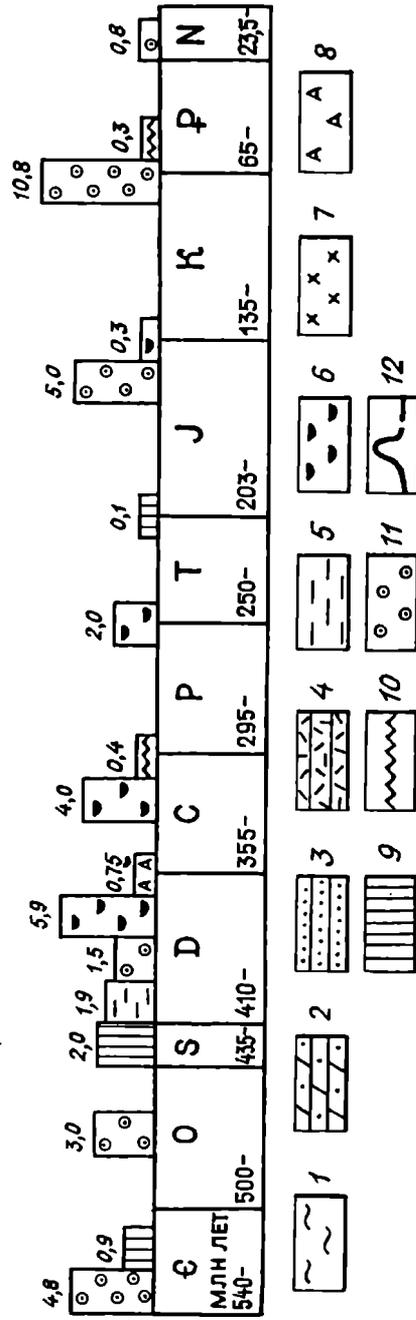


Рис. 1. Распределение общих запасов железа (млрд т) и золота (тыс. т) по геолого-металлогеническим периодам в эволюции Земли. Железорудные формации: 1 — железисто-силикатная, 2 — железисто-кремнисто-вулканогенная, 3 — железисто-кремнисто-сланцевая; рудные типы: 4 — саксаганский (гематит-мартиновый), 5 — ландильский и коргонский (гематит-магнетитовые), 6 — магнетит-скарновый, 7 — апатит-магнетитовый, 8 — апатит-магнетит-перовскитовый, 9 — титаномангнетитовый, 10 — сидеритовый, 11 — сидерит-шамозит-гидротитовый (оолитовый); 12 — общие запасы золота

платформой, сопоставимой с Северо-Американским кратоном. В ее дорифейской структуре выделяются четыре главных составляющих сегмента (геоблока): Ботническо-Свекофеннский, Лапландско-Беломорский, Волго-Уральский и Воронежско-Украинский, разделенные протяженными структурами рифтогенной природы (рис. 2).

Доверхнепротерозойский фундамент ВЕП выступает на поверхность в Балтийском и Украинском щитах, в Воронежском кристаллическом массиве и выявлен бурением под маломощным чехлом фанеро-

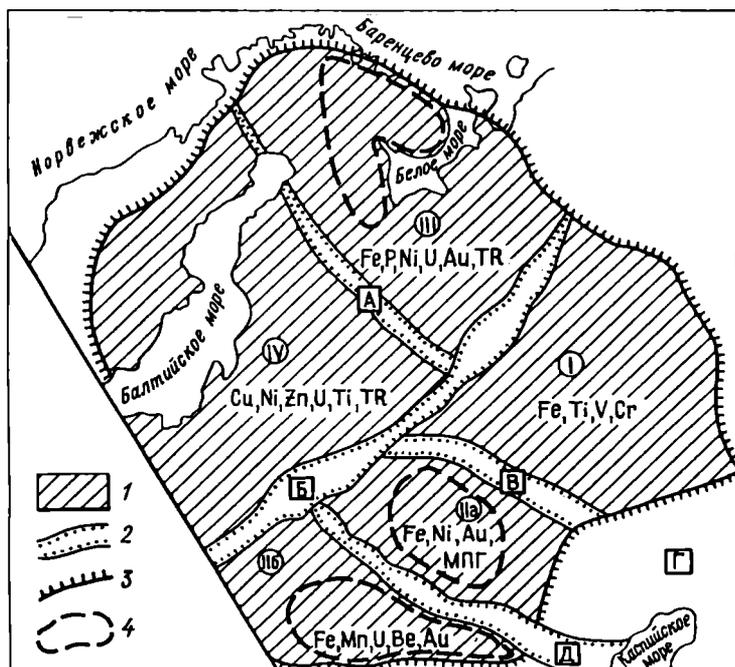


Рис. 2. Схема металлогенического районирования Восточно-Европейской платформы: 1 — геоблоки консолидированной коры: I — Волго-Уральский, IIa и IIб — Воронежско-Украинский, III — Лапландско-Беломорский, IV — Ботническо-Свекофеннский; 2 — межгеоблоковые зоны: А — Ладожско-Ботническая, Б — Волыно-Двинская, В — Рязано-Саратовская, Г — Прикаспийская впадина, Д — Днепровско-Донецкий авлакоген; 3 — граница ВЕП; 4 — прогнозируемые золоторудные провинции. Показаны ведущие рудные элементы: Fe, Mn, Ni, V, Cr, U, P, Au, TR

зойских отложений в Белорусской и Волго-Уральской антеклизях.

Ранние события формирования коры ВЕП происходили в пределах Воронежско-Украинского геоблока 3,6 млрд лет назад. Украинский щит имеет ярко выраженное блоковое строение (рис. 3). Центральное место в этом ансамбле занимает Среднеприднепровский блок, который является фрагментом гранит-зеленокаменной области, протягивающейся в субмеридиональном направлении, и выступает севернее в Воронежском массиве. В отличие от Кольско-Карельского сегмента зеленокаменный комплекс здесь не образует линейных структур, а заполняет синформные промежутки между гранито-гнейсовыми куполами. Все другие блоки УКЩ (Приазовский, Волыно-Подольский и Кировоградский) сложены породами, метаморфизованными в гранулитовой фации и включающими крупные массивы гранитоидов.

Для УКЩ и ВКМ, первоначально составлявших единый Сарматский щит, характерно чередование блоков эпиприархейской консолидации, подвергшихся переработке и гранитизации в конце раннего протерозоя. Эти особенности заметно отличают сарматский сектор фундамента ВЕП от Карело-Кольской области [6].

В геологическом развитии фундамента древней платформы выделено несколько крупных эпох становления континентальной коры, существенно различающихся по характеру проявления геотектонического режима развития, типам тектонических структур и ассоциациям геологических и рудных формаций.

Большое значение для понимания истории его развития имеют структуры активизации в шовных зонах, наиболее проницаемых и потенциально благоприятных для движения рудоносных растворов различной природы и формирования месторождений полезных ископаемых. В докембрии выделяются четыре геолого-металлогенических периода (предрифтовый, рифтовый, бассейновый, протоплатформенный), которые характеризуются особенностями тектоники, магматизма и минерализации. Структура докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы представляет собой сплошную мозаику разновозрастных блоков, разделенных подвижными зонами. Его формирование протекало в течение всего архея и закончилось в конце раннего протерозоя, после чего началось накопление осадочных толщ платформенного чехла (рифей-фанерозой).

В металлогеническом плане каждый из четырех выделенных геоблоков отличается специфической металлогенической структурой. Для Ботническо-Свекофеннского геоблока характерны проявления Cu, Ni, Zn, Pb, U и F. Для Лапландско-Беломорского геоблока типичны Cu, Ni, Fe, P, Ti, алмазы, флюорит, магнезит и золото. Волго-Уральский геоблок характеризуется Fe, Ti, V и Cr. В Воронежско-Украинском геоблоке выделяются крупнейшие месторождения Fe, Mn, U, проявления (до промышленных) Au, Pt, Ti и графита.

**Воронежско-Украинский геоблок.** Предрифтовый период характеризуется наличием тонкой литосферной плиты, становлением блоков стабилизации коры, формированием гранито-гнейсовых купольно-кольцевых структур, определяемых тектоникой магматических плюмов. Наиболее ранние образования континентальной коры (3,6 млрд лет) в пределах ВЕП известны в Сарматском сегменте, включающем четыре макротеррейна (Волыно-Подольский, Кировоградский, Сумско-Приднестровский, Оскольско-Приазовский) и два гранулитовых пояса (Днепровско-Бугский и Брянско-Одесский).

В обстановке развития куполовидных поднятий, разделенных извилистыми синформными прогибами, которые сложены комплексами пород основного состава, метаморфизованных в амфиболитовой фации, зарождались зеленокаменные пояса первой генерации. Подобные образования известны в Гренландии (3,87—3,80 млрд лет), Южной Африке (3,6 млрд лет), Западной Австралии (3,5—3,3 млрд лет). Формирование таких зеленокаменных поясов связано с деструкцией протоконтинентального субстрата и рифтингом, переходящим в рассеянный спрединг, и образованием коры океанического типа [27]. С зеленокаменными поясами первой генерации в Южной Африке и Западной Австралии связаны месторождения золота золото-сульфидной и золото-железисто-кварцевой формаций, слагающих многочисленные стратиформные прожилки вкрапленных руд.

Период существования тонких литосферных плит является начальным этапом заложения древних зеленокаменных поясов. Золотое оруденение этого этапа в границах Восточно-Европейской платформы известно в гранито-гнейсовом комплексе обоянской серии КМА, в центрально-приазовской и бугской сериях УКЩ. В первом регионе оно в железорудной формации обоянского типа ассоциирует с платиноидами в пироксенитах и метасоматических горнblendитах бесединского разреза, а также с высокоуглеродистыми (графитизированными) плагиогнейсами (PGM >5 г/т, Au 1,3–7,5 г/т). Во втором регионе золото присутствует в рудах железисто-силикатной формации на Мариупольском и Коксунгурском месторождениях.

Более широко золотая минерализация развита среди зеленокаменных серий рифтового периода, которые весьма схожи с киватинскими разрезами Канадского щита. Это михайловская серия КМА, конско-верховцевская серия УКЩ и гимольская серия в Карелии на Балтийском щите и оленегорская свита на Кольском п-ове (рис. 4).

Рифтовый период отличается усилением тектонической активности, рифтогенезом, внедрением плюмов, обусловивших формирование гранит-зеленокаменных областей. Начало распада Восточно-Европейского континента предположительно связано с глобальным суперплюмовым событием (2,45–2,40 млрд лет) [27]. Оно выразилось в разноплановом рифтогенезе с образованием зеленокаменных поясов второй генерации, которые заложены преимущественно вдоль зон сочленения архейских блоков и сопровождались становлением расслоенных широко распространенных на Балтийском щите интрузий и дайковых комплексов.

В ВКМ преобладают железисто-кремнисто-базальтовые формации (михайловская серия). Выделяются типичные рифтогенные формации: кристаллосланцево-амфиболитовая, эндербит-амфиболитовая и дунит-перидотит-габбровая. Редкие проявления медно-молибденовой (с Au) порфировой минерализации генетически связаны с магматическими формациями мигматит-тоналит-микроклиновых гранитов и мигматитов (Западно-Холзевское и Северо-Кисловское проявления золота). Золотая минерализация представлена прожилково-вкрапленными, реже жильными формами в зонах милонитизации, катаклаза и рассланцевания основных эффузивов, в зонах контакта метаэффузивов и плагиогранитов габбро-плагиогранитной формации (проявление Северо-Висловское), в метасоматитах карбонатного состава среди железистых кварцитов (Рыльское), в верхней части разреза в терригенных породах кварц-конгломератовой формации.

Ведущими минеральными типами руд являются пирротин-пиритовый и полиметаллический с сульфосолями сурьмы и теллуридами. Все рудопроявления тяготеют к разломным тектоническим нарушениям. Отмечается парагенетическая связь золотого орудене-

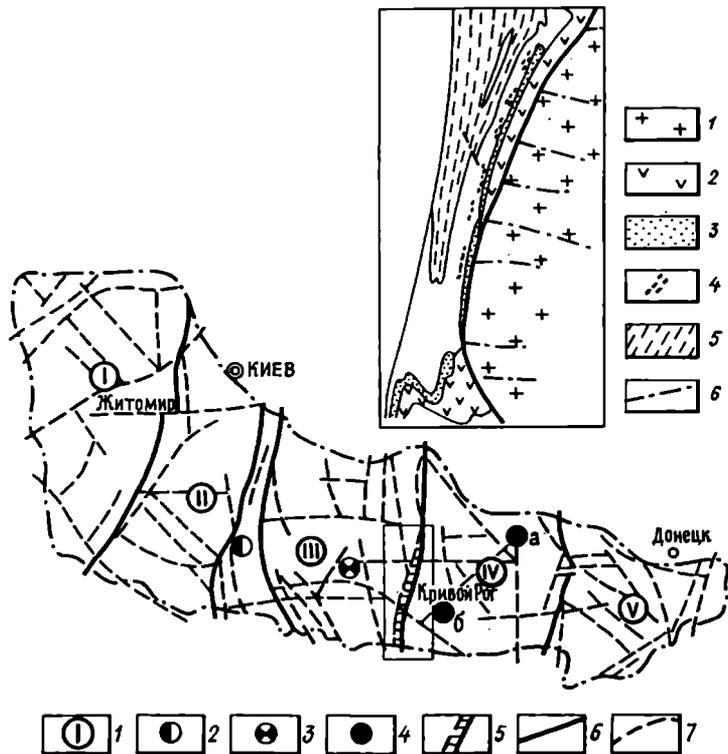


Рис. 3. Тектоническое районирование и золотоносность Украинского щита (по данным [15] и др.): 1 — геотектонические блоки: I — Вольно-Подольский, II — Белоцерковско-Одесский, III — Кировоградский, IV — Приднепровский, V — Приазовский; 2 — Майское месторождение гнейсово-гранулитовой шовной зоны; 3 — Юрьевское месторождение раннепротерозойских складчатых зон и шовных прогибов; 4 — месторождения гранит-зеленокаменной зоны (а — Сергеевское, б — Балка Широкая); 5 — золотоносные кварциты Кривбасса; 6 — глубинные разломы; 7 — разломы, разделяющие блоки последующего порядка. Условные обозначения для врезки сверху: 1 — Саксаганские плагиограниты; 2–5 — свиты: 2 — ново-криворожская, 3 — скелаватская, 4 — саксаганская с участками богатых руд, 5 — гданцевско-глеуватская; 6 — разрывные нарушения

ния с магматическими породами гранитоидной группы (граниты, плагиограниты и гранодиорит-порфиры). Из рудных минералов преобладают сульфиды и теллуриды [9]. Широко развиты хлоритизация и лиственитизация вмещающих пород. Содержание золота в рудах варьирует от 0,1–0,5 до 2,2–14,7 у.е. Последнее значение относится к рудам в карбонатных породах (проявление Рыльское).

Бассейновый период ознаменовался деструкцией архейской континентальной коры, которая сопровождалась тектонической активизацией ранее возникших структур и заложением новых зеленокаменных поясов. Широкое развитие получили коры выветривания, формировались мощные толщи вулканогенно-осадочных пород, включающие протяженные горизонты железистых кварцитов с тонкорассеянным золотом. На этот период приходится главный пик образования месторождений железных руд в истории Земли. Проявление золотой составляющей не столь ярко выражено, нежели в предшествующий период, но, учитывая колоссальные объемы железных руд, суммарная масса заключенного в них благородного металла, вероятно, весьма значительна.

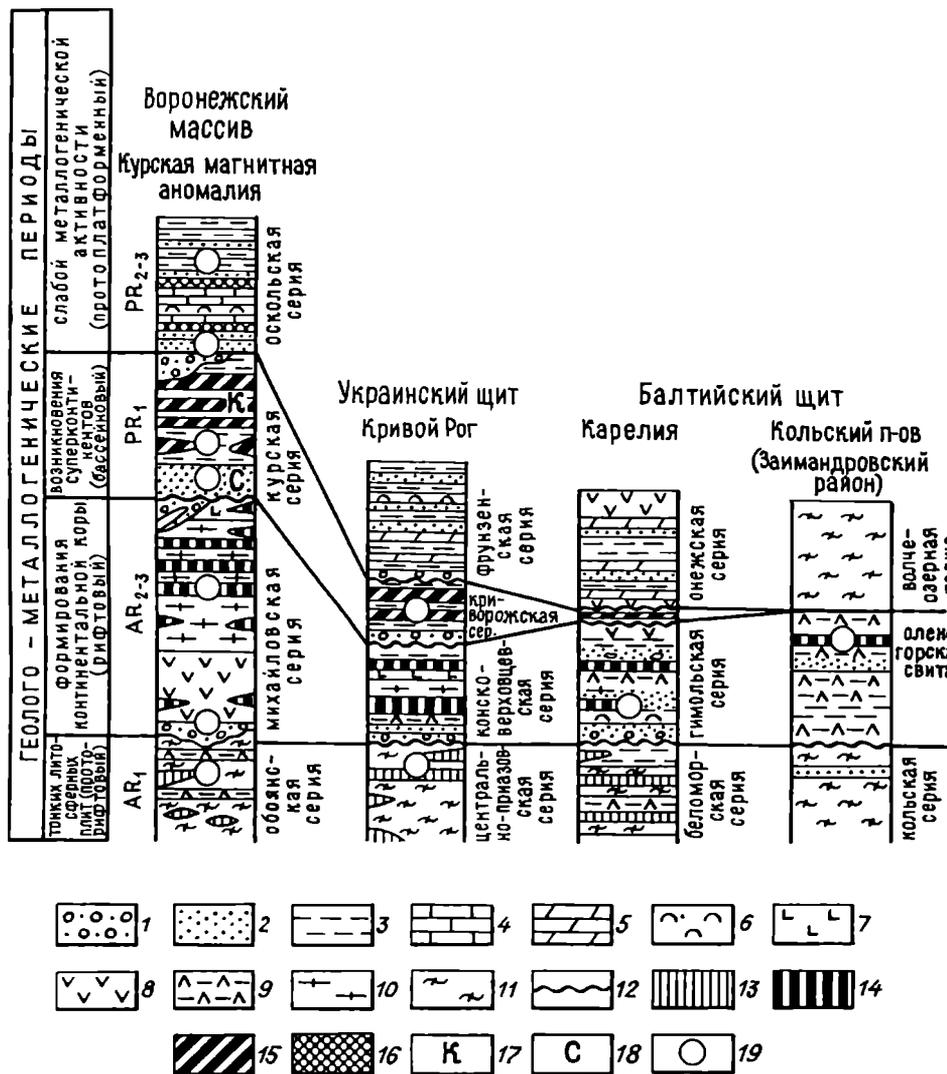


Рис. 4. Сводные разрезы и золотеносность железорудных докембрийских толщ Восточно-Европейской платформы (по данным [29, 30] с дополнениями): 1 — конгломераты, гравелиты; 2 — метапесчаники; 3 — сланцы; 4 — кристаллические известняки и доломиты; 5 — мраморы, кальцифиры; 6 — лавы, туфы, брекчии; 7 — кислые вулканиды; 8 — основные вулканиды; 9 — амфиболиты; 10 — гнейсы, карбонатные породы нерасчлененные; 11 — гнейсы, кристаллические сланцы; 12 — несогласия; 13—16 — железорудные формации: 13 — железисто-силикатная (обоянский тип), 14 — железисто-кремнисто-вулканогенная (михайловский тип), 15 — железисто-кремнисто-сланцевая (криворожский тип), 16 — железисто-кремнисто-кластогенная (оскольский тип); 17 — коробковская свита; 18 — стойленская свита; 19 — проявления золота

В ВКМ зеленокаменные пояса сложены комплексами пород карбонатно-метаграувакковой терригенной, железисто-кремнистой (курская серия) и метаплагиобазальт-метапелитовой и габбровой формаций. Золото широко присутствует в железисто-кремнисто-сланцевой формации. В платиноидно-золоторудных проявлениях содержание платиноидов составляет до 5,1 г/т, Au до 3,4 у.е. В высокоуглеродистых сульфидсодержащих сланцах этой серии, металлогенически перспективной на U, Au и Pb, содержание Au в конгломератах достигает 3,4 у.е.

Проявления золота в раннепротерозойском комплексе наиболее широко представлены в Лебединском районе, где они тесно ассоциируют с железистыми кварцитами [30, 31]. В Южно-Кисловском, Яковлевском и других районах они приурочены к кварцито-песчаникам терригенной кварцито-конгло-

мератовой формации курской серии. Это жилы, штокверки, прожилково-вкрапленные зоны, тяготеющие к разрывным нарушениям, парагенетически рудопроявления связаны с гранитоидами и дайками среднего состава. Околорудные изменения вмещающих пород чаще всего представлены зонами окварцевания и серицитизации. Содержание золота варьирует от 0,1—0,5 до 3,0—32,3 у.е (Лебединское восточное).

Протоплатформенный период включает готский, гренвильский и байкальский этапы. Этот интервал геологической истории характеризуется относительно стабильным геотектоническим режимом и отсутствием кардинальной перестройки планетарных структур. Заложившиеся в начале периода субмеридиональные пояса (готский этап) и в последующем субширотные структуры (гренвильский этап) не получили достаточного развития. Для готского этапа характерны образования железисто-кремнисто-кластогенной формации, источником железа для которых послужили продукты разрушения, перемыва и переотложения железистых кварцитов предшествующих периодов. Для этого времени также характерны маргитовые и дисперсно-гематитовые руды кор выветривания.

В ВКМ образования этого периода представлены железисто-кремнисто-кластогенной формацией оскольской серии, трансгрессивно (с базальными конгломератами) залегающей на отложениях нижнего протерозоя. Мощность серии более 2 км, возраст 1650—1900 млн лет. Рудные тела образуют пласты и линзы мощностью до 130—170 м и протяженностью до 4,5 км. Первичными рудными минералами здесь были гетит и гематит, преобразованные последующим метаморфизмом в магнетит и железную слюду. Аналогичные кластогенные образования встречаются среди верхнепротерозойских пород фрунзенской серии Украинского щита, онешской серии Карелии и печенежской серии Кольского п-ова. Породы оскольской серии формировались в линейных наложенных прогибах (пул-апарт-бассейнах) подобно отложениям тимискаминского типа, в которых открыто золоторудное месторождение Киркленд-Лейк зеленокаменного пояса Абитибии.

В соответствии с современными геодинамическими представлениями [18, 21 и др.] эти структуры появились в зеленокаменных поясах в связи с разрывными нарушениями, возникавшими в процессе рифтогенеза в виде листрических разломов, ограничивающих блоки при деструкции кристаллического фундамента. В дальнейшем эти и другие аналогичные структуры служили подводными каналами для проявления магматизма и путями транспортировки рудоносных флюидов. Позже на этапах сжатия и формирования коллизионных структур часть разломов стала крутопадающими взбросо-сдвигами, а часть преобразовалась в надвиги. Современный генеральный структурный план осложнен зонами поперечных трансформных разломов. Сочетание субмеридиональных и поперечных разрывных нарушений определяет сложное блоковое строение палеорифтовых структур, что и наблюдается на Михайловской и Ястребовско-Щигровской площадях.

Образования оскольской серии КМА, наиболее полно представленные в пределах Тим-Ястребовской грабен-синклинали, расчленяются на две свиты: роговскую (нижнюю) и тимскую (верхнюю). Тимская свита разделена на две подсвиты, каждая состоит из двух толщ. Нижняя толща нижней подсвиты имеет черносланцевый состав, верхняя — сланцево-вулканогенный (основные вулканиты). В верхней подсвите нижняя толща представлена метавулканитами кислого состава и их туфами, а верхняя — метавулканитами основного и ультраосновного состава.

С образованиями тимской свиты связано наибольшее число рудопроявлений золота. Углеродистые породы нижней толщи выделяются повышенным содержанием Au, PGM, Zn, Mn и P. Различаются две сингенетические генерации пирита: ранняя слабозолотоносная (0,02—0,04 у.е.) и поздняя пирит-полиметаллическая с повышенным содержанием золота (0,4—41,12 у.е.). На Тимском участке полоса зон сульфидного золото-полиметаллического оруденения прослеживается более чем на 15 км. Протяженность отдельных зон до 1,0—1,5 км, мощность до 25—30 м. Содержание золота варьирует от 0,3 до 2,6 у.е., серебра до 10 у.е. Концентрация платины в тонких фракциях достигает 0,84 у.е., палладия — 5,4 г/т.

В верхней толще верхней подсвиты, сложенной мафитами группы толеитовых базальтов, фоновое содержание золота колеблется от 0,0002 у.е. в ультрабазитах до 0,0007 у.е. в базальтах при кларке концентрации 30, а в отдельных пробах до 70 у.е. Большие перспективы возлагаются на Воскресенскую рудную зону, где выявлено пять рудопроявлений с содержанием золота от 1,0 до 14,6 у.е. Наиболее полно здесь изучено Кшенское рудопроявление. Прогнозные ресурсы этого проявления соответствуют среднему месторождению, а Воскресенской зоны — крупному месторождению [13].

Из всех перечисленных объектов, в рудах которых присутствует золото, наиболее перспективно для ком-

плексного освоения (Fe, Au, PGM) на ВКМ Михайловское месторождение, выделяющееся более высокой золотоносностью по сравнению с аналогичными месторождениями [28]. Сравнение средних содержаний благородных металлов в железистых кварцитах Михайловского и Оленегорского месторождений показывает тождественность характера распределения не только золота, но и платиноидов. Однако уровень концентрации благородных элементов в рудах Михайловского месторождения в несколько раз выше. Здесь в метасоматически измененных гематит-магнетитовых и краснополосчатых (железно-слюдковых) кварцитах оконтурены два ореола золота и палладия со средним содержанием благородных металлов (Au 0,01 и 0,1 у.е., Pd 0,55 и 0,2 у.е.). Наиболее высокое содержание золота выявлено в пробах красно-полосчатых гематитовых кварцитов (до 5,5 у.е.). На Украинском щите золото установлено в трех структурно-формационных комплексах: диафторированном чарнокит-гранулитовом нижнего архея (Белоцерковско-Одесский блок), тоналит-зеленокаменном и гранулит-зеленокаменном верхнего архея (Среднеприднепровский блок и Приазовский массив соответственно) и гранитоидно-метаосадочном нижнего протерозоя (Кировоградский блок) (рис. 3).

В первом регионе рудопроявления развиты в центральной части Голованевской гнейсо-гранулитовой шовной зоны. Вмещающие породы представлены гнейсами чарнокитового комплекса, в значительной степени диафторированными. Спорадически встречаются железисто-магнезиальные скарны, железисто-кремнистые породы и гипербазиты [32]. Здесь выявлены месторождение Майское и несколько рудопроявлений, приуроченных к Синицкой меридиональной зоне раннепротерозойской тектоно-магматической протоактивизации с контрастной по составу лейкогранулитовой формацией магматитов. Положение золоторудных объектов контролируется магнитоактивными горизонтами пород (метабазиты, метультрабазиты, железистые кварциты, кальцифиры, графитовые кристаллосланцы), слагающих нижнюю часть разреза [14]. Вмещающие породы и гранитоиды интенсивно катаклазированы и окварцованы, а по зонам катаклаза биотитизированы и серицитизированы. Рудные зоны — согласные или субсогласные — имеют невысокое среднее содержание золота. Концентрация золота в рудных телах колеблется от 0,1 до 140 у.е., в отдельных столбах отмечено ураганное содержание. В узлах пересечения тектонических нарушений встречены бананцы с содержанием золота до 1470 у.е. Самородное мелкодисперсное золото приурочено к кварцу, более крупное — по спайности в биотите, а также в виде каемок вокруг сульфидов и теллуридов.

Месторождение Майское относится к метаморфогенно-гидротермальному типу, локализованному в зонах деформированных эндо- и экзоконтактов гранито-гнейсовых куполов. Этот тип месторождений

широко распространен в мире, среди них два месторождения с запасами более 200 т (Маунт-Морган, Австралия; Грасс-Вали, США).

Выделяются два этапа в развитии оруденения: 1) формирование зон пластичных деформаций, вдоль которых проявился кварц-олигоклазовый метасоматоз с рассеянным золотом; 2) появление хрупких деформаций, сопровождавшихся ремобилизацией золота с концентрацией его в трещинных жилах.

Наиболее перспективные промышленные объекты — золоторудные месторождения архейской гранит-зеленокаменной области Среднего Приднепровья. Выделяются четыре группы месторождений: а) первая группа тяготеет к центрам проявления кислого вулканизма и размещается в экзо- и эндоконтактах субвулканических интрузий плагиогранит-порфиоров, гранодиорит-порфиоров, дацитов, кварцевых альбитофиоров; б) вторая группа локализована в зеленокаменных породах различных уровней стратиграфического разреза, в зонах расщеливания и смятия; в) третья группа объединяет проявления золота, приуроченные к железистым кварцитам базальт-джеспилитовой ассоциации; г) четвертая группа встречается в породах дунит-перидотитовой и дунит-пироксенит-габбровой ассоциаций.

Пространственная связь золотоносности в железорудных формациях с полями проявления риодацит-плагиогранитной ассоциации объясняется поступлением последних порций тепловой энергии, определяющей возникновение флюидной системы и связанные с ней процессы реювенации. Примерами подобных образований являются месторождения Сергеевское, Балка Золотая, Балка Широкая и Сурожское, проявления в зоне Кривбасса [11 и др.]. Содержание золота в рудах неравномерное: от 0,5—3 до 100 у.е., пробность колеблется в пределах 605—460, размер золотин до 100 мкм.

В аналогичных условиях формировались золоторудные месторождения многих других гранит-зеленокаменных областей (Канадский и Балтийский щиты, Воронежский кристаллический массив и др.).

Золотое оруденение в Среднеприднепровском блоке и Приазовском массиве проявилось в эндо- и экзоконтактных ореолах полей риодацит-плагиогранитных вулкано-плутонических ассоциаций, граничащих с полями пород основного состава (коматиит-толеитовые, дацит-андезит-толеитовые и железисто-кварцитовые джеспилит-коматиит-толеитовые формации). Чаще всего золото связано с относительно маломощными горизонтами железистых кварцитов в ассоциации с потоками коматиитов. Особенно благоприятной средой являются железистые кварциты силикатно-карбонатной и сульфидной фаций.

Золоторудные месторождения связаны с раннепротерозойскими складчатыми зонами и шовными прогибами центральной части УЩ (Кировоградская, Западно-Ингулецкая и Криворожско-Кременчугская зоны). Они приурочены к крупным тектоно-магмати-

ческим зонам субмеридионального простирания, обрамляющим сложнопостроенные массивы гранитов рапакиви, субщелочных гранитов, габбро-анортозитов (Кировоградский, Корсунь-Новомиргородский, Новоукраинский массивы).

Рудопроявления локализируются в зонах интенсивного дробления и катаклаза биотитовых, амфибол-биотитовых, пироксен-биотитовых и гранат-биотитовых гнейсов, претерпевших диафторические преобразования и вмещающих пегматоидные и аплитовидные граниты и кварц-полевошпатовые жилы. Рудные тела представлены вкрапленными, прожилково-вкрапленными зонами и в меньшей степени жилами. Включения самородного золота в кварце имеют размеры от нескольких микрометров до 125—200 мкм, золото высокопробное (930—990).

Наиболее широко золоторудная минерализация развита в Кировоградском блоке, где известно много рудопроявлений, приуроченных к крупным тектоно-магматическим зонам субмеридионального простирания (Кировоградской, Звенигородско-Анновской, Первомайско-Трахтемировской), обрамляющим сложные плутоно-гранитоидные массивы.

Золотое оруденение гранитоидно-метаосадочного комплекса Кировоградского блока дополняет известную здесь уран-редкометалльно-редкоземельную металлогеническую специализацию этой территории. Наибольшее число проявлений золота сосредоточено в двух зонах, которые с востока окружают центральное антиклинальное поднятие, в границах которого сконцентрированы наиболее крупные массивы магматических пород (рапакиви-гранитной и габбро-анортозитовой формаций). Первая зона — Кировоградская — расположена в западной части Ингулецкой структурно-формационной зоны и совпадает с Кировоградским разломом. Вторая зона — Первомайско-Трахтемировская — входит в состав Братской структурно-формационной зоны, представляющей собой синклиорий.

С первой связаны Клиновское и Восточно-Юрьевское золоторудные месторождения [26]. В региональном плане месторождения контролируются Кировоградским разломом и зоной экзоконтакта Кировоградско-Бобринецкого массива.

Обращает на себя внимание факт, установленный на основании дешифрирования космических снимков как среднего, так и крупного масштаба, — наличие в пределах Кировоградского блока многочисленных концентрическо-радиальных структур, отдельные элементы которых являются рудоконтролирующими.

В Первомайско-Трахтемировской металлогенической зоне большая часть проявлений золота встречена на участках развития вулканогенно-кремнисто-сланцевой формации, метаморфизованной и гранулитовой фации, чем отличается от монотонной флиш-идной метаграувакковой формации Ингулецкой зоны. Рудные проявления относятся к золото-суль-

фидно-кварцевой формации с повышенным содержанием серебра и низкой пробностью золота.

Тонковкрапленное золото (кроме золота в жильных и метасоматических образованиях) широко распространено в стратиформных залежах железистых кварцитов Криворожского бассейна, который в меридиональном направлении протягивается почти на 100 км. Структура бассейна представляет собой Криворожско-Кременчугский шовный прогиб, который унаследовал архейские синклиналильные структуры, выполненные вулканогенно-осадочными архейскими породами и перекрытые нижнепротерозойской метаосадочной железорудной формацией (криворожская серия, мощность до 2000 м).

По простиранию прогиба выделено шесть районов с наиболее богатыми железными рудами, приуроченными к местам пересечения меридиональной структуры поперечными осложнениями блокового типа [2]. В направлении с севера на юг выделяются месторождения железных руд: Анновское, Первомайское, Валявкинское, Скелеватское и Ингулецкое. Содержание золота в рудах и продуктах обогащения приведено в таблице.

Если происхождение золота в архейских месторождениях и рудопоявлениях связано с эксгаляционно-осадочными процессами, то в образованиях раннего протерозоя оно объясняется процессами хемогенной седиментации продуктов коры выветривания пород континента, в том числе и архейских вулканогенно-осадочных толщ (конско-верховцевская серия) Среднеприднепровского блока.

Миграция золота и его осаждение тесно связаны с процессом седиментации железисто-кремнистых компонентов. Наибольшие фоновые концентрации золота, как отмечалось выше, приурочены к сульфидной фации углистых сланцев. Вместе с тем сравнительно высокое фоновое содержание отмечается и в железистых фациях седиментации (в среднем 3—4 кларка).

В незатронутых сульфидизацией железистых кварцитах золото концентрируется в магнетите при относительно пониженном содержании в кварце. Содержание металла втрое увеличивается в продуктах конечного выветривания раннего этапа — маргитовых рудах.

В остаточных продуктах позднего этапа выветривания — в охристых разновидностях бурых железняков — содержание золота по сравнению с вмещающими маргитовыми рудами снижается более чем на порядок. В продуктах инфильтрации истинных растворов — в зоне цементационной пиритизации — содержание золота значительно повышается [15]. Анализ ситовых фракций мелкоизмельченной руды свидетельствует о достаточно равномерном распределении Au и других элементов по классам крупности. Аномальной оказалась наиболее тонкая (иловая) часть руды, в которой заметно меньше содержание Fe, а содержание As, S, Cu, Pb, Zn и Au существенно воз-

**Содержание золота в железистых кварцитах Кривбасса и продуктах их обогащения (уточнено по данным [2])**

Месторождение	Железистые кварциты	Магнетитовый концентрат	Хвосты мокрой магнитной сепарации		
			1	2	3
Анновское	0,18	29,4	20,7	32,4	31,2
Первомайское	0,18	24,5	9,3	23,5	39,3
Валявкинское	0,24	21,4	11,2	24,5	31,2
Скелеватское	0,17	24,0	7,4	29,6	30,3
Ингулецкое	0,20	38,9	17,3	15,2	38,9

Примечание. Содержание золота в железистых кварцитах — в у.е.; в других случаях — в %; 1—3 — фракции хвостов мокрой магнитной сепарации: 1 — электромагнитная; 2 — плотность >2,9; 3 — плотность <2,9.

растает. Содержание свободного золота в руде достигает 30% от общего золота. Однако тот факт, что с измельчением руды до —0,074 мм его количество растет незначительно, позволяет полагать, что свободное золото в руде довольно мелкое. Ситовым анализом установлено, что 90—97% золота имеет крупность 0,05 мм. Пробность варьирует от 750 до 850.

Морфология зерен золота довольно разнообразна: комковидные, крючковидные, прожилково-пластинчатые и дендритовые, реже пленочные и проволоковидные. Золотоносными являются все минералы, наиболее высокое содержание — в пирите. Связь тонкодисперсного золота с этим минералом наиболее тесная.

Анализ на золото минеральных компонентов железной руды свидетельствует о том, что богатые минералы — носители золота в ней отсутствуют (значительное количество золота содержится в свободном виде). Поэтому очевидно, что выделение их в самостоятельный продукт (даже весьма чистый) не приводит к высокой концентрации золота при механическом обогащении.

**Балтийский щит.** В строении восточной части щита выделены две геотектонические провинции: Карельская и Кольская. Их основанием служит саамский кристаллический комплекс, возникший в период тонких литосферных плит (AR<sub>1</sub>), который ознаменовался внедрением крупных плюмов, разграниченных Беломорской межпалеотектонической зоной.

Сфекофеннская коллизия обусловила столкновение Кольского и Карельского эпипалеозойских континентальных блоков, чему предшествовали раскрытие океанического бассейна и последующая субдукция океанической коры на севере под Кольский континент. Этому времени соответствует накопление супраконтинентальных толщ в задуговых бассейнах и проявление на глубине низкобарического гранулитового метаморфизма с образованием лапландского гранулит-гнейсового пояса [6—8 и др.].

Позднеархейские зеленокаменные пояса Карелии (Водлозерско-Сегозерский, Гимольско-Костомуш-

ский, Сумозерско-Кенозерский и др.) в сочетании с саамскими блоками основания образуют гнейсово-зеленосланцевую область. Пояса протягиваются в северо-западном направлении на 400 км и более при ширине 40—60 км. Мощность разрезов зеленокаменных поясов превышает 5—7 км. В современном эрозионном срезе зеленокаменные комплексы сохранились среди гранито-гнейсовых полей в виде реликтовых структур. В составе зеленокаменных комплексов преобладают коматиит-толеитовая и известково-щелочная ассоциации вулканитов, среди осадочных образований — терригенные, включая кремнистые и железисто-кремнистые. Интрузивные образования относятся к габбро-диорит-гранодиоритовой, габбро-перидотитовой, габбро-диабазовой и гранитоидным формациям. Проявления золоторудной минерализации в обеих провинциях тесно связаны с развитием зеленокаменных поясов второй генерации, но в отличие от позднеархейских зеленокаменных структур Северной Америки и Австралии проявлены слабо. Крупные месторождения золота здесь до сих пор не выявлены.

Тонкодисперсная золото-сульфидная минерализация известна в архейских железистых кварцитах, углеродистых сланцах и колчеданных рудах. В более молодых протерозойских зеленокаменных складчатых структурах (бассейнового типа) выявлены Со- и Ау-оруденение стратиформного типа. Коллизионная стадия развития области ознаменовалась появлениями золота в связи с поздне- и постколлизионным гранитоидным магматизмом и метаморфизмом. Сформировались не крупные месторождения метасоматических уран-ванадиевых руд с золотом в черносланцевых формациях, где преобладающим полезным компонентом является ванадий.

В Западной Карелии выявлена Костомукшская структура, включающая группу месторождений золотоносных железистых кварцитов. В Гимольском и Суккоозерском месторождениях этой зоны установлена повышенная золотоносность верхней части разреза железорудной формации в межозерской и надозерской свитах. В северной части Гимольского месторождения, где из разреза формации выклиниваются пласты железных руд, содержание золота в безжелезистых породах составляет 3,5 кларка, в пределах же самого месторождения — в среднем до 7,5 кларков, в отдельных пробах установлена значительная его концентрация (в среднем 0,002—0,068, местами от 0,1 до 0,69 у.е.) [10].

Более значительное содержание установлено на участках, где пласты железных руд дислоцированы интрузиями, нарушены разломами и подверглись гидротермальным изменениям. Здесь содержание золота от 0,01н до 0,4 у.е. установлено в отдельных пробах железистых кварцитов Совдозерского и Костомукшского месторождений.

На Кольском п-ове железистые кварциты преимущественно в пределах двух (Печенегско-

Имандра-Варзугской и Кейвско-Поросозерской) региональных тектонических зон, разделяющих Мурманский, Центрально-Кольский, Лоттинский и Терский сегменты. Эти зоны имеют длительную историю развития и представляют собой рифтовые структуры шириной до нескольких десятков километров, выраженные интенсивной складчатостью, внедрением глубинных магм, региональным метаморфизмом, ультраметаморфизмом и гранитизацией. Значительная часть железистых кварцитов сосредоточена в Заимандровском районе (месторождения Оленегорское, Айварское и др.) В разрезе кольской серии пачки железистых кварцитов с пироксен-амфиболовыми породами залегают в виде сравнительно маломощных прослоев и линз среди двупироксеновых кристаллических сланцев, гранитовых и биотит-амфиболовых гнейсов [5].

Оленегорское месторождение является самым крупным из известных месторождений железистых кварцитов на Кольском п-ове. Золото, как и в вышеописанных регионах, приурочено к зонам сульфидизации среди железных руд, его содержание составляет 0,659 у.е. (среднее по 150 пробам). В кварцевых же жилах среди сульфидизированных железных руд содержание золота не превышает 0,3 у.е. Тонкое и высокопробное золото сконцентрировано в пирите (0,045 у.е.) и пирротине (0,047 у.е.), в магнетите его на порядок меньше (0,00612 г/т) [28, 30].

Изучение месторождения на золото было начато в 1978 г. Уже на первой стадии были выявлены две зоны золото-сульфидной минерализации. В северном борту карьера зона имеет мощность 18—30 м и крутое падение, согласное с горизонтами железистых кварцитов. Зона прослежена на 200 м в северо-западном направлении. Сульфидная минерализация представлена в виде гнезд и прожилков (мощность 2—3 см) в пластах железных руд ( $Fe < 21\%$ ). Зона сульфидизации приурочена к участку, наиболее насыщенному жилами пегматитов, пегматитовых и плагиомикроклиновых гранитов и метагаббродиоритов, и характеризуется заметным средним содержанием Au (1,36 у.е.) и Ag (3,2 у.е.). Максимальное содержание — 5,5 и 10,6 у.е. соответственно.

Вторая зона расположена в лежащем боку основного железорудного тела, на его контакте с подстилающими гнейсами. Ее мощность от 30 до 120 м, протяженность 800 м. Содержание Au варьирует от 0,01 до 1,5 у.е. Наиболее высокая концентрация установлена на участке Старая Варака (до 2,2 у.е.). Кварцевые жилы, залегающие среди железистых кварцитов, содержат в среднем на порядок больше золота, нежели в участках пересечения гнейсов.

Поскольку сульфидно-магнетитовые и сульфидно-силикатные кварциты не входят в контур промышленных железных руд как некондиционные по содержанию железа, то в пределы отработки попадает лишь 1—2% от объема потенциально золотоносных пород. В связи с этим отметим, что в продуктах обогащения железистых кварцитов Оленегорского месторождения

концентрация Au находится в интервале 0,02—0,03 у.е при максимуме 0,12 у.е. По мнению исследователей этого рудного объекта [30], при комплексной отработке пород продуктивного разреза выход золота может увеличиться не менее чем в 50 раз.

**Заключение.** Из вышеизложенного следует, что на территории Восточно-Европейской платформы прогнозируются три золотоносные провинции: Украинский кристаллический щит, Воронежский массив и северо-восточный регион Балтийского щита (Карело-Кольская провинция), природа которых определяется общим ходом геотектонического развития в раннем докембрии. По истории становления и металлогеническому облику этот крупнейший на Земле регион напоминает Северо-Американский кратон с его Канадским щитом, где выявлены крупные месторождения железа, золота, урана, а также алмазов. Эти минеральные компоненты известны и на ВЕП, но пока только железные руды (и отчасти алмазы) определяют ее промышленную ценность. Наличие обширных площадей, перекрытых мощным чехлом фанерозойских отложений, слабая разбуренность территории, как и ограниченность выполненных объемов комплексных геофизических работ, не позволяют оценить истинное состояние минеральных ресурсов. В последние годы начаты исследования ВЕП методами космического зондирования, позволяющими заглянуть на глубину, во всяком случае под платформенный чехол.

Здесь во всех древних золотоносных провинциях, как и на Канадском щите, проявление золоторудных процессов тесно увязывается с эволюцией железа в истории Земли. В раннем периоде это происходило на фоне формирования разнообразных богатых железом глубинных габбро-гипербазитовых комплексов и свит железистых кварцитов в зеленокаменных поясах первой генерации (гранито-гнейсы обоянской серии КМА, железисто-силикатная формация центрально-приазовской и бугской серий УКШ). Более широко золотая минерализация проявилась в зеленокаменных поясах второй генерации (михайловская серия КМА, конско-верховцевская серия УКШ, гимольская серия Карелии и оленегорская свита на Кольском п-ове). Золоторудная минерализация в нижнем протерозое связана с формированием мощных толщ железистых кварцитов. Учитывая колоссальные объемы железных руд, суммарная масса заключенного в них золота, вероятно, весьма значительна (Криворожский железорудный бассейн на УКШ, михайловская серия Курской магнитной аномалии).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артеменко В.М., Коваль В.Б., Кобзарь В.Н.* О проблеме попутного извлечения золота из железистых кварцитов Кривбасса. Киев: ГЦ РОС НАНИМИС Украины. 1999.
2. *Ахказов Ю.Л., Крестников Ю.М.* Рудоконтролирующие структуры Криворожского бассейна // Сов. геология. 1986. № 8. С. 45—48.

Первичные эксгальационно-осадочные концентрации железа возникли в вулканических зонах на океаническом дне палеобассейна. Смена во времени в зеленокаменных поясах основного вулканизма известково-щелочным (андезитовым) сопровождалась поступлением золота. Это свидетельствует об изменении геодинамических условий — смене растяжения (раздвига плит) сжатием. Именно на этой стадии в остаточных прогибах и накапливались золотоносные железистые осадки, которые в последующем, на стадии тектоно-магматической активизации, служили источником благородного металла в кварцевых жилах и телах метасоматитов. Спорным остается вопрос о природе мелкого, тонкого и ультратонкого золота в железистых кварцитах раннего протерозоя. Мы рассматриваем это золото как первично осадочный материал, образовавшийся за счет размыва коры, облик которой полностью изменен наложенными процессами реювенации (метаморфизм, метасоматоз). Это золото не образует промышленных концентраций, но его вполне можно рассматривать как попутный компонент при обогащении железных руд.

Согласно статистическим данным, Российская Федерация по запасам золота занимает третье место в мире, но по производству благородного металла — седьмое (после ЮАР, США, Австралии, Канады, Китая и Индонезии). Вовлечение в производство бедных и забалансовых руд, а также отвалов и хвостов обогатительных фабрик с использованием новых методов обогащения (кучного и скважинного выщелачивания) является первоочередной задачей, успешное решение которой повлечет за собой рост добычи золота в России. Существенный вклад в решение этой проблемы может дать освоение извлечения этими методами золота из железистых кварцитов.

Мировой и отечественный опыт эксплуатации некоторых железорудных месторождений в качестве источника золота представляет собой робкую попытку вовлечь этот резерв в сферу промышленного освоения по сравнению с тем, что он может дать. Учитывая, что объемы железистых кварцитов в мире огромны, есть полное основание полагать, что в недрах Земли содержатся крупные, еще не востребуемые запасы золота.

Работа выполнена при поддержке гранта РНП (грант № 2.1.1.1374 “Эндогенный и экзогенный рудогенез и его эволюция в истории Земли”).

3. *Беневольский Б.Н.* Золото России. М.: ООО Геоинформцентр, 2002.
4. *Воробьев А.Е., Гладуш А.А.* Геохимия золота. М.: РУДН, 2000.
5. *Гавериленко Б.В.* Минерогения благородных металлов и алмазов северо-восточной части Балтийского щита. М.: Недра, 2005.

6. Галецкий Л.С., Колосковская В.М., Шевченко Т.П. и др. Геологическое развитие и металлогения докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы // Тез. Междунар. конференции "Глубинное строение литосферы и нетрадиционное использование недр Земли". Киев, 1996. С. 138—140.
7. Глебовицкий В.А., Шемякин В.М. Расчленение и корреляция раннего докембрия // Региональная геология и металлогения. 1996. № 5. С. 25—36.
8. Дерябин Н.Н. Золото докембрия. Киев, 2000.
9. Дьяченко А.П., Легедза В.Я., Шелехов А.Н. и др. Изучение перспектив золотоносности Воронежской антеклизы. Тула: ЦНИГРИ, 1973.
10. Жаднова Т.П., Писемский Г.В., Дружинин А.М. Оценка перспектив осадочных типов золотого оруденения докембрийских выступов Русской платформы и обоснования направления поисковых работ. М.: ЦНИГРИ, 1978.
11. Коваль В.Б., Коптюх Ю.М., Ярошук М.А. и др. Золоторудные месторождения Украинского щита (Украина) // Геол. рудн. месторожд. 1997. Т. 39. № 3. С. 229—246.
12. Луцаков А.В., Быховский Л.З., Тигунов Л.П. Нетрадиционные источники попутного получения золота: проблемы и пути решения. М.: Недра, 2001.
13. Лючкин В.А., Казанцев В.А. Предпосылки промышленных месторождений золота на территории Курской магнитной аномалии // Вестн. ВГУ. 1997. № 3. С. 95—99.
14. Макивчук О.Ф., Бондаренко С.Н., Сергиенко К.М. и др. Вещественный состав пород и условия локализации золоторудной минерализации на Майском месторождении (УКЩ) // Минерал. журн. 1999. Т. 21. № 4. С. 63—82.
15. Методические рекомендации по изучению железорудных месторождений отвалов и хвостохранилищ обогатительных фабрик на сопутствующие благородные металлы. М.: ЦНИГРИ, 1991.
16. Момджи Г.С. Формационная принадлежность железистых кварцитов // Железисто-кремнистые формации докембрия. М.: Недра, 1979. С. 7—14.
17. Некрасов Е.Н. Как бедные запасы могут стать богатыми. О прогнозе развития мировой золотодобывающей отрасли // Металлы Евразии. 2005. № 3. С. 56—59.
18. Обоснование направлений геологоразведочных работ на золотое оруденение в зеленокаменных комплексах докембрия на основе геолого-поисковых моделей рудных полей и месторождений. М.: ЦНИГРИ, 1994.
19. Пельмский Г.А., Шишова С.Ф. Развитие железного оруденения в докембрии // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1985. Т. 60. Вып. 1. С. 55—64.
20. Петров С.В., Сентемова В.А. Благородные металлы в железистых кварцитах и возможность их извлечения // Обогащение руд. 1998. № 6. С. 37—40.
21. Ручкин Г.В., Дерюгин Ю.Н. Золотоносность раннедокембрийских железистых кварцитов. Обзор: Геология, методы поисков и разведки. М.: ВИЭМС, 1988.
22. Сафонов Ю.Г. Нетрадиционные виды золоторудного сырья в России // Вестн. РАН. 1995. № 9. С. 790—806.
23. Старостин В.И., Пельмский Г.А., Сакия Д.Р. Железное оруденение в эволюции Земли // Изв. РАЕН. Секция наук о Земле. 2000. Вып. 5. С. 4—24.
24. Старостин В.И., Пельмский Г.А., Леоненко Е.Н., Сакия Д.Р. Геодинамические обстановки формирования золоторудных месторождений в раннем докембрии (архей—ранний протерозой) // Там же. 2003. Вып. 10. С. 3—15.
25. Старостин В.И., Трофимов А.П., Фунтиков Б.В. и др. Геолого-геохимическая оценка перспектив промышленной благороднометалльной рудоносности зеленокаменных поясов центральной части Воронежского кристаллического массива // Там же. 2004. Вып. 12. С. 40—50.
26. Фомин Ю.А. Восточно-Юрьевское месторождение золота // Минерал. журн. 1999. № 4. С. 32—44.
27. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001.
28. Чернышев Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона. Воронеж: ВГУ, 2004.
29. Шелехов А.Н., Легедза В.Я., Родионова Е.С., Блоха В.Д. Золото в железистых кварцитах Курской магнитной аномалии // Онтогенез минералов и технологическая минералогия. Киев: Науков. думка, 1988. С. 157—160.
30. Шелехов А.Н., Егунов П.Е. Оценка золотоносности Оленегорского железорудного района и геолого-технологическое изучение продуктов обогащения руд на сопутствующие благородные и цветные металлы. М.: ЦНИГРИ, 1990.
31. Щербаков Ю.Г. Геохимические свойства и распределение элементов в породах // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 2. С. 80—91.
32. Ярошук М.А., Мельничук Э.В., Крамских Е.П., Субботин А.Г. Золоторудные проявления гнейсо-гранулитовых зон Украинского щита // Минерал. журн. 1994. Т. 16. № 1. С. 30—36.
33. Goldschmidt V.M. Geochemistry. Oxford: Clarendon Press, 1954.
34. Starostin V.I., Sorokhtin O.G. Evolutionary metallogeny // Izvestiya. Earth Sci. Sect. Russian Academy of Natural Sciences, Spec. Issue. (N 11), 2004. P. 27—36.

Поступила в редакцию  
05.09.2006