

**БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В УГЛЕРОДИСТЫХ ФОРМАЦИЯХ  
(ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ ПО ВОСТОЧНЫМ РАЙОНАМ РОССИИ)**

*А.П. Сорокин, Л.В. Эйриш, В.М. Кузьминых*

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск*

Поступила в редакцию 24 ноября 2006 г.

Рассмотрена проблема связи благороднометалльной минерализации с углеродистыми породами – черными сланцами, бурыми углями. Подтверждены выводы исследователей о стадийном син- и эпиметаморфогенном генезисе золоторудных месторождений в черносланцевых толщах, син- и эпигенетическом накоплении драгметаллов в бурых углях. Предполагается, что первичный привнос золота (и платиноидов) в бурые угли Верхнего Приамурья и Приморья происходил за счет разрушения в кайнозойских окрестных рудных источников. Проблема требует дальнейшего изучения. Рекомендуется расширить научные исследования и опробовательские работы на угольных и графитовых объектах Дальнего Востока.

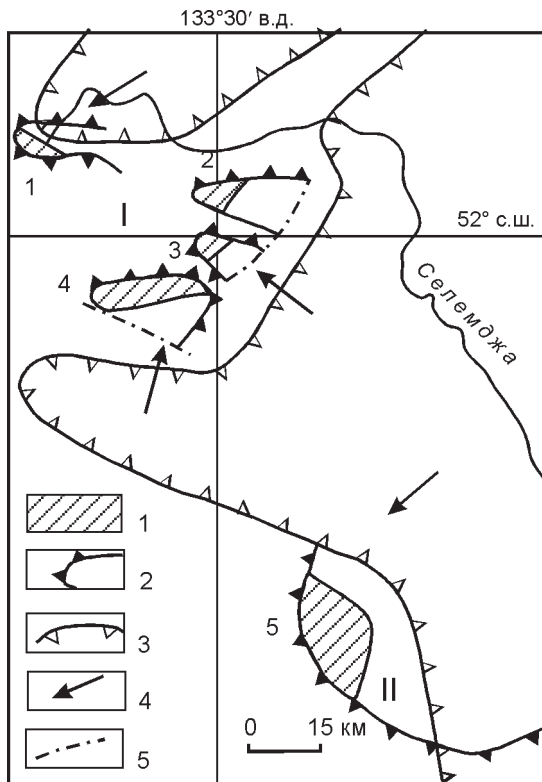
**Ключевые слова:** черные сланцы, бурый уголь, золото, платиноиды, син- и эпигенез, метаморфизм, Восток России.

**ВВЕДЕНИЕ**

В последние десятилетия все чаще публикуются материалы по золотоносности, связанной с углеродистыми породами. Термин “черносланцевые комплексы” утвердился в связи с изучением металлогении золота, в частности золоторудных месторождений, ассоциирующих с углеродистыми глинистыми сланцами, многие из которых оказались крупными и уникальными. На территории СНГ – это Мурунтау, Сухой Лог, Нагалкинское, Неждановское, Олимпиада, Бакырчик и др. Исследования показали, что большинство из них содержат повышенные (и промышленные) количества элементов платиновой группы (ЭПГ) [10, 11, 13, 14]. Недавно появились публикации о высоких содержаниях Au, ЭПГ (и редких металлов) в бурых (и каменных) углях Приморья [50–52] и Приамурья [21]. Эти открытия сулят в недалеком будущем существенное увеличение добычи благородных металлов и, что не менее важно, являются двигателем науки о металлогении золота, платиноидов и многих редких металлов, источники которых, по мнению авторитетных ученых, находятся в глубинных сферах Земли.

Ассоциация золотого оруденения с углеродистыми (графитистыми) породами была известна полвека назад и описана в литературе многими авторами. Эта особенность характерна для всех “сланце-

вых” золотоносных районов, таких как Бодайбинский, Енисейский Кряж, СВ Казахстан, Алтае-Саянская область, Колыма, Калифорния, Селемджино-Кербинское поднятие и многие другие. Все крупнейшие месторождения Северного Казахстана [32], Калбинского района [62] локализованы в кремнисто-глинистых породах, обогащенных графитом. Графит постоянно присутствует в продуктах гидротермального метаморфизма [37]. В верховьях Буреи и Нимана, в Ниманском золотоносном районе, обогащенные графитом метаморфические сланцы развиты в области периклинального замыкания куполовидной антиклинали [36]. За пределами графитовой аномалии золотоносность резко ослабевает. Аналогичная картина закартирована в Харгинском золотоносном районе, где графитизированы западные замыкания Эльгосканской и Неэрченской золотоносных куполовидных структур (рис. 1). На Токурском рудном поле графитизация широко проявлена в зальбандах рудных жил. Как и в куполовидных структурах, углерод здесь, несомненно, является переотложенным. В.Д. Мельников [33] описывает графитизацию (и шунгитизацию) как типичный для месторождения околорудный гидротермальный процесс. Приведенные данные указывают на имевшую место миграцию углерода. Скорее всего, это происходило в виде углеводородов и нефти и, в меньшей мере, при метаморфизме и гидротермальном рудообразовании [64].



**Рис. 1.** Положение углеродистых сланцев и золотоносности в куполовидных структурах Верхнеселемджинской зоны (I) (Амурская область) и Ниманского района (II) (Хабаровский край) [68].

1 – площади золотоносности и распространения углеродистых сланцев; 2 – куполовидные структуры: 1 – Челогорская, 2 – Неэргенская, 3 – Эльгоканская, 4 – Афанасьевская, 5 – Правобуреинская; 3 – Баджальско-Ямалинский минимум силы тяжести; 4 – предполагаемое направление движения флюидов; 5 – разломы.

Многие авторы отмечали, что в пределах золоторудных столбов Алтае-Саянской области и Енисейского Кряжа ореолы графитизации значительно шире, чем на участках убогого содержания, а мощность околорудной графитизации достигает нескольких метров [1]. В Приамурском и Сугарском золотоносных районах россыпная золотоносность контролируется выходами графитоносных пород позднего докембрия [66].

Из приведенных материалов следует, что обогащенность графитом и аморфным углеродом метаморфизованных песчано-глинистых пород, вмещающих золоторудные жилы и поля, – явление обычное. Факты приуроченности золотоносности к структурным ловушкам в сводах куполовидных структур и их переклиналильных замыканий, обогащенность пород аморфным углеродом и графитом и очевидные признаки миграции этих веществ наводят на мысль о

сравнении рассматриваемых золотоносных структур с нефтяными структурами [28, 45, 64].

За родство процессов нефте- и рудообразования в 60–70-х годах прошлого столетия высказывались многие специалисты, которые указывали на близкое, либо совместное нахождение рудных (чаще всего ртутных) и нефтяных (и битумных) проявлений, локализующихся в куполовидных структурах и антиклиналях. Н.С. Бескровный [2] описал современные гидротермы кальдеры Узон (Камчатка), обогащенные металлами и битумами, а также привел обзор сведений о проявлении нефтяных битумов, нефти и углеводородных газов из ртутных рудников Береговых хребтов Калифорнии. На западном склоне Южного Урала и в Саратовской области с нефтегазоносными структурами совпадают шлиховые ореолы рассеяния киновари, галенита, сфалерита, халькопирита, арсенопирита, золота, барита, пирита, марказита и сидерита. Эти минералы обнаружены в шламе и керне нефтяных скважин. За пределами нефтеносных структур киноварь не встречается [57]. На Печерской гряде скопления нефти приурочены к участкам разреза карбонатно-терригенных отложений карбона и перми, где есть признаки гидротермального воздействия – кальцитовые и халцедоновые жилы, сульфиды, флюорит, сера [24]. Парагенезис ртутного оруденения и битумов известен в Никитовском районе (Украина) [25].

Приведенные факты свидетельствуют в пользу термального (гидротермального) происхождения битумов и нефти, наряду с ртутным и прочим оруденением. Нефтеобразование протекает в среде, которая стерилизуется под воздействием высоких температур (более 115 °С), и является в основном не биологическим, а термическим процессом [59]. Но нефтяная геология обычно имеет дело с более низкими температурами и давлениями, чем рудная [26]. По К.В. Краускопфу [20], все типы углеродистых осадков в значительной мере обогащены Ag, As, Mo, Ni, Au, т.е. металлами, характерными для золото кварцевого типа оруденения в песчано-глинистых толщах.

Таковы представления о рассматриваемой проблеме в прошлые десятилетия. Далее рассмотрим новейшие данные, касающиеся восточных районов России. Значительная их часть заимствована из материалов научных конференций по благородным (и редким) металлам Сибири и Дальнего Востока, проходивших в Улан-Удэ и Иркутске в 2004 и 2005 гг.

#### ЧЕРНЫЕ СЛАНЦЫ, ЗОЛОТО И ПЛАТИНОИДЫ. ФАКТЫ

В.И. Гончаров с соавторами [8] указывают, что такие крупнейшие месторождения СНГ, как Сухой

Лог, Кумтор, Олимпиада, Зун-Колбинское, Наталка, Нежданинское, Мурунтау, приурочены к черносланцевым толщам, и все они содержат ЭПГ, в том числе в промышленных количествах (от сотых долей до десятков г/т). На Мурунтау (Узбекистан) ЭПГ извлекаются при металлургическом переделе. В Нагалкинских рудах содержание Au, Pt и Pd колеблется в пределах, соответственно (г/т): 40–0.3; 10–0.4 и 9–0.6. Органическое вещество участвует в концентрировании Au и Pd, а Pt ассоциирует с сульфидами. Руды месторождений Маломыр (Амурская область) и Глухое (Приморье) содержат Pt, соответственно, до 8.4 г/т и 0.16–0.39 г/т [43, 67].

Выделенные битуминозные компоненты из пород и руд месторождения Сухой Лог содержали Au до 0.89 г/т, кроме того были обнаружены аномальные содержания Ag, V, Cu, Zn, Ni [12]. В концентратах нерастворимого углеводорода (УВ) (содержание 87.5–91.5 %), полученных из углеродистых сланцев этого месторождения, обнаружена Pt – 500–1500 г/т! Зерна Pt – величиной 15–20 мк, покрыты пленкой УВ [48, 49]. Авторы считают, что нерастворимые УВ на начальной стадии рудообразования выделялись *in situ* в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма из металлоносной нефтидной составляющей. Месторождение образовалось в связи с внедрением Угаханского гранитного массива в углеродистых сланцах позднерифейского возраста и контролируется локальным минимумом силы тяжести [30].

Промышленные содержания Au и Pt на месторождениях Наталка, Сухой Лог и др. приурочены к участкам метасоматической проработки углеродистых терригенных толщ, сульфидизированных, окварцованных, с признаками выноса УВ. Интересно, что анализ фракций УВ из пород, вмещающих месторождение Нагалка, обнаруживает Au и Pt, а УВ из рудоносных метасоматитов их не содержат. Но в сульфидном концентрате содержание Pt достигает 7 г/т (пирит, пирротин, арсенопирит и др.) [29]. На месторождении Сухой Лог авторы выделяют два этапа рудообразования: гидротермально-метаморфогенный и рудный гидротермально-метасоматический, когда возникли кварцево-сульфидные прожилково-вкрапленные руды Au и Pt.

Анализ черносланцевых пород, вмещающих упомянутые золоторудные месторождения (Наталка, Сухой Лог, Нежданинское, Олимпиада и др.), с применением метода окислительного фторирования, обнаружил тенденцию увеличения содержаний Au и ЭПГ в слабо метаморфизованных углеродистых и сульфидизированных терригенных породах. Интервалы содержаний в черносланцевых образцах

месторождения Сухой Лог (г/т): Au – 0.02–0.3; Pd – 0.27–11; Pt – 0.3–13.3.

#### ГРАФИТ, ЗОЛОТО, ПЛАТИНОИДЫ

А.И. Ханчук с соавторами [60] недавно опубликовали чрезвычайно интересные новые данные о золотонности графитовых метаморфизованных (до амфиболитовой фации) пород докембрийского возраста (Ружинский разрез, Приморский край). На Au и Pt были опробованы графитизированные лейкократовые гранито-гнейсы, графитовые метасоматиты по биотитовым гранито-гнейсам, графитизированные габбро-амфиболиты и другие породы с графитом, содержание которого достигало 30–34 %. Анализы выполнены методами атомно-эмиссионной спектроскопии в ДВГИ ДВО РАН и масс-спектрометрии в Институте проблем технологии в г. Черноголовка. Содержание Au в названных породах составили от 3 до 30 г/т, Pt – 4–52 г/т. Сходные данные по Ружинскому разрезу графитоносных пород привели В. Н. Митькин с соавторами [34]: Au – 1.53–23 г/т, Pt – 0.1–24 г/т. Основной вывод авторов [60] – благороднометалльная минерализация изученных пород связана с их графитизацией, а углерод поступал из глубинных сфер Земли. На это указывает геохимическая специализация рудоносных графитизированных пород (Cr, V, Ni, Co, Cu). В этой связи следует отметить данные по Украинскому щиту, где в раннедокембрийских графитоносных породах содержание ЭПГ в отдельных горизонтах мощностью 10–120 м составляет 0.5–1 г/т. ЭПГ ассоциируют с Au, Pb, V, редкими землями [34, 60]. В отдельных блоках содержание Au – 1.3–7.5 г/т, Pt – до 5.9 г/т.

#### УГЛИ, НЕФТЬ, ЗОЛОТО, ПЛАТИНОИДЫ

Аномальные содержания Au и ЭПГ выявлены в Приморском крае на 10 бурогольных месторождениях эоценового и миоценового возраста [50–52]. Эти металлы установлены в угольных пластах, в ожелезненных и омарганцованных терригенных отложениях, перекрывающих угленосные толщи, в аргиллизированных породах фундамента, в дайках базитов, взрывных брекчиях и зонах дробления.

В угольных пластах установлена сингенетическая и эпигенетическая Au-Pt тонкодисперсная минерализация. Первая выделяется в пластах мощностью до нескольких метров. Это зона торфообразования и диагенеза органического вещества (ОВ). Вторая – маломощные (до 10–20 см) минерализованные прослои на контактах углей с грубозернистыми отложениями и на участках тектонического брекчирования угольных пластов. Преобладают медистое и ртутистое зо-

лото, самородные Au, Pd и Pt, железистая и палладистая платина. Типичные формы благородных металлов – тонкие пластинки, агрегаты микросталлов, пленки на поверхности иных минералов. Кроме того, присутствуют галогениды, сульфиды и карбонаты, т.е. минералы, характерные для многих гидротермальных Au-Pd-Pt месторождений (Бразилия, Австрия, Шотландия, Урал и др.). Это указывает на флюидно-гидротермальную природу Au-Pt минерализации угленосных впадин Приморья. В своей неопубликованной работе (1999 г.) В.В. Середин показал, что минерализованные породы угленосных впадин обогащены сидерофилами (Ni, Co, Cr, V), халькофилами (Pb, Zn, Cu, Bi), литофилами (W, редкие земли), а также As, Sb, Hg, Ag, Fe, Se, Ge. Суммарные содержания в углях Au и ЭПГ от 0.4 до 6.3 г/т, в золе – 1.5–22.3 г/т. Редкоземельные угли обогащены благородными металлами больше, чем германиеносные. Их среднее содержание в углях уч. Прирезка (Павловское месторождение) – 4,1 г/т, а в пробах германиеносных углей уч. Лузановского – 0.96 г/т. Сросшиеся агрегаты благородных металлов достигают величины 10–20 мк. Золото содержит примеси Cu, Hg, Pt.

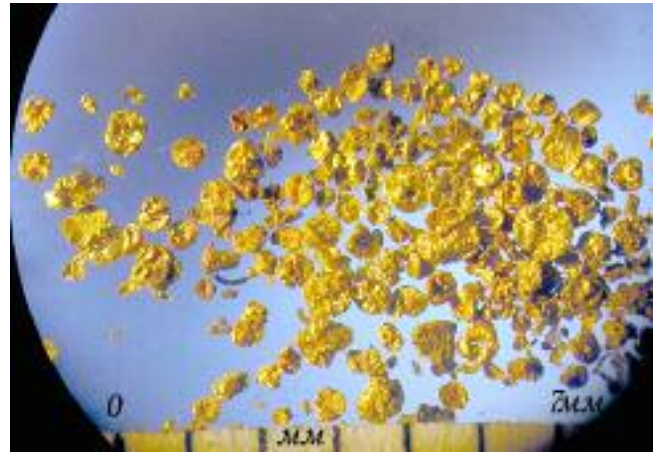
В Приамурье авторами определено (в 400 пробах) Au в бурых углях Еркувецкого, Сергеевского, Райчихинского, Свободненского и Хоронорского (Забайкалье) месторождений [21]. Содержание Au в углях – от 1 до 20 г/т, в единичных пробах и более (до 58.7 г/т, Еркувецкое месторождение).

Содержания Au в углях в указанных выше значениях подтверждено анализом растворов атомно-абсорбционным методом. Растворы были получены мокрым сжиганием углей с переосаждением Au на чистый активированный уголь и повторены мокрым сжиганием этого угля с получением хлоридных растворов. В последних определении Au произведено на атомно-абсорбционном спектрометре ANALIST-300 фирмы “Перкин-Эдмео (США)” в лаборатории Покровского рудника (Амурская область).

Агрегатные частицы химически чистого Au, полученные после аналитической переработки углей, выполненной в лаборатории Амурского научного центра ДВО РАН, приведены на фото (рис. 2).

Зола бурых углей Ушумунского месторождения содержит в среднем (г/т): Au – 8, Ag – 6, Ge – 200 и Se – 300 (данные по 270 пробам) [19].

Есть указание [15], со ссылкой на С.А. Пунанову [46], что в углеводородных газах и нефтяных месторождениях обнаружено Au (0.1–10 мг/т), которое концентрируется в смолах и асфальтенах. В последних его содержание достигает 100 мг/т и более кроме



**Рис. 2.** Агрегатные частицы химически чистого золота, полученные в результате аналитической переработки углей, выполненной в лаборатории Амурского научного центра ДВО РАН.

того в них содержатся высокие концентрации Ni, Re, Mo, Se, Zn, Cu, Pb.

#### К ВОПРОСУ О ГЕНЕЗИСЕ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В УГЛЕРОДИСТЫХ ФОРМАЦИЯХ

Изучение флюидных включений в рудах уникального Au-Pt месторождения Сухой Лог показало, что присутствие в гидротермальной системе большого количества метана, углеводородного газа и азота способствует уменьшению растворимости золота. При этом увеличивается плотность раствора и уменьшается поляризующий эффект, затрудняющие золоту проявлять свойства комплексобразователя и, следовательно, способствовать выпадению его из раствора, т.е. рудообразованию. Оно происходило при взаимодействии высокотемпературных, богатых CO<sub>2</sub> флюидов с органическим веществом рудовмещающих толщ [38].

Именно углеводородность обеспечивает повышенные содержания металлов в осадочных породах, вмещающих руды (V, Ni, U, Zn, Cu, Au, Ag, Pd, Pt, Se). Эти элементы рассеяны в углесто-минеральной массе породы в виде металлоорганических соединений. Рудные концентрации благородных металлов возникают на этапах постседиментационного преобразования углеводородистых толщ. Уже при диагенезе возникают биогеохимические окислительно-восстановительные и кислотно-щелочные барьеры, образуются сульфиды, арсениды и селениды Fe, Ni, Mo, Zn, металлоорганические соединения с повышенными содержаниями благородных металлов и элементов-спутников

(Ni, Mo, Zn и др.). Образующиеся при катагенезе нафтиды частично наследуют металлы материнских углеродистых толщ. Рудные скопления благородных металлов образуются при встрече восходящих металлоносных флюидов с вадозными водами, богатыми кислородом. Так осаждаются Cu, Zn, V, Pb, Ni, Au, Ag, Pt, Pd и др., образуя комплексные месторождения (Любавинское, Удокан, Россия; Амброзия-Лейк, США и др.). При метаморфизме в резко восстановительных условиях происходит разложение углеродистых соединений, и тонкая (0,5–10 мкм) рассеянная вкрапленность металлов формирует минеральные ассоциации с Au, сульфидами, арсенидами платины ( $t = 380\text{--}280^\circ\text{C}$ ). В гидротермально-метасоматическую продуктивную стадию ( $t = 190\text{--}150^\circ\text{C}$ ) формируются прожилково-вкрапленные, жильные кварцевые и сульфидно-кварцевые руды золота с анкеритом, сидеритом, пирротинном, пиритом (месторождение Сухой Лог).

В этой связи представляют интерес данные о пирротинизации пирита, полученные при исследовании черносланцевых золоторудных объектов в Верхне-Колымском районе [5, 6]. При метаморфизме углеродистых терригенных толщ мобилизуются Au, As, Sb и другие элементы. Процесс сопровождается пирротинизацией пирита. При этом высвобождается золото, которое переходит в раствор. Содержание Au в новообразованном пирротине в 2–10 раз меньше, чем в исходном пирите. Механизм преобразования пирита в пирротин реконструирован на основании изучения неполных псевдоморфоз пирротина по пириту. В их ядерных частях сохранился первичный пирит, в котором содержание элементов-примесей на порядок больше, чем в пирротине. Температура этого преобразования – примерно  $400^\circ\text{C}$ , давление – около 2,5 кбар (по сфалеритовому геобарометру). Содержание As в пирротине уменьшалось в сравнении с исходным пиритом в сотни раз, Sb – в 2–10 раз. В результате золоторудные месторождения региона расположились в породах зеленосланцевой фации метаморфизма над поверхностью пирит-пирротинового преобразования.

На основе выполненных исследований [38], авторы развивают концепцию сопряженного развития металлогенических провинций и нефтегазоносных бассейнов за счет мобилизации рудно-флюидных ресурсов из черносланцевых формаций.

Близкие представления высказал и А.Ф. Коробейников [18]: Au-Pt месторождения в углеродистых формациях образуются в процессе седиментации, дислокации, метаморфизма, метасоматоза, но на фоне развития мантийно-коровых диапиров. Возникающие при этом магмагенно-метасоматические колонны протягиваются по вертикали на 3–10 км, а

глубина областей экстракции – порядка 60 км, т.е. колонна намного объемнее, чем черносланцевый прогиб. Месторождения образуются благодаря смешению глубинных флюидов с трещинными (вадозными) водами. Автор приводит интересные данные о выносе золота из глубинных ультрабазитов. В неизмененных разностях этих пород содержание Au – 4,8–10 мг/т, а в измененных (из ксенолитов) – 2,5–2,7 мг/т. Глубинный высокотемпературный метасоматоз приводит к перераспределению Au в подкоровых сферах Земли, в результате чего содержание Au в отдельных блоках глубинных ультрабазитов колеблется в широких пределах (0,5–43 мг/т).

В.С. Зубков [16], основываясь на материалах исследования черносланцевых месторождений Саяно-Байкальской горной области и месторождения Сухой Лог, сделал вывод о глубинном (мантийном) происхождении Au, Au-органических соединений и их спутников – Pt, Cr, In, Re, Mo, Se, Zn, Cu, Pb, сульфидов, распределение которых сходно с таковым в кимберлитах.

При подъеме к областям рудообразования глубинные углеродистые флюиды, обогащенные Au, ЭПГ, Th, Nb, U, Sn, Mo, Li, As, Sb и др., взаимодействуя с окружающими породами, окислялись до  $\text{CO}_2$ . Специализация месторождений, образующихся в конце пути флюидов, уже связана с реальными магматическими очагами [27].

Важной представляется роль поверхностных и подземных вод в вопросе о генезисе Au-Pt (и прочей) минерализации кайнозойских бурых углей [21]. Авторы считают, что процессы угленакопления, эродирования золоторудных объектов и россыпеобразования в Зейско-Буреинском бассейне происходили синхронно и масштаб миграции Au был велик. Поверхностные и грунтовые воды содержат растворенного Au в 10 и более раз больше фона. В результате растительность торфяных болот, всасывая водные растворы с неорганическими и органическими комплексами Au, накапливали его внутри растений. В процессе гумификации при торфообразовании гуминовые кислоты образовывали с Au комплексные соединения, которые удерживались в торфе химической сорбцией. В процессе углефикации происходит уплотнение торфяной массы и обогащение угля золотом. Продолжительность процесса углеобразования составляет примерно 30 млн лет.

#### РОЛЬ БАКТЕРИЙ В КОНЦЕНТРАЦИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Химическая устойчивость Au не абсолютная. Оно подвергается окислению с образованием водора-

створимых органических и минеральных компонентов, способных мигрировать и осаждаться на геохимических барьерах. В биогенных осадочных образованиях часто наблюдается прямая зависимость между содержаниями тяжелых металлов (и Au) и органического углерода, являющегося продуктом жизнедеятельности микроорганизмов [17]. Определенные микроорганизмы являются эффективными катализаторами трансформаций Au. Это бактерии, водоросли, дрожжи, грибы, сорбирующие металлы (и Au) [47]. Одни накапливают ионы металла во внутриклеточном пространстве, другие способны взаимодействовать с дисперсными частицами Au с образованием биоминеральных агрегатов и удалением их из водной среды в осадок. Следовательно, в природе существует биогеохимический цикл переноса Au.

Эти данные близки результатам экспериментов Н.Г. Куимовой [22, 23]. Путем аккумуляции и кристаллизации коллоидного золота нитчатками микроорганизмами (микроскопические грибы, цианобактерии) лабораторно сформированы ажурные губчатые структуры Au, а при их взаимодействии с ионным Au образовалось пластинчатое кристаллическое Au. При дальнейшей трансформации тех и других продуктов образовались рыхлые агрегаты биогенного Au. В процессе исследований обнаружены многочисленные метаморфозы Au по микроводорослям и бактериям. Максимальными сорбционными возможностями по отношению к благородным металлам обладают микроскопические грибы рода *Penicillium*.

Для темы о металлогенической роли бактерий представляют интерес данные исследований надрудных биогеохимических аномалий благородных металлов на полиметаллических месторождениях Джидино-Витимской зоны (Западное Забайкалье) [56]. Оказалось, что эти аномалии связаны с древесной растительностью, подверженной процессам гниения. В золе гнилых пней, коры и шишек сосны и лиственницы были установлены ураганные (в сравнении со свежими) содержания: Ag – 3 кг/т, Pt – 5 г/т, Ru – 230 мг/т, Au – 190 мг/т, Pd – 60 мг/т, сопоставимые с концентрациями этих элементов в полиметаллических рудах. Исследования показали, что металлы были мобилизованы из разлагающейся древесины микроорганизмами. В накопительных культурах авторами выделены бактерии, обычно окисляющие сульфиды рудных месторождений с высвобождением микроскопических частиц благородных металлов величиной 3–20 мк.

В последние десятилетия опубликованы результаты многочисленных исследований, свидетельствующие о взаимодействии живых организмов с Au [35]. Выявлена способность некоторых растений и живых

организмов к накоплению Au на поверхности клеток, между ними и внутриклеточно. Показано, что взаимодействие бактерий с самородным Au приводит к внутриклеточному накоплению металлического Au с величиной выделений 1–2 мк. Исследования показали, что микроорганизмы способны адсорбировать коллоидное Au из глинистых золотоносных руд и сульфидного Au-As концентрата. Эти данные имеют важное значение для понимания роли биогенных факторов при формировании рудных (и россыпных) месторождений, для разработки методов обогащения упорных руд Au.

Выделяются четыре стадии преобразования Au, в которых участвуют различные микроорганизмы. 1) Разрушение и вынос Au из руды (биогеохимическое разрушение минералов). На этом основана технология бактериального вскрытия Au в сульфидных концентратах [42]. 2) Освобожденное золото подвергается микробиологической атаке и переходит в раствор. 3) Образование коллоидных частиц Au. 4) Гетеротрофные бактерии в зоне гипергенеза укрупняют и осаждают частицы коллоидного Au. При этом происходит перекристаллизация частиц и увеличение прочности Au [36].

#### ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ, ВЫВОДЫ

В соответствии с представлениями о золоторудных системах как ансамблях взаимодействия факторов генерации, переноса и локализации оруденения [65], первичные накопления благородных металлов возникают в палеобассейнах с углеродистыми глинистыми и сульфидоносными осадками, образовавшимися в восстановительных условиях. Такие обстановки характерны для внутриматериковых морских и континентальных бассейнов с затруднительным водообменом. Например, продуктивные золоторудные системы Джигдинской и Южноверхоанской провинций, развивавшиеся во внутриматериковых бассейнах, содержат отложения, обогащенные ОВ сапропелевого типа, а отдельные толщи содержат сингенетичные сульфиды. Резко аномально обогащены углеродистым веществом терригенные комплексы хинганской серии (Приамурье). Важно подчеркнуть, что углеродистое вещество, например в Джигдинской зоне, в контурах золотоносных районов, несомненно, перемещалось в процессе тектогенеза и накапливалось в куполовидных антиклиналях и иных структурных ловушках, по принципу локализации нефти. Особенно ясно это видно в Ниманском, Афанасьевском, Харгинском и Унгличканском районах, где ареалы золотоносности пространственно совмещены с региональными аномалиями

углеродистых пород в периклинальных замыканиях куполовидных структур (рис. 1).

В морях с хорошей аэрацией органический углерод не накапливается, а уничтожается в результате окисления. И, наоборот, в бассейнах эвксинского типа из-за отравления среды сероводородом отсутствуют донные организмы, питающиеся органическим веществом, поэтому органика на дне таких бассейнов накапливается в большом количестве. Марказит и пирит в этих условиях возникают путем восстановления оксидов железа при воздействии на них сероводорода. Последний образуется в результате жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий, а также при бактериальном разложении органических сернистых соединений [35, 58]. В глинистых осадках в небольших количествах образуются и другие сульфиды: сфалерит, галенит, халькопирит и др. Палеозойские битуминозные сланцы Северо-Запада Европы являются рудами. Они пиритиносны и содержат повышенные концентрации урана, мышьяка, меди, молибдена, свинца, ванадия, цинка, которые сорбировались органикой и глинистыми минералами [9]. Содержания Au (в мг/т) в современных осадках внутренних морей превышает океанические в несколько раз [13].

Важнейшим фактором накопления Au в донных осадках является адсорбция. Именно она создает региональные (и даже глобальные) ареалы распространения металлоносных осадков, которые при последующей гидротермальной переработке (и метаморфизме) могут дать промышленные месторождения золота. Широко известна способность угля сорбировать золото из растворов. Сорбция золота глинистыми частицами доказана на месторождении Карлин [61]. В хлоридной (и бромидной) форме золото может активно сорбироваться из морских вод гидроалюмосиликатами железа и марганца, вермикулитом, иллитом, монтмориллонитом, каолинитом, гетитом, пиролюзитом. Важный механизм накопления Au в углеродистых осадках – его соосаждение с сульфидами. Наиболее активно сорбируют золото пирит и арсенопирит, меньше – другие сульфиды [13]. опыты показали, что растворимые фракции УВ из углеродистых сланцев и бурого угля в состоянии сорбировать большие количества (граммы на тонну) Au [3]. Но в подавляющем большинстве определений (их тысячи) содержание Au находится на уровне миллиграммов на тонну, в связи с выносом Au и УВ. Процесс адсорбции обратим. С повышением температуры может происходить десорбция, которая в случае с гумусовым органическим веществом наступает при катагенезе, и высвобождающееся Au мигрирует с элизонным раствором. Осадки с сапропелевым типом органики, слагающие наиболее глубоководные уча-

стки морских бассейнов, сохраняют свои металлы до начала регионального метаморфизма. Прогрессивный метаморфизм черных сланцев приводит к возникновению водно-углекислых и углеводородных флюидных потоков, обеспечивающих широкую миграцию микроэлементов в вышележащие комплексы пород.

Дальнейшая эволюция Au происходит при катагенезе и метаморфизме рудовмещающих комплексов. Убедительные данные в этом отношении для Амуро-Охотской складчатой области получил С.Г. Парада [40, 41]. Он показал, что в литифицированных осадочных породах содержание Au уменьшается на 30 % в сравнении с нелитифицированными, а в метаморфизованных – на 50 %. В общем, с увеличением метаморфизма всех типов рудовмещающих (черносланцевых) пород содержание Au в них уменьшается, и одновременно увеличивается его концентрация в межзерновом растворе. Являясь мощным накопителем Au на стадии седиментогенеза,  $C_{орг}$  при повышении температуры (катагенезе и метаморфизме) теряет сорбционную емкость и отдает золото в раствор [31]. Химическая эволюция гидротермальных растворов сверху вниз (по разрезу) повторяет таковую всей рудовмещающей толщи. Это подтверждает элизонно-термогидратационный механизм формирования рудоносных растворов, обусловленный катагенезом и метаморфизмом. В результате метаморфизованные углеродистые толщи и каменные угли оказываются обедненными золотом. В связи с этими данными известные случаи высоких содержаний золота и ЭПГ в каменных углях (месторождения Огоджинского, Партизанского и других бассейнов) требуют объяснения. Вероятны условия захоронения углей, при которых сингенетичное золото и ЭПГ в них сохраняются. Кроме того, это могут быть гидротермальные продукты осаждения благородных металлов на угле эндогенного происхождения, либо мобилизованные из собственной угленосной толщи.

С.Г. Парада выделил первичные и вторичные золоторудные системы. Первые – литогенные, организирующие сбор рудного вещества, его транспортировку и частичную концентрацию (диагенез, катагенез). Вторые формируют промышленное оруденение в черносланцевых комплексах в связи с гидротермально-метаморфогенными процессами. Эти соображения не противоречат представлениям о золоторудных системах [65, 68], а развивают их. Следует напомнить, что промышленное месторождение образуется при условии хорошего качества всех трех факторов, характеризующих систему (генерация, перенос, локализация). Отсутствие, например, благоприятной структуры локализации на пути рудоносных флюид-

дов сводит на нет высокое качество структур генерации и переноса.

Опыты показали [3], что вынос Au из УВ углеродистых пород происходит в виде растворимых битумоидов, углеродистых газов, карбонильных и карбоксильных комплексов, кластерных форм Au [44] и летучих алкарированных соединений [53]. В поверхностных и грунтовых водах золоторудных полей миграция Au осуществляется в виде коллоидных и тонкодисперсных форм [7, 63].

Экспериментально доказано [3], что при термической обработке УВ образуются летучие соединения карбониллов и карбонилхлоридов Au и они улетучиваются. В случае золотосодержащих углей, где почти все Au находится в контакте с  $C_{орг}$ , его потери при термообработке угля, как показали исследования авторов, иногда достигают 100 % [21]. Поэтому в золе от сжигания углей Au в таких случаях не обнаруживается. В связи с этим определение содержания Au в углях представляет значительную трудность. Лишь разрушив окислителями комплексные металлоорганические соединения, можно установить исходное содержание Au. Бурые угли в своей основной массе в доисторический период не подвергались интенсивному воздействию высокотемпературных гидротермальных растворов, поэтому Au в них сохранялось, но в дальнейшем оно терялось при техногенной обработке в контакте с кислородом воздуха и влагой: при добыче, дроблении, хранении в буртах [21]. Следует указать, что в некоторых публикациях отмечаются достаточно высокие содержания драгоценных металлов в золе углей. Эти данные требуют специального изучения.

Отмеченные выше данные характеризуют ранний сингенетический этап благороднометалльной минерализации в бурых углях Приамурских впадин. В.В. Середин [52], исследуя буроугольные впадины Приморья, не отрицая сингенетического образования части драгметаллов, акцентирует внимание на эпигенетическом этапе флюидно-гидротермального генезиса золото-платиновой минерализации, которую он обнаружил не только в углях, но и в иных осадочных породах, перекрывающих и подстилающих угли, а также в породах основания впадин. Справедливы оба суждения, так как во впадинах проявлена как син-, так и эпигенетическая золото-платиноидная, редкоземельная и другая минерализация. Последующие исследования уточнят место и время той и другой.

По отношению к вмещающим породам угли всегда автохтонные, а залежи нефти и газа, с которыми парагенетически связываются черные сланцы, – аллохтонные [4]. Накопление Au в углях и черных

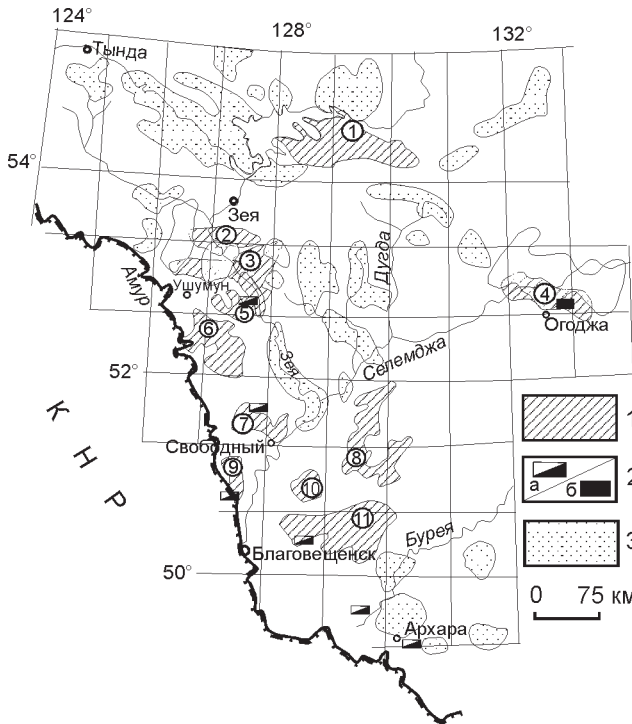
сланцах имеет одинаковую природу. Сингенетичное Au в них накапливается за счет хемосорбции, вследствие образования комплексных металлоорганических соединений в реакции с гумусовыми кислотами. В обоих случаях при повышении температуры содержание благородных металлов в ОВ снижается, они уходят в раствор и в благоприятных физико-химических и структурных условиях формируют рудные месторождения.

Буроугольные месторождения (возможно и каменноугольные) могут стать золото-платиноидными при промышленной переработке. Но технологически эта проблема еще не решена, и угольные месторождения в качестве золото-платиноидных еще не готовы к эксплуатации. В этом отношении следует обратить серьезное внимание на возможности применения для извлечения благородных металлов и обогащения руд бактериальной биометодики [39]. В России на месторождении Олимпиада и в других странах СНГ такие методы уже используются для извлечения золота из руд месторождений в черносланцевых толщах.

Не умаляя роли эпигенезиса в формировании золотоносности бурых углей, авторы придают большое значение этапу сингенетического накопления в них золота (и ЭГП). На Дальнем Востоке промышленное золотое оруденение сформировалось в связи с мезозойской ( $J_3$ -К), преимущественно раннеорогенной тектоно-магматической активностью, проявленной регионально. При этом, были сформированы рудоносные структуры протяженностью многие сотни (и даже тысячи) километров [36, 68, 69]. Орогенез продолжался в третичное время, когда рудоносные структуры образовали геоморфологические поднятия, а в смежных с ними прогибах накапливались осадочные породы – продукты разрушения рудоносных структур – и одновременно формировались торфо-буроугольные бассейны. В этот период времени (эоцен–плиоцен), как предполагают авторы, органика будущих углей сорбировала на себе благородные металлы. В этой связи следует продолжить исследования золото-платиноидной минерализации третичных буроугольных бассейнов Дальнего Востока, соседствующих с позднемезозойскими рудоносными структурами, как это наблюдается в Приамурье и Приморье (рис 3, 4).

Речь идет о крупномасштабных перемещениях благородных металлов, охватывающих обширные территории в тысячи и десятки тысяч квадратных километров. Перенос металлов может осуществляться разными путями – водным (поверхностным и подземным), золовым и др. [54]. Моделью такого масш-



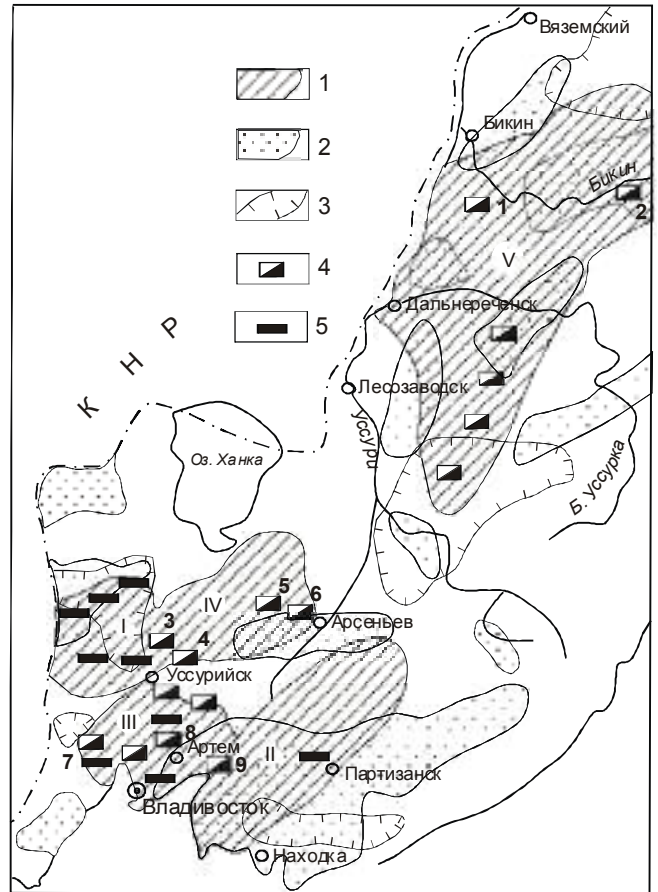


**Рис. 3.** Схема расположения угленосных площадей (1) и месторождений (2) бурого (а), каменного (б) угля и золотоносных (3) районов Верхнего Приамурья [21, 55, 68].

Буроугольные площади: 1 – Верхнезейская, 2 – Пиканская, 3 – Деспская, 5 – Ольгинская, 6 – Сивакско-Мухинская, 7 – Семеновско-Юхтинская, 8 – Селемджино-Томская, 9 – Загорненско-Сергеевская, 10 – Белогорская, 11 – Ерковецко-Завитинская; 4 – каменноугольная площадь – Гербикано-Огоджинская.

табного перемещения золота может служить Дамбукинский золотоносный район [68], где на площади в 4–5 тыс. км<sup>2</sup> промышленные россыпи золота проявлены в подавляющем большинстве речных долин, при отсутствии существенных рудных скоплений золота (в прошлом столетии здесь отработано несколько мелких рудных месторождений). Территория с непромышленными концентрациями россыпного золота в этом регионе охватывает площади в десятки раз больше. Ведь россыпи Дамбукинского и других соседних с ним районов образовались в основном за счет перемыва рыхлых отложений тектонически приподнятых бортов Верхнезейской депрессии. Это – десятки тысяч км<sup>2</sup> и тысячи тонн золота.

Конечно, на протяжении миллионов лет (эоцен – плиоцен) буроугольные бассейны подвергались тектоно-магматической активизации, в результате которой возникали эпигенетические образования уже “позолоченных” бурых углей, привносился новый гидротермальный эндогенный материал, в том числе



**Рис. 4.** Расположение угленосных (1), золотоносных (2) и платиноносных (3) площадей, месторождений бурого (4) и каменного (5) угля в Приморском крае [43, 67, 69].

Угольные бассейны: I – Раздольненский, II – Партизанский, III – Угловский, IV – Ханкайский, V – Бикино-Уссурийский. Месторождения, упомянутые в тексте: 1 – Бикинское, 2 – Среднебикинское, 3 – Павловское, 4 – Раковское, 5 – Ретиховское, 6 – Черныщевское, 7 – Тавричанское и Ванчинское, 8 – Артемовское, 9 – Шкотовское.

и драгметаллы. Количественные соотношения син- и эпигенетических благороднометалльных продуктов в бурых углях еще предстоит установить при будущих исследованиях.

Проблема золотоносных каменных углей более сложная и требует особого изучения в каждом конкретном случае. Но следует подчеркнуть, что упоминавшийся выше Огоджинский угленосный бассейн пространственно тесно ассоциирует с богатейшим Верхнеселемджинским золотоносным районом (рис. 3), оруденение которого, скорее всего, юрское. Поэтому не исключено, что угли Огоджинского месторождения “озолотились” в период своего формирования (ранний мел), когда золоторудные структуры уже

располагались в пределах горных массивов, были вскрыты эрозией и продукты их разрушения перемещались в соседний угленосный бассейн. В любом случае проблема представляет научный и практический интерес и требует изучения.

Благороднометалльное оруденение древних графитоносных пород, типа Ружинского разреза [60], имеет принципиально иное, эндогенное происхождение и требует специального углубленного изучения, так как сулит масштабные открытия. В связи с этим необходимо тщательно обследовать графитоносные толщи союзенской свиты малого Хингана [66], с которыми тесно ассоциируют золотоносные россыпи.

Авторы благодарны В. В. Середину за критические замечания, которые помогли улучшить статью.

Исследования выполнены при поддержке президиума ДВО РАН (грант № 06-1-043-114).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Н.И., Шубин Г.В. Некоторые итоги изучения структур рудных полей золоторудных месторождений Сибири. Новосибирск: Наука, 1970.
2. Бескровный Н.С. О парагенезисе нефти с минералами ртути // Современные минералообразующие растворы. Петропавловск-Камчатский, 1970. 77 с.
3. Варшал Г.М. и др. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород // Геохимия. 1994. № 6. С. 814–823.
4. Вассоевич Н.Б. Геохимия органического вещества и происхождение нефти // Избранные труды. М.: Наука, 1986. 368 с.
5. Ворошин С.В., Тюкова Е.Э. и др. Геология и оруденение Ат-Юрях-Штурмовского золоторудного узла (Магаданская область). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. 116 с.
6. Ворошин С.В., Тюкова Е.Э. Преобразование пирита в пирротин при метаморфизме терригенных пород Верхне-Колымского региона и его роль в мобилизации рудных компонентов // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 2. С. 108–111.
7. Голева Г.А., Кривенков В.А., Гудзь З.Г. Геохимические закономерности распространения и формы миграции золота в природных водах // Геохимия. 1970. № 6. С. 744–757.
8. Гончаров В.И. и др. Элементы платиновой группы в золоторудных месторождениях мезозойских черносланцевых толщ Северо-Востока России // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ: Бур. НЦ СО РАН, 2004. С. 53–55.
9. Гринсмит Дж. Петрология осадочных пород. М.: Мир, 1981. 253 с.
10. Гурская Л.И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб: ВСЕГЕИ, 2000. 208 с.
11. Гурская Л.И., Смелова Л.В. Черные сланцы – новый генотип платинометалльных руд // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 1. С. 45–47.
12. Евсеев В.В., Немеров В.К. и др. Состав битуминозных компонентов пород и руд месторождения Сухой Лог // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 2. С. 159–161.
13. Ермолаев Н.П., Созинов Н.А. Стратиформное рудообразование в черных сланцах. М.: Наука, 1986. 173 с.
14. Ермолаев Н.П. и др. Платиноиды в черных сланцах Средней Азии // Отеч. геология. 1994. № 4. С. 3–11.
15. Зубков В.С. Гипотеза мантийного генезиса золотоносных рудонафтидных и гидротермальных месторождений // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ: Бур. НЦ СО РАН, 2004. С. 94–96.
16. Зубков В.С., Андреев В.В., Артеменко М.В. Гипотеза образования мантийных рудонафтидных и рудно-нафтидно-гидротермальных месторождений // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 1. С. 59–62.
17. Карамушка В.Н. Роль микроорганизмов в биогеохимическом цикле золота // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ: Бур. НЦ СО РАН, 2004. С. 96–98.
18. Коробейников А.Ф. Мантийные и коровые золото-генерирующие системы // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 1. С. 93–96.
19. Крапивенцева В.В. Особенности металлоносности бурых углей Среднеамурского и Буреинского каменноугольных осадочных бассейнов // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 1. С. 252–254.
20. Краускопф К.В. Осадочные месторождения рудных металлов // Проблемы рудоносных месторождений. М.: Изд-во иностр. лит. 1959.
21. Кузьминых В.М., Сорокин А.П. Миграция и накопление золота при гипергенных процессах // Вестн. ДВО РАН. 2004. № 2. С. 113–119.
22. Куимова Н.Г., Жилин О.В. Биогенная кристаллизация ионного золота микромицетами // Докл. РАН. 2002. Т. 386, № 6. С. 809–812.
23. Куимова Н.Г. Биогенная минерализация золота в природе и эксперименте // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ: Бур. НЦ СО РАН, 2004. С. 124–125.
24. Кушнарева Т.И. Гидротермальные проявления в нефтеносной карбонатной толще верхнего девона на Печерской гряде // Докл. АН СССР. 1971. Т. 198, № 1. С. 175–177.
25. Лазаренко Е.О. Метасоматические образования в вулканических породах Закарпатья. Львов, 1960.
26. Леворсен А. Геология нефти и газа. М.: Мир. (Сер. Науки о Земле) 1970. 672 с.
27. Летников Ф.А. Типизация глубинных флюидных рудооб-

- разующих систем // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 2. С. 96–98.
28. Ли Я.В., Куцаенко В.А. Некоторые итоги изучения закономерности распределения золоторудных полей в Енисейском Кряже // Вопросы геологии месторождений золота. Томск, 1970.
29. Лихойдов Г.Г., Плюснина Л.П., Кузьмина Т.В. К проблеме платиновой минерализации в комплексных месторождениях черносланцевых формаций // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ: Бур. НЦ СО РАН, 2004. С. 128–129.
30. Лишневицкий Э.Н., Дистлер В.В. Глубинное строение земной коры района золото-платинового месторождения Сухой Лог по геолого-геофизическим данным (Восточная Сибирь, Россия) // Геология руд месторождений. 2004. Т. 46, № 1. С. 88–104.
31. Маракушев А.А., Русинов В.Л. Природа золотоносности углеродистых толщ // Докл. РАН. 2005. Т. 401, № 4. С. 515–520.
32. Мауленов А.О. О связи золотого оруденения в Северном Казахстане с флюидными формациями // Геология и геохимия благородных металлов Казахстана. Алма-Ата, 1969.
33. Мельников В.Д. Золоторудные гидротермалитовые формации. Владивосток, 1984. 130 с.
34. Митькин В.Н. и др. Определение благородных металлов в черносланцевых материалах рудных месторождений Восточной Сибири, Северо-Востока и Приморья с применением окислительного фторирования и других методов разложения // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 2. С. 228–231.
35. Моисеенко В.Г., Маракушев С.А. Бактериальное концентрирование, укрупнение и “облагораживание” золота в зоне окисления золоторудных месторождений и россыпях. Благовещенск, 1987. 44 с.
36. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1996. 352 с.
37. Нарсеев В.А. Зональность распределения золота различной пробности на некоторых месторождениях Казахстана // Геология и геохимия благородных металлов Казахстана. Алма-Ата, 1969.
38. Немеров В.К., Семейкина Л.К., Спиридонов А.М. Наиболее вероятные сценарии рудогенеза в углеродистых осадочных формациях // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 1. С. 86–88.
39. Павлова Л. М., Куимова Н. Г. Перспективы развития биогидрометаллургии золота в Приамурье // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. С. 397–398.
40. Парада С.Г. О литогенной природе некоторых золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Литология и полез. ископаемые. 2002. № 3. С. 275–288.
41. Парада С.Г. Условия формирования и золотоносность черносланцевых комплексов Амуро-Охотской складчатой области: Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. Ростов на Дону, 2004. 48 с.
42. Пивоварова Т.Р. и др. влияние ионов золота на *Thiobacillus ferrooxidans* // микробиология. 1986. Т. 55. Вып. 6. С. 966–972.
43. Платиноносность Дальнего Востока / В.Г. Моисеенко, В.А. Степанов, Л.В. Эйриш, А.В. Мельников. Владивосток: Дальнаука, 2004. 176 с.
44. Попова А.Г. и др. Органическое вещество как источник золота при формировании месторождений Центрального Алдана // Геохимия. 2002. № 11. С. 1209–1217.
45. Поспелов Г.Л. Элементы геологического подобия нефтяных и флюидогенных месторождений // Геология и геофизика. 1967. № 11. С. 3–22.
46. Пуанова С.А. Геохимические особенности распределения микроэлементов в нафтидах и металлоносность осадочных бассейнов СНГ // Геохимия. 1998. № 9. С. 959–972.
47. Радомская В.И. и др. Биоаккумуляция благородных металлов растениями // Докл. РАН. 2001. Т. 388, № 1. С. 93–96.
48. Развозжаева Э.А. и др. Благородные металлы и углеродистое вещество в рудах месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия) // Геология руд месторождений. 2002. Т. 44, № 2. С. 116–124.
49. Развозжаева Э.Л., Немеров В.К. и др. Гетерогенный углерод в рудах месторождения Сухой Лог // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 2. С. 37–39.
50. Середин В.В., Поваренных М.Ю. Первая находка минералов платины в углях // Докл. РАН. 1995. Т. 345, № 6. С. 801–803.
51. Середин В.В. Au-PGE минерализация на Павловском буроголомом месторождении, Приморье // Геология руд месторождений. 2004. № 1. С. 43–73.
52. Середин В.В. Золото-платиноидная минерализация в кайнозойских угленосных впадинах Приморья: условия формирования и перспективы освоения // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ: Бур. НЦ СО РАН, 2004. С. 190–191.
53. Слободской Р.М. Элементоорганические соединения и эндогенное рудообразование // Сов. геология. 1978. № 3. С. 54–67.
54. Сорокин А.П., Глотов В.Д. Золотоносные структурно-вещественные ассоциации Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1997. 304 с.
55. Сорокин А.П. Зейско-Буреинский бассейн // Зейско-Буреинская равнина: проблемы устойчивого развития. Благовещенск, 2001. С. 23–38.
56. Татаринов А.В. и др. Бактериальное концентрирование благородных металлов в древесной растительности на полиметаллических месторождениях Джидино-Витимской зоны (Западное Забайкалье) // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2005. Т. 2. С. 57–59.
57. Тищенко В.А., Молчанова А.П. О первых находках в шлихах киновари и других сульфидных минералов на терри-

- тории Саратовского Поволжья // Докл. АН СССР, 1970. Т. 192. № 4. С. 885–887.
58. Фербридж Р.Ц. Фазы диагенеза и аутогенное минералообразование // Диагенез и катагенез осадочных образований. М.: Мир. Сер. Науки о Земле, 1971. С. 27–91.
59. Филлин Дж.Т. О глубине, времени и механизме образования нефти // Органическая геохимия. Вып. 2. М.: Недра, 1970.
60. Ханчук А.И., Плюснина Л.П., Молчанов В.П. Первые данные о золото-платиноидном оруденении в углеродистых породах Ханкайского массива и прогноз крупного месторождения благородных металлов в Приморском крае // Докл. РАН. 2004. Т. 397, № 4. С. 524–529.
61. Хаусен Д.М., Керр П.Ф. Месторождение тонкодисперсного золота Карлин, штата Невада // Рудные месторождения США. М.: Мир, 1973. Т. II. С. 590–624.
62. Шибко В.С. Роль литолого-стратиграфических и структурных факторов в локализации золотого оруденения бақырчыкского типа // Геология и геохимии благородных металлов Казахстана. Алма-Ата, 1969.
63. Шишкина Т.В., Дмитриев С.Н. Золото в природных водах – формы нахождения и методы концентрирования // Геохимия. 1991. № 4. С. 496–506.
64. Эйриш Л.В. Золотоносные купола Селемджино-Карбинского выступа с позиций подобия нефтяных и флюидогенных рудных месторождений // Генетические типы, закономерности размещения месторождений золота Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1976. С. 28–31.
65. Эйриш Л.В. Золоторудные системы Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 1991. № 2. С. 67–80.
66. Эйриш Л.В., Саксин Б.Г. Золотоносность Малого Хингана, закономерности локализации, проблема рудного золота // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18, № 6. С. 114–122.
67. Эйриш Л.В., Степанов В.А. Платиноносность Дальнего Востока: районирование, закономерности, проблемы // Тихоокеан. геология, 2002. Т. 21, № 3. С. 27–39.
68. Эйриш Л.В. Металлогения золота Приамурья (Амурская область, Россия). Владивосток: Дальнаука, 2002. 194 с.
69. Эйриш Л.В. Металлогения золота Приморья (Приморский край, Россия). Хабаровск, 2003. 148 с.

*Рекомендована к печати С.М. Родионовым*

*A.P. Sorokin, L.V. Eirish, V.M. Kuz'minykh*

**Precious metal mineralization in carbonaceous formations (based on the research data from the eastern regions of Russia)**

The issue concerning the relation between precious metal mineralization and carbonaceous rocks such as black shales and brown coals was considered. The authors' conclusions on the phase syngenetic, epigenetic and metamorphogenetic origin of gold-bearing deposits in the black shale formations and on the syngenetic and epigenetic precious metals accumulation in brown coals were confirmed. Data on the supply of gold and platinum metals to brown coals of the Upper Amur Region and Maritime Territory due to the destruction of the adjacent ore sources in the Cenozoic are given. The problem requires further investigation. The recommendations on the search for precious metals are also offered.

**Key words:** black shales, brown coal, gold, platinum metals, syngensis and epigenesis, metamorphism, Russian East.