

УДК 553.078

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗОЛОТА УКРАИНСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЩИТА

М.А. Ярошук, Ю.А. Фомин, Л.П. Заборовская

Ярошук М.А., докт. г.-м.н., в.н.с. ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины» Киев, Украина, marina_yaroshchuk@meta.ua

Фомин Ю.А., канд. г.-м. н., ст. н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», Киев, Украина, yaf1941@gmail.com

Заборовская Л.П., м.н.с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», Киев, Украина, larisa-zaborovskaja@rambler.ru

Рассмотрены геолого-структурные условия локализации золоторудных месторождений, образовавшихся в различной геодинамической обстановке Приднепровского, Ингульского мегаблоков и Белоцерковско-Одесской межблоковой шовной зоны Украинского щита. Дан анализ различных геологических процессов возможной концентрации золота при многоэтапном формировании Украинского щита. Установлены основные этапы образования золоторудных месторождений разных типов: предрудный этап – метаморфогенный золото-колчеданный, обусловленный процессами седиментации, вулканизма, метаморфизма и основной – рудогенный золото-кварцевый, связанный с ультраметаморфизмом и гидротермальными процессами тектоно-магматической активизации. Установлены региональные и некоторые локальные поисковые критерии разнотипных месторождений золота УЩ.

Ключевые слова: *металлогения золота, архей, нижний протерозой, Украинский щит, мегаблоки, межблоковые шовные зоны, геодинамическая обстановка, рудообразующие процессы, месторождения золота.*

Металлогения кристаллических щитов имеет свои особенности, обусловленные длительностью и многоэтапностью породообразующих процессов, которые определяют условия концентрации конкретных металлов [1,2]. Сказанное обуславливает актуальность при решении вопросов металлогении золота Украинского щита (УЩ) и детального изучения целого ряда процессов (седиментации, вулканизма, литогенеза, метаморфизма, ультраметаморфизма), протекавших в мегаструктурах (мегаблоках и межблоковых шовных зонах) УЩ, формировавшихся в различной геодинамической обстановке накопления осадочно-вулканогенных толщ, их метаморфизма, ультраметаморфизма и процессов тектоно-магматической активизации. Вышеназванные структуры имеют разный уровень эрозионного среза.

Структурно-тектонические условия золотооруднения

В пределах щитов металлогения, в свою очередь, зависит от их внутреннего строения, прежде всего – характера региональных структур.

В структуре Украинского щита выделены пять мегаблоков (Волынский, Подольский, Ингульский, Приднепровский, Приазовский) и три разделяющие их межблоковые шовные зоны (МШЗ) (Белоцерковско-Одесская, Ингулецко-Криворожская, Орехово-Павлоградская).

Внутренняя структура мегаблоков также состоит из блоков второго порядка, разделённых разломами. Межблоковые шовные зоны отделены от мегаблоков глубинными разломами; внутреннее строение МШЗ складчато-блоковое, глубинное строение осложнено коро-мантийной смесью.

Геодинамический режим развития мегаблоков более стабилен по сравнению с геодинамическим режимом МШЗ, что определяет различие металлогенических особенностей золота в этих структурах УЩ. Большое значение имеет также уровень эрозионного среза мегаблоков и МШЗ, в котором вскрываются породы разного состава, возраста, степени метаморфизма, интенсивности проявления процессов гранитизации и тектоно-магматической активизации (ТМА) – тех факторов, которые влияют на концентрацию золота. Перспективные рудопроявления и месторождения золота в настоящее время установлены в Ингульском, Приднепровском, Приазовском мегаблоках, в Белоцерковско-Одесской, Ингулецко-Криворожской и Орехово-Павлоградской МШЗ.

Подольский мегаблок слагается в основном кристаллосланцами базитовой природы, метаморфизованными в условиях гранулитовой фации, в объёме днестровско-бугской серии палеоархея. Ультраметаморфические процессы этих пород представлены эндербитизацией. В соответствии с глубокой эродированностью Подольского мегаблока продукты ТМА представлены редкометальной ассоциацией и флюидизитами.

Приднепровский мегаблок на уровне эрозионного среза представлен рифтогенными структурами, разделёнными гранито-гнейсовыми куполами. Рифтогенные структуры выполнены осадочно-вулканогенными породами неархейских конкской и белозерской серий. Среди вулканогенных пород преобладают разности основного состава, развиты также вулканы кислого и среднего состава, отмечены ультрабазиты. Осадочные породы представлены железисто-кремнистыми породами, железисто-магнезиальными сланцами, в которых устанавливается значительная доля туффитового материала. Породы троговых структур в центральных их частях метаморфизованы в эпидот-амфиболитовой фации; в прибортовых частях структур (а также, вероятно, на глубине) степень метаморфизма возрастает до амфиболитовой фации, что указывает на развитие прогрессивной метаморфической зональности в период формирования неархейских пород. Процессы

гранитизации проявлены только в гранито-гнейсовых купольных структурах, разделяющих рифтогенные трогои и, возможно, развившихся на выступах неоархейского фундамента.

Фундамент Приднепровского мегаблока эродирован в его северо-восточной части, где представлен палеоархейскими гранулитовыми породами аульской серии. Аллохтонные граниты представлены в Токовском массиве. Продукты ТМА разломных зон вскрыты на разных уровнях эрозионного среза этих зон и в основном представлены полиметаллической, реже – сульфосольной ассоциацией.

Ингульский мегаблок на уровне эрозионного среза представлен в основном породами нижнепротерозойской ингуло-ингулецкой серии, в низах которой преобладают вулканиты спасовской свиты, а верхняя часть сложена метаосадочными углеродсодержащими флишевыми породами чечелевской свиты, среди которых устанавливаются апотуффитовые и апопепловые прослойки, что указывает на формирование миогеосинклинальных толщ ингуло-ингулецкой серии при участии процессов подводного вулканизма. Возможно, с этими процессами связано обогащение пород графитом, источником углерода которого частично могли быть глубинные металлоорганические соединения. Породы ингуло-ингулецкой серии прогрессивно метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации; в юго-западной части мегаблока нередко установлены интенсивно диафторированные фрагменты неоархейских пород бугской серии, развитых в Белоцерковско-Одесской МШЗ.

В Ингульском мегаблоке проявлены как приразломные, так и региональные процессы гранитизации и процессы ТМА, продукты которых представлены колчеданной и полиметаллической ассоциациями.

Аллохтонные гранитоиды Ингульского мегаблока сосредоточены в Корсунь-Новомиргородском (менее эродированном) и Новоукраинском (более эродированном) массивах.

Приазовский мегаблок разделен Центрально-Приазовской шовной зоной на два блока второго порядка. В Западном блоке вскрыты фрагменты раннеархейского фундамента, представленные породами гранулитовой фации западно-приазовской серии и развитыми по ним эндербитами. Эти фрагменты разделены троговыми структурами, выполненными неоархей-нижнепротерозойскими метаморфическими и ультраметаморфическими породами.

Магматические образования сосредоточены в Октябрьском и Володарском массивах, сложенных ультраосновными и щелочными комплексами среднепротерозойских пород. В Восточном блоке щелочные ультраосновные породы сосредоточены в Кальчикском массиве девонского возраста.

Наиболее сложное коровое и подкоровое строение характерно для МШЗ, развившихся в более нестабильных геодинамических условиях неоархейской делимости коры УЩ.

Наиболее изученной является *Белоцерковско-Одесская МШЗ*, имеющая наибольший уровень эрозионного среза. Белоцерковско-Одесская зона ограничена долгоживущими субмеридиональными разломами. Внутреннее её строение складчато-блоковое, обусловленное наличием разновеликих выступов палеоархейского фундамента Подольского мегаблока, разделённых приразломно-троговыми структурами, выполненными комплексом вулканогенно-осадочных (кальцифиров, метаультрабазитов, метаосадочных алюмо-кремнистых и железисто-кремнистых) неоархейских пород бугской серии, метаморфизованных в гранулитовой фации. Под влиянием процессов ультраметаморфизма, проявленных в Ингульском мегаблоке, породы Белоцерковско-Одесской МШЗ также интенсивно гранитизированы.

Интересны процессы, протекавшие в породах выступов палеоархейского фундамента. Незначительные по размерам фрагменты фундамента полностью диафторированы и гранитизированы. Более крупные фрагменты (выступы), нередко слагающие валы, ограничены разнонаправленными разломами. Периферия таких выступов сложена диафторированными породами палеоархейского фундамента, образованными по ним грубополосчатыми мигматитами, агматитами; среди этих пород нередко присутствуют соскладчатые тела метаультрабазитов, флюидизитов, связанных с разломами, ограничивающими эти выступы. Характерно присутствие в периферической части выступов графитосодержащих гнейсов, источником углерода которых могли быть углеводородные флюиды, проникавшие в породы бугской серии по глубинным разломам. Аллохтонные гранитоиды Белоцерковско-Одесской шовной зоны представлены Уманским плутоном.

В связи с достаточно глубоким уровнем эрозионного среза продукты ТМА представлены редкометальной, реже – колчеданной ассоциацией глубинного флюидного потока.

Ингулецко-Криворожская МШЗ, вероятно, эродирована менее Белоцерковско-Одесской; фрагменты палеопротерозойского фундамента в ней очень сильно изменены, разделены троговыми структурами, выполненными породами амфиболитовой фации и гранито-гнейсовыми куполами, возможно, представляющими собой регенерированные, интенсивно гранитизированные фрагменты выступов палеоархейского фундамента. Гранитизация пород этих выступов, возможно, обусловлена разгрузкой в условиях

растяжения тех водно-углекислых флюидов, которые мигрировали из прогрессивно метаморфизируемых в условиях сжатия нижнепротерозойских пород.

Орехово-Павлоградская межблоковая шовная зона наименее изучена; по строению и уровню эрозионного среза она, вероятно, сопоставима с Белоцерковско-Одесской зоной.

Таким образом, разнообразие пород мегаблоков и МШЗ и последовательных процессов их формирования позволяют проанализировать те из них, которые с наибольшей вероятностью обусловили миграцию и концентрацию золота, т.е. его металлогению в пределах УЩ.

Золото в процессах образования кристаллических пород

Длительное формирование кристаллических пород Украинского щита обусловлено такими последовательными процессами: седиментогенезом, катагенезом, прогрессивным метаморфизмом, диафторезом, ультраметаморфизмом, тектоно-магматической активизацией. Формирование пород в результате конкретных процессов определило кларковые содержания в них золота. Кларк золота в земной коре составляет (в %): $5,34 \cdot 10^{-8} \div 4,3 \cdot 10^{-7}$; в гидросфере – в пресных водах $3,0 \cdot 10^{-9}$, в морских зависит от солёности ($5,0 \cdot 10^{-9}$; $1,3 \cdot 10^{-7}$; $5,0 \cdot 10^{-6}$). В осадочных породах составляет $1,79 \div 4,57 \cdot 10^{-7}$. В изверженных породах – $3,57 \cdot 10^{-7}$, в том числе, в зависимости от их основности, образует ряд (от большего к меньшему): кислые → средние → основные → ультраосновные [2]. В богатых месторождениях концентрация золота достигает $10^{-3} \div 10^{-2}\%$.

Процессы седиментогенеза. Содержания золота определяются положением конкретных разностей пород на седиментогенном профиле бассейна седиментации, его солёностью, степенью окисленности вод, климатическими условиями, возможным влиянием процессов магматизма, в частности, подтока в бассейн седиментации глубинных компонентов.

При седиментогенезе золото концентрируется в карбонатно-глинистых осадках, обогащенных углеродом, железисто-кремнистых осадках закисной фации; сорбируется осадками, обогащёнными оксидами марганца и железа. Обогащение золотом отмечено для каустобиолитов, фосфоритов, бокситов. Кластогенное золото накапливается в терригенных породах, образующихся вблизи латеритных кор выветривания кристаллических пород, обогащённых золотом.

Отмеченные особенности возможной концентрации золота характерны для фанерозойских и современных осадков. Использование этих закономерностей литогенеза в докембрии возможно с учётом принципа актуализма.

Процессы вулканизма. Эти процессы, игравшие главную роль при накоплении вулканитов в рифтовых структурах, частично имели значение и при накоплении осадков в миогеосинклинальных бассейнах.

Концентрация золота в вулканитах определялась их основностью и убывала от кислых (риолитов) до основных (диабазов) и ультраосновных (коматиитов).

В осадочных породах концентрация золота может быть обусловлена наличием в них пеплового, туффитового материала, на что указывает повышенное содержание в них Ni, Co, Cr, V, Ti, As, S. Большое значение в перераспределении золота могут иметь процессы кислотного выщелачивания, пропицитизации и березитизации вулканитов уже в бассейнах седиментации под влиянием постмагматических, обогащенных металлами, углеводородных флюидов. Возможно, образование черносланцевых пород опосредованно связано с процессами вулканизма и подводными металлоносными экзгаляциями, которые смешивались с ювенильными водами.

Процессы литификации определили в основном унаследованность кристаллическими породами первичных содержаний золота в их протолитах, что не исключает их изменения в процессах диагенеза и катагенеза. При диагенезе и катагенезе на растворимость и миграцию золота влияло содержание в коровых водах серы, фтора, хлора, органических кислот, оксидов марганца и железа.

Общая закономерность отражает наиболее низкие содержания золота в известковых породах, повышенные – в углеродсодержащих осадках и пиритоносных базитах, где золото концентрируется в основном в сингенетических пиритах (30-80 мг/т). В известняках содержание золота (мг/т) – 1-1,5; в углистых сланцах – 2-5; углистых пиритоносных песчаниках – 4-8; в основных эффузивах – 2-5; в хлорит-серицитовых ортосланцах – 2-3.

Процессы регионального метаморфизма и диафтореза. Избирательная приуроченность минерализации золота к породам зеленосланцевой фации отмечалась А.В. Обручевым, Д.С. Коржинским, Я.Н. Белевцевым, Н.Г. Судовиковым. Такая закономерность отражает распределение золота, унаследованное в слабометаморфизованных породах от его содержания в пара-и ортопротолитах, а также привнос его в зеленосланцевые породы из зон более интенсивного метаморфизма, где золото выщелачивается под влиянием метаморфогенных флюидов. Фильтрация метаморфогенных флюидов, обогащённых

рудними компонентами, из зон интенсивного в зоны слабого метаморфизма в складчатых структурах происходила диффузионным путём. Это обеспечивало длительное взаимодействие флюидов с вмещающими породами. В тектонизированных зонах метаморфогенные флюиды смешивались с глубинными флюидами и перемещались инфильтрационным путём, что обусловило образование рудных ассоциаций, состав которых зависит от глубины их формирования.

Концентрация золота определяется минеральным составом пород разной степени метаморфизма, в частности, количеством таких тёмноцветных минералов, как Fe-биотит и амфибол. Основными концентраторами золота являются сульфиды железа. В слабо метаморфизованных породах преобладают сингенетические пирит и арсенопирит. По мере усиления степени метаморфизма возрастает роль пирротина и пробность золота (от 720 в низкотемпературных до 883 – в высокотемпературных). В породах эпидот-амфиболитовой фации с пиритом ассоциируют галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды. По мере усиления метаморфизма в породах уменьшается содержание золота (Таблица 1). Уменьшается также количество сульфидов полиметаллической ассоциации и общее количество CO₂, K, P, S, Cl, что влияет на состав метаморфогенных флюидов и миграцию золота.

Таблица 1. Кларковые содержания золота в породах различной степени метаморфизма, мг/т. (По данным [2])

Породы	Зоны метаморфизма		
	Зеленосланцевая	Эпидот-амфиболитовая	Дистен-ставролитовая
Алевросланцы	3,2(33)	2,6(68)	1,4(28)
Алеврофиллиты	4,3(61)	5,8(82)	2,5(34)
Алевролиты	6,9(16)	5,2(51)	1,9(17)
Песчаники	3,2(53)	3,1(27)	2,5(20)

Примечание: По данным спектрохимического анализа. В скобках – число анализов.

Возрастает температура кристаллизации жильного кварца от 250-350°C – в зелёносланцевой фации до 450-500°C – в амфиболитовой фации [2]. Содержание золота в кварцевых жилах в зелёносланцевой фации составляет (в мг/т) 3,5-25,0, в пирротине 30-500; в амфиболитовой – 2,0 и 10 соответственно.

Миграция золота начинается в условиях амфиболитовой фации (при T > 470-500°), что обусловлено повышенной кислотностью метаморфогенных флюидов и способствует растворению золота. Наиболее легко золото выносится из пирита (в сингенетичном пирите зелёносланцевой фации Au_{ср.}=66мг/т; в метаморфогенном пирите амфиболитовой фации

$Au_{\text{ср.}} = 10 \text{ мг/т}$). Золото из слюд, магнетитов, амфиболов выносится слабее. Миграция золота зависит от состава пород. Особенно интенсивно при метаморфизме золото выносится из основных и ультраосновных вулканитов, а также из углеродистых сланцев. Флюиды углеродсодержащих пород содержат $C_{\text{св.}}$, F, Cl, B, As, что способствует растворению сингенетического золота и миграции его в виде металлоорганических соединений.

Максимальная золотоносность присуща заключительным фазам регрессивного этапа метаморфизма и особенно этапу тектоно-термальной активизации, наиболее проявленный в центральной части разломов и узлах их пересечения. Характер оруденения зависит от глубины заложения разломов и уровня их эрозионного среза: в условиях гранулитовой фации – это проявление редкоземельных пегматитов, в амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой – редкоземельно-редкометалльные метасоматиты; в зеленосланцевой – золотосодержащее полиметаллическое оруденение.

Увеличение содержания золота характерно для зон и участков диафтореза, приуроченных, например, к периферическим частям гранулитовых выступов (глыб, валов) палеоархейского фундамента среди гранитизированных пород амфиболитовой фации в межблоковых шовных зонах. В этих диафторитах золото ассоциирует с редкими землями, торием, вольфрамом, молибденом, теллуром. Возможно, с диафторическими процессами связано накопление золота также в периферических частях гранито-гнейсовых куполов, содержащих гранитизированные и диафторированные реликты архейского фундамента, сложенные породами гранулитовой фации. Здесь золото ассоциирует с Sn, W, Mo. Привнос CO_2 , S, As, Au, полиметаллов происходил ещё на этапе накопления протолитов метаморфических пород из подводных гидротерм и эксгаляций, а также ювенильных вод. Затем из метаморфических и ультраметаморфических высокотемпературных флюидов, которые перемещались в зоны слабого метаморфизма, где были наиболее благоприятные условия для отложения золота ($T=200-450^\circ\text{C}$, $P_{\text{общ.}}=100-300 \text{ МПа}$), происходил привнос H_2O , CO_2 , S, As, Au.

Процессы регионального ультраметаморфизма

Среднее содержание золота во всех продуктах ультраметаморфической гранитизации существенно ниже, чем в исходных метаморфических породах; при региональной гранитизации выносится 50-70% золота от содержания его в исходных метаморфических породах. В среднем из 1 км^3 кристаллических пород при гранитизации выносится 3,3 т золота, что обеспечивает запасы нескольких месторождений [2].

Гранитоиды центральных частей гранито-гнейсовых куполов, как правило, не золотоносны, также как граниты аллохтонных интрузивных массивов. Незначительное накопление золота наблюдается лишь в наиболее поздних разностях аллохтонных гранитов, обогащённых летучими компонентами (F, В, As, S, H₂O). Золотооруденение докембрийских щитов не проявляет генетической связи с гранитоидным и дайковым магматизмом, т.к. золото выносится из метаморфических и ультраметаморфических пород ещё до появления в них расплава.

Таблица 2. Среднее содержание золота в продуктах палингенно-метасоматической гранитизации и в исходных метаморфических породах, мг/т. (По данным [2])

Породы	Содержание золота, мг/т
Кристаллосланцы и гнейсы амфиболитовой фации	3,59 [*] (206)-3,78 ^{**} (365)
Мигматиты по гнейсам амфиболитовой фации	2,11 [*] (84)-2,80 ^{**} (107)
Палингенные граниты	2,24 [*] (297)-2,47 ^{**} (465)
Пегматиты	1,60 [*] (83)-2,10 ^{**} (42)

Примечание: * – данные спектрохимического анализа; ** – данные нейтронно-активационного анализа. В скобках-число анализов

Таким образом, источники флюидов и золота являются гетерогенными (коровые и глубинные). Анализ совокупности рассмотренных факторов возможного накопления и концентрации золота является основанием относить золоторуденение Украинского кристаллического щита к метаморфогенно-пневматолито-гидротермальному классу месторождений. Месторождения этого класса установлены на многих докембрийских щитах: Австралийском (Калгурли, Калгорди); Индийском (Колар, Хатти, Рамагири); Бразильском (Мору-Велью), Канадском (Поркьюпайн), Африканском (Голден, Валли, Феникс).

Ниже рассмотрены основные типы золоторудных месторождений Украинского щита. Их типизация зависит от геодинамических условий мегаструктур УЩ и сочетания в этих структурах наиболее вероятных факторов концентрации золота. Анализ материалов по конкретным месторождениям золота, сформировавшимся в геодинамической обстановке разных мегаструктур УЩ, позволяет предположить источники золота, установить возможную последовательность процессов золотонакопления, выявить основные из них, объяснить разнотипность этих месторождений, установить их поисковые признаки.

Основные типы золоторудных месторождений Украинского щита.

Исходя из особенностей геологического строения и условий образования, можно дать оценку последовательности процессов золотонакопления при формировании конкретных разнотипных месторождений золота основных мегаструктур Украинского щита (УЩ).

Среднеприднепровский мегаблок

В данном мегаблоке, представляющем собою гранит-зеленокаменную область, выявлены и детально описаны золоторудные месторождения: Балка Широкая – в Чертомлыкской зеленокаменной структуре, Сергеевское и Балка Золотая – в Сурской зеленокаменной структуре [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Месторождения локализованы в вулканогенно-осадочных породах, подвергшихся прогрессивному метаморфизму эпидот-амфиболитовой фации и последующим процессам интенсивной тектоно-магматической активизации (ТМА).

Вулканогенные породы представлены кислыми, основными, реже – ультраосновными разностями (риолиты, дациты, диабазы, коматииты); вулканогенно-осадочные – туффитами, туфопесчаниками, граувакками; осадочные – железисто-кремнистыми и терригенно-хемогенными продуктами. Количественные соотношения этих пород несколько отличаются в конкретных месторождениях. С наибольшей вероятностью первичными источниками золота являлись вулканиты кислого состава, закисные железисто-кремнистые, в меньшей мере – терригенно-хемогенные осадки. Незначительный привнос золота был возможен в породы фации зеленых сланцев из зон более интенсивного метаморфизма.

Наиболее ранними этапами золотонакопления были поствулканические процессы пропилитизации, лиственитизации, березитизации вулканитов и литификации осадков, а затем – процессы прогрессивного метаморфизма. Эти процессы обусловили собирательную перекристаллизацию золота с образованием стратиформных линзовидных залежей золотосодержащих колчеданных руд. Руды малокварцевые, сульфидсодержащие слабозолотоносные, содержание золота в которых обычно не превышает 1-3 г/т. Самородное золото дисперсное, в виде эмульсионной вкрапленности преимущественно в пирите; в рудах присутствуют также марказит, халькопирит; установлена корреляция золота с висмутом и мышьяком – типичными элементами вулканических эксгальций. Физико-химические условия стадий ранних этапов золотонакопления детально описаны в статьях [4, 7, 8]. Время формирования этих этапов находится в интервале 3200-3160 млн. лет, что определяется связью колчеданных руд с позднеархейской конкской серией.

Генетически руды колчеданного типа являются осадочно-вулканогенными метаморфизованными, характерными именно для докембрийских щитов. Как самостоятельный промышленный тип золотого оруденения колчеданные руды малоперспективны, но могут иметь значение в качестве источника золота в переотложенных рудах.

По времени формирования с колчеданными рудами соотносятся медно-молибденовые порфириновые руды Сергеевского месторождения Сурской структуры, изотопный возраст которых определён как 3128 млн. лет [4]. Генетически они связаны со становлением малых интрузий гранитоидных пород в составе конкской серии. Характерной формой рудных тел является линейные штокверковые зоны, относимые к кварцевому (с халькопиритом, молибденитом и самородным золотом) парагенезису. Околорудные метасоматиты формации пропицитов – вторичных кварцитов сольфатарно-фумарольного происхождения. Этот тип руд, как и колчеданный, мы относим к вулканогенному метаморфизованному. Роль медно-молибденовых руд в общем балансе золотого оруденения также невысока.

К *позднему этапу* золотонакопления отнесены процессы тектоно-магматической активизации разломных зон, с образованием жильных и штокверковых золото-кварцевых богатых руд, сопровождаемых ореолами околорудных кварц-карбонат-хлорит-серицитовых и кварц-амфиболовых метасоматитов с сульфидной вкрапленностью. Формирование золото-кварцевых руд осуществлялось в диапазоне от 3000 до 2550 млн. лет [4].

Самородное золото образует как вроски в сульфидах железа, так и самостоятельную вкрапленность в кварце. В ассоциации с золотом находятся герсдорфит, галенит, сфалерит, арсенопирит; редко – сульфосоли цинка, висмута, серебра, телуриды золота. В околорудных метасоматитах повышено содержание лития, сурьмы, отмечены турмалин и шеелит. Состав примесей, ассоциирующих с золотом, зависит от степени эродированности гидротермально-пневматолитовых продуктов полиметаллической и сульфосольных стадий в зонах разломов [9]. Содержание золота в рудах неравномерное – от долей до 100 г/т, самородное золото как низкопробное вплоть до электрума, так и высокопробное.

Вероятными источниками золота и полиметаллов на втором этапе были глубинные флюиды; часть золота могла заимствоваться из вмещающих пород и более ранних колчеданных руд. Физико-химические условия разных стадий основного рудогенного этапа золотонакопления (T , $P_{\text{общ}}$, состав флюидной фазы) освещены в статьях [4, 7, 8].

В соответствии с этими данными золото-кварцевый тип относится к средне-малоглубинному, метаморфогенно-гидротермальному, имеющему черты сходства с фанерозойскими месторождениями золота подвижных зон.

Ингульский мегаблок

В Ингульском мегаблоке установлены Клинецовское и Юрьевское месторождения золота и ряд золотопроявлений, приуроченных к Приингульской зоне смятия. Наблюдается

также приуроченность некоторых золотопроявлений к периферии гранито-гнейсовых куполов, вероятно, представляющих собой гранитизированные фрагменты архейского фундамента. Особенности геологического строения и физико-химические условия образования описаны в целом ряде работ [8, 10, 11]. Месторождения локализованы в породах чечелевской свиты ингуло-ингулецкой серии, метаморфизованных в амфиболитовой фации, интенсивно гранитизированных и измененных в зонах ТМА.

Исходя из имеющихся материалов, золотонакопление этих месторождений было обусловлено последовательными пороодообразующими процессами и осуществлялось в такие основные этапы и стадии.

Наиболее ранний фиксируемый этап золотонакопления обусловлен процессом накопления песчано-глинистого флиша с существенной мергелистой составляющей. Для этого этапа характерно резкое глобальное изменение условий седиментогенеза, изменение состава атмосферы до существенно кислородного, соответственно – увеличение количества органики и широкое развитие сульфатредуцирующих бактерий. Седиментогенез осуществлялся в восстановительных условиях в полуизолированных и изолированных бассейнах лагунного типа с доступом сульфатных вод и обилием органики.

В условиях такого своеобразного литогенеза золото накапливалось в илах, обогащенных органикой, частично в прибрежных терригенно-кластогенных осадках вблизи выступов раздробленного архейского фундамента.

Региональный метаморфизм золотосодержащих флишевых пород привел к образованию мощных толщ гнейсов, содержащих графит, сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит), обогащенных золотом, ураном, ванадием, кобальтом, торием. Время накопления золотосодержащих флишевых толщ, судя по цирконам, составляет 2500-2300 млн. лет. Наличие золотоносных метаморфических толщ обусловило перераспределение золота при их гранитизации и постультраметаморфических (пневматолито-гидротермальных процессах) *основного этапа* золотонакопления. Физико-химические условия этих процессов детально описаны в работах [10, 12].

Относительно источников золота существует ряд мнений, отличие которых заключается в оценке коровой и глубинной составляющей, в частности, внедрения гранитоидов Новоукраинского массива, возможно, ультрабазитов, процессов флюидизации. Концентрация золота в гнейсах обусловлена унаследованностью его содержания в песчано-мергелистых и терригенных протолитах, а затем их ультраметаморфических аналогах.

Возможную концентрацию золота можно отметить при процессах скарнообразования, в контактах мергелей и ультрабазитах с кремнеземсодержащими породами, кремнекалиевого метасоматоза и процессах диафтореза пород архейского фундамента под влиянием метаморфизма и гранитизации раннепротерозойских пород. Заключительной стадией этого этапа являлось образование золото-кварцевых жильных парагенезисов, которое сопровождалось промышленной концентрацией золота до 5 г/т.

Время основного этапа золотонакопления Юрьевского месторождения, определенное по свинцово-изотопным соотношениям в галените, составляет ~ 2 млрд. лет [10]. Незначительное перераспределение золота, возможно, продолжалось в зонах тектоно-магматической активизации вплоть до пермо-триаса [8].

Белоцерковско-Одесская межблоковая шовная зона

В Белоцерковско-Одесской межблоковой шовной зоне установлены Майское месторождение золота и целый ряд рудопроявлений (Бакшинское, Богдановское, Полянецкое, Савранское, Восточно-Капустянское, Чемеркольское, Капитанское) в Побужском районе на юго-востоке зоны. Детальное описание геологического строения и физико-химических условий образования Майского месторождения приведены в работах [8, 13, 14].

Майское месторождение приурочено к флексурной складке между небольшими массивами турмалинсодержащих аплитно-пегматоидных лейкократовых гранитов. Рудовмещающие породы бугской серии представлены в основном биотитовыми гнейсами, также кристаллосланцами, амфиболитами; встречены прослои кальцифиров и тела ультраметабазитов, в контактах которых с кремнеземсодержащими породами находятся скарны. Породы прогрессивно метаморфизованы в гранулитовой фации, интенсивно гранитизированы. В толще пород неорархейской бугской серии присутствуют интенсивно диафторированные фрагменты палеорархейского фундамента.

Наиболее ранний этап золотонакопления фиксируется в сульфидсодержащих гранат-пироксеновых скарнах со шпинелью и кордиеритом, силлиманитсодержащих высокоглиноземистых метасоматитах с сульфидами железа. Продукты этого этапа на Майском месторождении сильно изменены под влиянием последующих процессов ультраметаморфизма и тектоно-магматической активизации. Продукты этого этапа развиты и хорошо изучены на Капитанском рудопроявлении [15]. Золотооруденение этого этапа отнесено к золото-силикатному метаморфогенному классу.

Основной рудогенный этап золотонакопления обусловлен постгранитизационными процессами в гнейсах бугской серии с образованием биотит-кварц-олигоклазовых микроклинизированных и мусковитизированных метасоматитов и вторичных кварцитов. Самородное золото ассоциирует с висмутом, молибденом, теллуrom, таллием, серебром. Физико-химические условия детально рассмотрены в работах [8, 14,]. В рудах отмечены апатит, циркон, турмалин, ильменит, шеелит, ксенотим, монацит.

Время формирования золотооруденения основного этапа в интервале 2-1,6 млрд. лет [16]. Физико-химические параметры отвечают среднеглубинным условиям формирования золотооруденения. Источником золота на этом этапе являлись скарновые руды более раннего этапа; возможно также диафторированные породы выступов палеоархея. Главный источник обусловлен глубинными флюидами, на что указывает присутствие метана и азота в газовой жидких включениях руд [8]. Оруденение Майского месторождения, исходя из обусловивших его пороодообразующих процессов, относится к многоэтапному метаморфогенно гидротермальному классу.

Выводы

Отличительной особенностью золоторудных месторождений докембрийских щитов и, в том числе, Украинского кристаллического щита является длительность, многоэтапность и многостадийность их формирования.

– Ранний этап золотонакопления является предрудным, обусловленным привносом золота в вулканогенно-осадочных процессах, унаследованием его содержания в метаморфических аналогах пара- и ортопород и лишь некоторым незначительным золотонакоплением в скарнах и диафторитах с образованием метаморфогенных руд.

– Собственно рудный этап обусловлен постгранитизационными метасоматическими процессами тектоно-магматической активизации с образованием жильных и штокверковых гидротермально-метаморфогенных золото-кварцевых руд.

– Типы месторождений зависят от геодинамики развития и уровня эрозионного среза конкретных мегаструктур, интенсивности и глубинности процессов ТМА.

В Приднепровском блоке вскрыты месторождения, образование которых обусловлено вулканогенными и поствулканическими процессами и низкотемпературным метаморфизмом, возможно, привносом некоторой доли золота из зон более интенсивного метаморфизма. Заключительные этапы золотонакопления связаны с процессами ТМА, образованием золото-кварцевых руд, минеральный состав которых отражает уровень эродированности

тектонизированных зон, вскрывших продукты колчеданной, полиметаллической, реже – сульфосольной стадий пневматолито-гидротермального процесса.

В Ингульском блоке на уровне эрозионного среза вскрыты месторождения, образование которых обусловлено процессами накопления золотосодержащего флиша с последующей концентрацией золота в кварцевых рудах при постмагматических процессах и процессах платформенной активизации.

В Белоцерковско-Одесской межблоковой шовной зоне на уровне эрозионного среза вскрыты месторождения, образование которых обусловлено первичным привносом золота в осадочно-вулканогенных процессах и ранним этапом его незначительной концентрации в скарнах и диафоритах, при метаморфизме гранулитовой фации. Формирование руд обусловлено последующим основным золотонакоплением в постгранитизационных метасоматитах, аплит-пегматоидных гранитах и продуктах ТМА, представленных редкометальной, колчеданной, реже – полиметаллической стадией.

В качестве региональных прогнозно-поисковых признаков разнотипных месторождений золота, приуроченных к разным мегаблокам и межблоковым шовным зонам, являются площади и участки интенсивного проявления золотонакопления разноэтапных метаморфических, ультраметаморфических и пневматолито-гидротермальных процессов.

В Приднепровском мегаблоке – это осадочно-вулканогенные толщи, повергшиеся поствулканическим процессам пропилитизации, беризитизации, сульфидизации, метаморфизованные в эпидот-амфиболитовой фации. Основными региональными прогнозно-поисковыми критериями медно-молибденовых порфировых руд являются распространение в пределах изученных площадей субвулканических даек и штоков метадацит-порфиров и плагиогранит-порфиров, относимых к солёновской свите позднего архея, а также степень метасоматического изменения (кварц-альбит-слюдистого) указанных пород. К локальным признакам относятся шпировые линзовидные обособления сульфидов железа, вкрапленность самородного висмута и сульфосолей, имеющих вулканогенную природу, а также проявления кварцевой прожилково-вкрапленной минерализации с халькопиритом и ренийсодержащим молибденитом.

В Ингульском мегаблоке региональный поисковый признак – площади развития графит-биотитовых гнейсов амфиболитовой фации, протолитами которых являлись флишевые осадки песчано-мергелистого типа, подвергшиеся метасоматическим ультраметаморфическим процессам. К локальным прогнозным признакам относятся:

тектонизированные контакты пегматоидов и флюидизитовых кварцевых жил с гнейсами, участки проявления гумбеитов и полевошпат-кварцевых метасоматитов.

В Белоцерковско-Одесской межблоковой зоне региональным поисковым признаком являются межглыбовые троговые структуры, выполненные осадочно-вулканогенными гранулитовыми породами бугской серии. К локальным признакам относятся магнезиальные скарны контактов метаультрабазитов и кальцифиров с кремнеземсодержащими породами и кварц-слюдисто-полевошпатовые и существенно кварцевые постультраметаморфические метасоматиты в гнейсах и диафориты по породам фрагментов палеоархейского фундамента.

Региональным признаком для всех типов месторождений являются участки развития продуктов ТМА, минеральный состав которых зависит от разного уровня эрозионного среза зон разломов: менее глубинного – в Приднепровском мегаблоке (полиметаллическая и сульфосольная стадия), среднеглубинного – в Ингульском мегаблоке и наиболее глубинного – в Белоцерковско-Одесской межблоковой шовной зоне (редкометальная и колчеданная стадии).

Руды УЩ относятся к классу метаморфогенно-гидротермальных. Начальные этапы образования бедных руд протекают в условиях диффузионной фильтрации диагенетических, поствулканических и метаморфогенных флюидов; руды основного продуктивного этапа формируются в условиях инфильтрационного потока пневмолито-гидротермальных флюидов с использованием более ранних концентраций золота (рециклингом), возможно в виде металлоорганических соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белевцев Я.Н.* Метаморфогенное рудообразование. – М.: Недра. – 1979. – С. 275.
2. *Буряк В.А.* Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра. – 1982. – С.256.
3. *Монахов В.С., Синицын В.А., Фомин Ю.А. и др.* Золотоносные кварц-карбонат-амфиболовые метасоматиты зеленокаменных структур докембрия Среднего Приднепровья // Геол. журнал, 1994, №3. – С.65-76.
4. *Monakhov V.S., Sukach V.V., Kostenko O.V., Malykh M.M.* Gold-bearing factors of the Middle Dnieper granite-greenstone Area of Ukrainian Shield (for Sursk greenstone structure) // Минерал. журн. – 1999. – 21. – № 4. – С. 20-31.
5. *Коваль В.Б., Коптюх Ю.М., Ярошук М.А., Фомин Ю.А., Лапуста В.Ф.* Золоторудные месторождения Украинского щита (Украина) // Геол. рудных месторождений, 1997, №3. – С.229-246.

6. Яроцук М.А., Фомин Ю.А., Кравченко Г.Л., Вайло А.В. Минералого-геохимические типы руд золота месторождений УЩ // Зб. наук. праць Держ. наук. центру радіогеохімії навколишнього середовища, 2000, Вип.2. – С. 93-137.
7. Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Лазаренко Е.Е. Генетические типы золотого оруденения архейских зеленокаменных структур УЩ // Мин. журнал, 2003, – 25 – №1. – С.95-103.
8. Бобров О.Б., Сиворонов А.О., Гурський Д.С. Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України. – Сб. Укр. ДГРЗ. – 2004. – 368 с.
9. Таусон Л.В., Гундобин Г.М., Зорина Л.Д. Геохимические поля рудно-магматических систем // Новосибирск : Наука, 1987, 200 с.
10. Фомин Ю.А. Восточно-Юрьевское месторождение золота // Мин. журнал, 1999 – 21 – №4. – С.32-44.
11. Заборовская Л.П., Фомин Ю.А., Покалюк В.В., Сливинский В.М. Минералого-геохимические особенности золотого оруденения Юрьевского месторождения (Украинский щит, Ингульский мегаблок). Сб. научных трудов ИГОС НАНУ, 2016. – Вып. 26. – С. 141-155.
12. Попівняк І.В., Ніколенко А.Є., Пізнюр А.В. та ін. Фізико-хімічні умови та послідовність формування руд Східно-Юріївського родовища. Мінерал. зб. Львів. ун-ту. – 1995. – №48, вип.1. – С. 84-98.
13. Яроцук М.А., Дудар Т.В., Заборовская Л.П. Золотосодержащая минерализация Майского рудопроявления Побужского района УЩ // Геол. журнал, 1994, №3. – С.50-55.
14. Яроцук М.А., Вайло А.В. Савранское золоторудное поле Голованевской гнейсо-гранулитовой зоны УЩ. – Киев. – 1998. – 64 с.
15. Яроцук М.А., Мельничук О.В., Горяинов С.В., Вайло А.В. Структурно-вещественный контроль золотоорудения на Капитанском рудопроявлении Побужского района // Мин. журнал, 1995, №2. – С.29-33.
16. Нечаев С.В. Новое рудопроявление золота в Побужье. // Геол. журнал, 1992, №4. – С.129-132.

REFERENCES

1. Ya. Belevtsev Metamorfogennoe rudoobrazovanie. [Metamorphogenic ore formation]. / М.: Nedra. – 1979. – S. 275 [in Russian].
2. V. Buryak Metamorfizm i rudoobrazovanie. [Metamorphism and ore formation] / М.: Nedra. – 1982. – S.256 [in Russian].

3. V. Monakhov, V. Sinitsin, Yu. Fomin Zolotonosnie kvarts-karbonat-amfibolovie metasomatiti zelenokamennih struktur dokembriya Srednego Pridneprov'ya [Gold-bearing quartz-carbonate-amphibole metasomatites of greenstone structures of the Precambrian of the Middle Dnieper] / Geol. zhurnal, 1994, №3. – S.65-76 [in Russian].
4. V. Monakhov., V. Sukach., O. Kostenko., M. Malykh. Gold-bearing factors of the Middle Dnieper granite-greenstone Area of Ukrainian Shield (for Sursk greenstone structure) / Минерал. журн. – 1999. – 21. – № 4. – С. 20-31 [in English].
5. V. Koval, Yu. Koptyuh, M. Yaroshuk, Yu. Fomin, V. Lapusta. Zolotorudnie mestorozhdeniya Ukrainського shchita (Ukraine) [Gold ore deposits of the Ukrainian Shield (Ukraine)] / Geol. rudnih mestorozhdeniy, 1997, №3. – S.229-246 [in Russian].
6. M. Yaroshuk, Yu. Fomin, G. Kravchenko, A. Vaylo. Mineralogo-geohimicheskie tipi rud zolota mestorozhdeniy Ukrainського sch'ita [Mineralogical and geochemical types of ores of gold deposits of the Ukrainian Shield] / Zb. nauk. practs Derzh. nauk. centru radiogeohimii navkolishnogo seredovischa, 2000, Vip.2. – S. 93-137 [in Russian].
7. Yu. Fomin, Yu Demihov, E. Lazarenko. Geneticheskie tipi zolotogo orudneniya arheyskih zelenokamennih struktur Ukrainського sch'ita [Genetic types of gold mineralization of Archaean greenstone structures of the Ukrainian shield] / Min. zhurnal, 2003, – 25 – №1. – S.95-103 [in Russian].
8. O. Bobrov, A. Sivoronov, D. Gurs'kiy. Geologo-genetichna tipizaciya zolotorudnih rodovisch Ukraïny. [Geological and genetic typification of gold deposits of Ukraine] / Sb. Ukr. DGRZ. – 2004. – 368 s [in Ukrainian].
9. L. Tauson, G. Gundobin, L. Zorina. Geohimicheskie polya rudno-magmaticeskikh sistem [Geochemical fields of ore-magmatic systems] / Novosibirsk : Nauka, 1987, 200 s. [in Russian]
10. Yu. Fomin. Vostochno-Yur'evskoe mestorozhdenie zolota [East Yurievskoye gold deposit] / Min. zhurnal, 1999 – 21 – №4. – S.32-44 [in Russian].
11. L. Zaborovskaya, Yu. Fomin, V. Pokalyuk, V. Slivinskiy. Mineralogo-geohimicheskie osobennosti zolotogo orudneniya Yur'evskogo mestorozhdeniya (Ukrainiskiy schit, Ingul'skiy megablok). [Mineralogical and geochemical features of gold mineralization of the Yuryevsky deposit (Ukrainian Shield, Ingul Megablock)] Sb. nauchnih trudov IGOS NANU, 2016. – Vip. 26. – S. 141-155 [in Russian].
12. I. Popivnyak, A. Nikolenko, A. Piznyur ta in. Fiziko-himichni umovi ta poslidovnist formuvannya rud Shidno-Yuriïvskogo rodovischa.[Physico-chemical conditions and sequence of

formation of ores of the East Yurievskoe deposit] / Mineral. zb. Lviv. un-tu. – 1995. – №48, vip.1. – S. 84-98 [in Ukrainian].

13. M. Yaroshchuk, T. Dudar, L.Zaborovskaya. Zolotosoderzhaschaya mineralizaciya Mayskogo rudoproyavleniya Pobuzhskogo rayona Ukrainського sch'ita [Gold-bearing mineralization of the Mayskoe deposit of the Pobuzhsky field of the Ukrainian Shield] / Geol. zhurnal, 1994, №3. – S.50-55 [in Russian].

14. M. Yaroshchuk, A. Vaylo. Savranskoe zolotorudnoe pole Golovanevskoy gneyso-granulitovoy zoni USCH. [Savran gold ore field of the Golovanevsky gneiss-granulite zone of the Ukrainian shield] / Kiev. – 1998. – 64 s [in Russian].

15. M. Yaroshchuk, O. Melnichuk, S. Goryaynov, A. Vaylo. Strukturno-veschestvenniy kontrol' zolotoorudeniya na Kapitanskom rudoproyavlenii Pobuzhskogo rayona [Structural and substantial control of gold mining at the Kapitan ore-production of the Pobuzhsky district] / Min. zhurnal, 1995, №2. – S.29-33 [in Russian].

16. S. Nechaev. Novoe rudoproyavlenie zolota v Pobuzhie. [New ore occurrence of gold in Pobuzhye] / Geol. zhurnal, 1992, №4. – S.129-132 [in Russian].

МЕТАЛОГЕНІЯ ЗОЛОТА УКРАЇНСЬКОГО КРИСТАЛІЧНОГО ЩИТА

М.О. Ярошук, Ю.О. Фомін, Л.П. Заборовська

М.О. Ярошук, д. г.-м.н., пр.н.с. ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», marina_yaroshchuk@meta.ua

Ю.О. Фомін, ст.н.с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», yaf1941@gmail.com

Л.П. Заборовська, м.н.с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», larisa-zaborovskaja@rambler.ru

Розглянуто геолого-структурні умови локалізації золоторудних родовищ, що утворилися в різній геодинамічній обстановці Придніпровського, Інгульського мегаблоків та Білоцерківсько-Одеської міжблокової шовної зони Українського щита. Надано аналіз різних геологічних процесів можливої концентрації золота при багатоступеневому формуванні Українського щита. Встановлено основні етапи утворення золоторудних родовищ різних типів: передрудний етап – метаморфогенний золото-колчеданний, обумовлений процесами седиментації, вулканізму, метаморфізму та основний рудогенний етап – золото-кварцовий, пов'язаний з ультраметаморфізмом та гідротермальними процесами тектоно-магматичної активізації. Встановлено регіональні й деякі локальні пошукові критерії різнотипних родовищ золота УЩ.

Ключові слова: металогенія золота, архей, нижній протерозой, Український щит, мегаблоки, міжблокові шовні зони, геодинамічна обстановка, рудоутворюючі процеси, родовища золота.

METALLOGENY OF THE GOLD OF THE UKRAINIAN CRYSTALLINE SHIELD

M. Yaroshchuk, Yu. Fomin, L. Zaborovskaya

© М.А. Ярошук, Ю.А. Фомин, Л.П. Заборовская МЕТАЛОГЕНІЯ ЗОЛОТА УКРАЇНСЬКОГО КРИСТАЛІЧНОГО ЩИТА

M. Yaroshchuk D.Sc. (Geol.-Min.), Senior Researcher, State Institution “Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, marina_yaroshchuk@meta.ua

Yu. Fomin., Ph.D. (Geol.), Principal Specialist, State Institution “Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, yaf1941@gmail.com

L. Zaborovskaya. Junior Researcher, State Institution “Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, larisa-zaborovskaja@rambler.ru

The geological and structural conditions of localization of the gold ore deposits formed in different geodynamic conditions of Prydniprovsky and Inguletsky megablocks, and Bilotserkivsky-Odesky inter-block suture zone of the Ukrainian Shield are considered. Various geological processes of possible gold concentration during the multi-stage formation of the Ukrainian Shield have been analyzed. The main stages of the formation of gold ore deposits of various types have been identified: the pre-ore stage is the metamorphogenic gold-pyrite one, caused by the processes of sedimentation, volcanism, metamorphism, and the main ore-bearing stage – the gold-quartz one, associated with ultrametamorphism and hydrothermal tectonic and magmatic activation processes. The regional and some local search criteria for various types of gold deposits have been established.

Key words: *gold metallogeny, archaeus, lower Proterozoic, Ukrainian shield, megablocks, interblock seam zones, geodynamic situation, ore-forming processes, gold deposits.*