

УДК 553.411 (571.53)

Г.Б.Ганжа, Э.А.Развозжаева, 2014

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ ВЕРНИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ**Г.Б.Ганжа (ФГУП «ЦНИГРИ»), Э.А.Развозжаева (Институт геохимии СО РАН, Иркутск)**

Исследовано распределение рассеянного органического вещества (РОВ) в осадочной рудовмещающей толще Вернинского золоторудного месторождения, установлена зависимость его состава и содержания от интенсивности пликативных деформаций. Приведены общая характеристика РОВ в разных зонах дислокационного метаморфизма и результаты комплексного изучения компонентов органического вещества (битумоиды, кероген). Все фракции битумоидов содержат золото. Главными аккумуляторами металла являются асфальтеновые кислоты и асфальтены. В битумоидах и керогене присутствуют легкоподвижные формы золота — свободное ультрамелкое и химически связанное, которые транспортируются в составе углеводородных флюидов из зон повышенных напряжений в области разгрузки. Золотосодержащие битумоиды представляют собой один из источников металла при формировании продуктивной золото-сульфидной минерализации.

Ключевые слова: Бодайбинский синклиний, углеродистая карбонатно-терригенная толща, органическое вещество, кероген, битумоиды, асфальтены, золото.

Ганжа Галина Борисовна, metallogeny@tsnigri.ru, Развозжаева Элла Алексеевна

ORGANIC SUBSTANCE IN SEDIMENTARY ROCKS OF VERNINSKOYE GOLD DEPOSIT, PATOM UPLANDS**G.B.Ganzha, E.A.Razvozhayeva**

Volume pattern of scattered carbonaceous substance has been investigated throughout the sedimentary ore-hosting sequence at Verninskoye gold deposit. Data showed the relationship between plicative dislocations intensity and CS concentration and forms. The overall CS features have been described in different dislocation metamorphic zones and results of complex study of organic substances component parts (bitumen, kerogen) have been shown. All bitumen separates contain gold. The principal gold concentrators are asphaltene acids and asphaltene. There are light-flowing gold forms in bitumen and kerogene: the finely-dispersed free and chemical bounded forms. Those were transported in hydrocarbon fluids from high stressed zones to unloading areas. Gold-containing bitumen were one of the metal sources when productive gold-sulphide mineralization has been formed.

Key words: Bodaibo synclinorium, carbonaceous carbonate-terrigenous sequence, carbonaceous substance, kerogene, bitumen, asphaltene, gold.

Несмотря на большое внимание, которое уделяется осадочным отложениям, обогащенным углеродом и рудными металлами, органическое вещество остается наименее изученным компонентом рудовмещающих толщ. Известны пространственная связь многих рудных объектов с областями развития углеродистых формаций, а также присутствие в рудах углеводородных соединений в составе газовой фазы и битумов. Примером могут быть золото-сульфидные месторождения Бодайбинского района (Сухой Лог, Вернинское и др.), сосредоточенные в локальных зонах углеродсодержащей толщи с наиболее высоким содержанием $C_{орг}$. Выяснение причин совмещения аномальных концентраций углеродистого вещества и золота — одно из условий решения проблем рудообразования и прогнозирования важнейших видов минерального сырья.

В последние годы в литературе широко дискутируются вопросы о роли соединений углерода в формировании промышленных концентраций золота. Авторами выявлена связь рассеянного органического вещества осадочных толщ, вмещающих

месторождения золота, с пликативными деформациями и рудогенезом. Объектом комплексных исследований послужило Вернинское золоторудное месторождение, расположенное в хорошо известном Бодайбинском рудно-россыпном районе Патомского нагорья.

Изучение геологического строения данного региона и закономерностей размещения в нем золотой минерализации связано с именами многих геологов (В.А.Обручев, 1926; Т.М.Дембо, 1953; Ю.П.Казакевич, Т.П.Жаднова, 1956; С.Д.Шер, 1961; И.К.Рундквист, 1992 и др.). В 60–80-е годы XX в. в углеродистых осадочных толщах были открыты и разведаны коренные месторождения золота — Сухой Лог, Вернинское, Невское, Высочайшее и многочисленные рудопоявления. Все они локализованы в рифей-вендских углеродистых карбонатно-терригенных и терригенных толщах (рис. 1), сформированных в относительно глубоком Бодайбинском бассейне на окраине Сибирской платформы в обстановке континентального рифтогенеза [6].

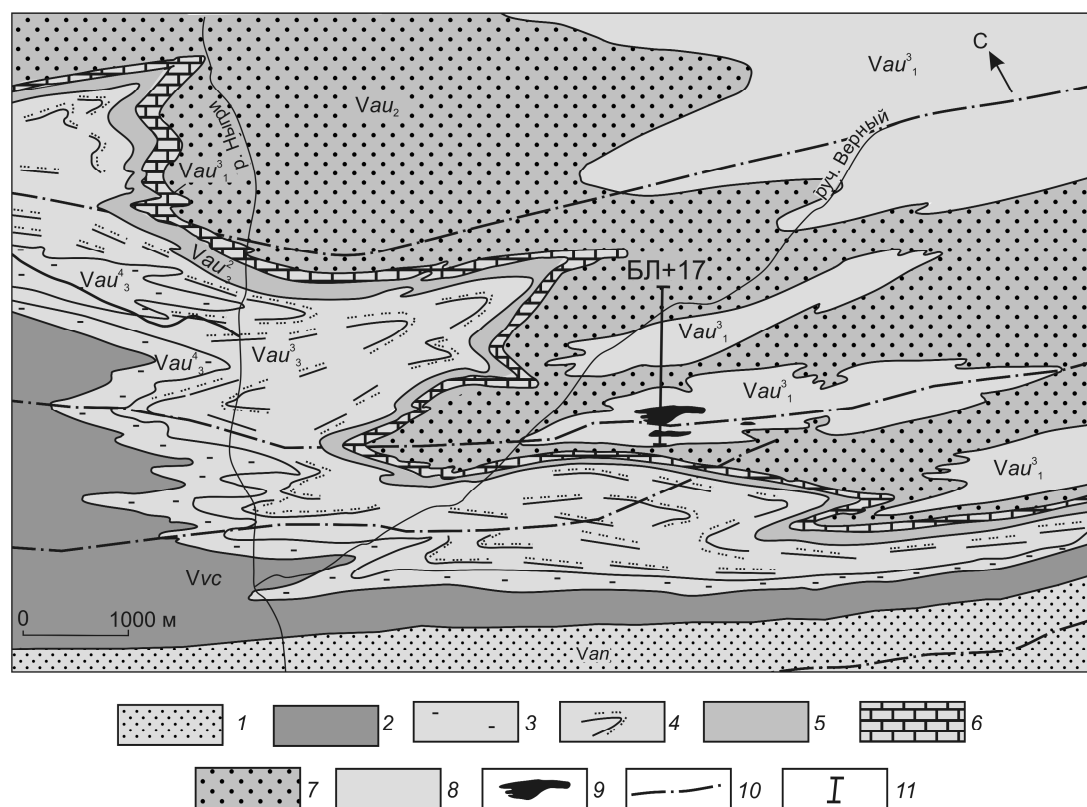


Рис. 2. Литолого-структурная карта западного фланга Вернинско-Невского рудного поля, по данным Кропоткинской ГРП:

вендские свиты: 1 — анангская (песчаники полимиктовые и аркозовые, прослои сланцев), 2 — вачская (сланцы, прослои песчаников); пачки верхней подсвиты аунакитской свиты: 3 — четвертая (слабоизвестковистые сланцы, алевролиты, тонкие прослои песчаников), 4 — третья (грубое переслаивание кварцевых песчаников, известковистых сланцев, алевролитов), 5 — вторая (известковистые сланцы с редкими прослоями песчаников), 6 — первая (известняки, известковистые сланцы, реже песчаники); 7 — средняя подсвита аунакитской свиты (сланцы, алевролиты, тонкие прослои известковистых песчаников); 8 — нижняя подсвита аунакитской свиты (переслаивание сланцев, алевролитов, песчаников, известковистых пород, горизонт известняка); 9 — рудные залежи; 10 — тектонические нарушения; 11 — линия разреза

Месторождение Вернинское расположено в центральной части одноименной антиклинали, сложенной осадочными породами аунакитской свиты вендского возраста (рис. 3). В свите мощностью 900–950 м, представленной переслаивающимися филлитовидными сланцами, алевролитами, песчаниками, известковистыми породами и известняками, выделены три подсвиты. В нижней, наиболее мощной, преобладают кварцевые песчаники, часто известковистые, с прослоями сланцев; средняя сложена преимущественно сланцами с подчиненными прослоями алевролитов, песчаников и известняков, верхняя — карбонатными породами с прослоями сланцев и песчаников. Отложения нижней и средней подсвит характеризуются тонкой слоистостью и ритмичным характером переслаивания осадочных пород. В слоистых пачках этих подсвит вблизи контакта с известняками в нормальном и опрокину-

том крыльях антиклинали, а также в ее приосевой части выделено несколько рудных залежей, согласных с напластованием пород.

Особенностями рудовмещающей толщи являются повышенное содержание и неравномерное распределение РОВ, а также широкое распространение в углеродистых тонкозернистых породах сингенетичного пирита. Содержание $C_{орг}$ в осадочных породах аунакитской свиты варьирует от десятых долей процента до 3,7% и зависит как от литофациальных условий формирования осадка, так и от степени вторичных преобразований. Основную массу РОВ составляет нерастворимое углеродистое вещество, присутствующее в виде тонко рассеянной и высокодисперсной вкрапленности до прожилковидных скоплений в песчаниках, линзовидно-полосчатых выделений в известняках, чешуйча-

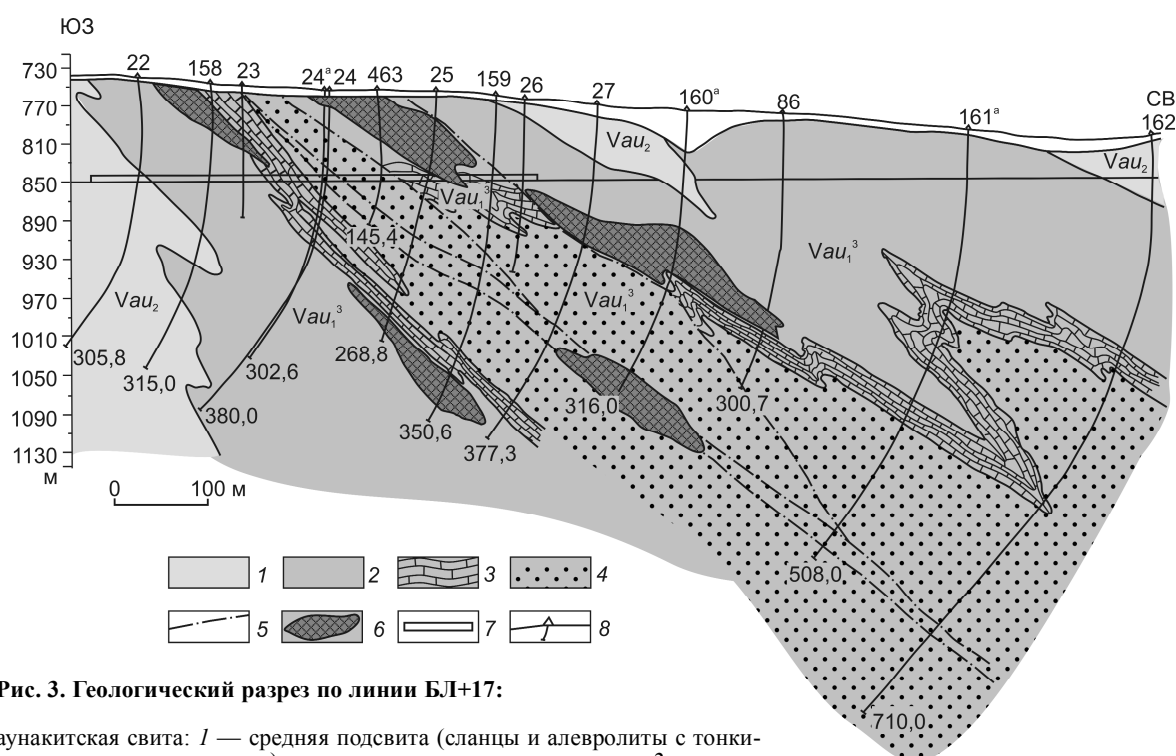


Рис. 3. Геологический разрез по линии БЛ+17:

аунакитская свита: 1 — средняя подсвита (сланцы и алевролиты с тонкими прослоями песчаников); нижняя подсвита, верхняя пачка: 2 — пере-
слаивание сланцев, слабоизвестковых алевролитов, кварцевых песчаников, известковых песчаников; 3 — известняки с тонкими прослоями известковых сланцев, 4 — кварцевые и известковые песчаники, алевролиты; 5 — тектонические нарушения; 6 — рудные залежи; 7 — горизонт штольни; 8 — буровые скважины

тых, линзовидных и шнуровидных сгустков в сланцах и алевролитах.

Выделения органического вещества как рассеянные, так и сегрегационные насыщены пылевидным глобулярным пиритом, количество которого зависит от содержания $C_{орг}$ в породе. Это подтверждается высоким положительным коэффициентом корреляции (0,65 в 26 пробах) между концентрациями органического углерода и сульфидной серы. Количество тонкозернистого пирита в высокоуглеродистых сланцах достигает 1–3, иногда 5%. Он образует рассеянную вкрапленность, сгустки и послойные скопления. С участками распространения глобулярного пирита в углеродистых осадочных комплексах аунакитской свиты связаны аномальные содержания золота, составляющие десятые доли грамм на 1 т. Такие участки наиболее характерны для антиклинальных замыканий складчатой структуры.

Степень золотоносности тонкого пирита, определенная путем расчета по содержанию золота и

сульфидной серы во вмещающих породах, в среднем составила 26 г/т (Е.А.Зверева, 1984). Исследования отдельных зерен раннего пирита на электронном сканирующем микроскопе* подтвердили его высокую золотоносность. В качестве примесей установлены также Ag, As, Ni и Co. При этом золото и другие микроэлементы распределяются в пределах глобулей крайне неравномерно. В центральных частях глобулярных выделений обнаружено максимальное содержание золота (607–790 г/т, среднее 698 г/т), As 0,076, Ni 0,049 мас. %; Ag и Co присутствуют в количествах ниже чувствительности метода (<0,0001%). В краевой части зерен золото практически отсутствует (<1 г/т), а содержание Ag увеличивается до 22,1 г/т, As до 0,253 мас. %.

Высокая золотоносность глобулярного пирита, сопоставимая с содержаниями золота в пиритах современных субмаринных колчеданных построек [11], послойный характер распределения в рудовмещающей толще и тесная ассоциация с РОВ свидетельствуют о формировании тонкозернистого

* Исследования выполнялись на электронном микроанализаторе СХА-773 в Центре импортного оборудования ИГФМ Украинской национальной АН (оператор А.С.Иванов).

1. Содержание $C_{орг}$ в осадочных породах аунакитской свиты, слагающих Вернинско-Невскую зону смятия

Породы	Южная антиклиналь	Опрокинутое крыло	Осевая зона Вернинской антиклинали	Нормальное крыло	Северная антиклиналь
Глинистые сланцы	1,30/15	0,75/8	1,35/9	1,21/27	1,32/5
Алевролиты	1,18/22	0,52/10	1,25/10	0,93/17	1,20/7
Песчаники	0,43/7	0,25/3	0,58/28	0,52/17	0,50/4
Известняки	0,41/8	0,20/12	0,44/11	0,40/5	0,40/3
Подсвиты, пачки	$au_2 + au_3$	au_1^3	au_1^3	au_1^3	au_1^3

Примечание. В числителе — содержание $C_{орг}$, %, в знаменателе — число анализов.

пирита из гидротермальных растворов на стадии седиментации. Гидротермально-осадочное происхождение тонкозернистого послойного пирита подтверждают результаты изотопных исследований, которые показали интервалы вариации $\delta^{34}S$ от +7 до +10‰ [8].

В пределах Вернинско-Невской зоны смятия отмечено усиление интенсивности метаморфических преобразований рудовмещающей толщи от оси главной антиклинали к флангам. Структурные изменения наиболее отчетливо прослеживаются в прослоях и горизонтах песчаников аунакитской свиты. Псаммитовые мелко-среднезернистые кварцевые песчаники с кварц-карбонатным контактовым, поровым, иногда базальным типом цементации распространены в осевой части антиклинали; на крыльях складки они сменяются кварцито-песчаниками, а за пределами складчатой структуры — кварцитами. В этом же направлении возрастает степень мраморизации известняков — от мелкозернистых, местами с реликтами оолитовой структуры, до мраморов.

Сингенетичные сульфиды, широко развитые в углеродистых сланцах, образуют последовательный морфогенетический ряд от оси антиклинали к флангам зоны: рассеянная и послойная пылевидная вкрапленность глобулярного пирита в осевой зоне → линзовидные («глазковые») выделения и прослои тонкокристаллического пирита на крыльях складки → мелколинзовидные выделения и прослои пирротина на флангах складчатой структуры и за ее пределами. Перекристаллизация сингенетичного пирита сопровождалась значительным снижением концентрации ряда элементов-примесей. В мелколинзовидных и послойных выделениях пирита и пирротина выявлены содержания Au и Ag ниже порога чувствительности анализа (<1 г/т),

концентрация As уменьшается до 0,019% в «глазковом» пирите и до 0,001% в пирротине.

Неравномерный динамометаморфизм углеродистой толщи, связанный с чередованием областей пластического выжимания и нагнетания разных размеров порядков, сопровождался изменением состава и содержания органического вещества. В поле переменных напряжений РОВ подвергалось карбонизации разной интенсивности. В осевой наименее метаморфизованной части антиклинали углеродистая фракция представлена преимущественно керитом и антраксолитом, на крыльях складки — шунгитом (П.В.Иншин, 1982)*. Изотопные исследования ОВ вмещающих пород и руд, проведенные в 2012 г. С.Г.Кряжевым, подтверждают, что выделенный битумный ряд керит-антраксолит-шунгит наследует осадочную природу морской органики. Наблюдаемые вариации значений изотопного состава $C_{орг}$ находятся в интервале от -18,0 до -22,4‰, среднее значение -20,1‰.

За пределами зоны смятия в породах, метаморфизованных в зеленосланцевой фации, примесь углеродистого материала по данным рентгеноструктурных и термографических исследований преобразована до графита слабоупорядоченной формы [1]. Наблюдаемая трансформация РОВ сопровождалась закономерным уменьшением содержания $C_{орг}$ во всех породах аунакитской свиты, более интенсивным в опрокинутом крыле главной антиклинали (табл. 1).

В пределах складчатой структуры выделена блок-пластина слабометаморфизованных пород мощностью около 700–800 м. Она приурочена к осевой части Вернинской антиклинали и характеризуется чередованием пород со сланцеватыми и

* Битумологические исследования проведены в МГУ и ГЕОХИ.

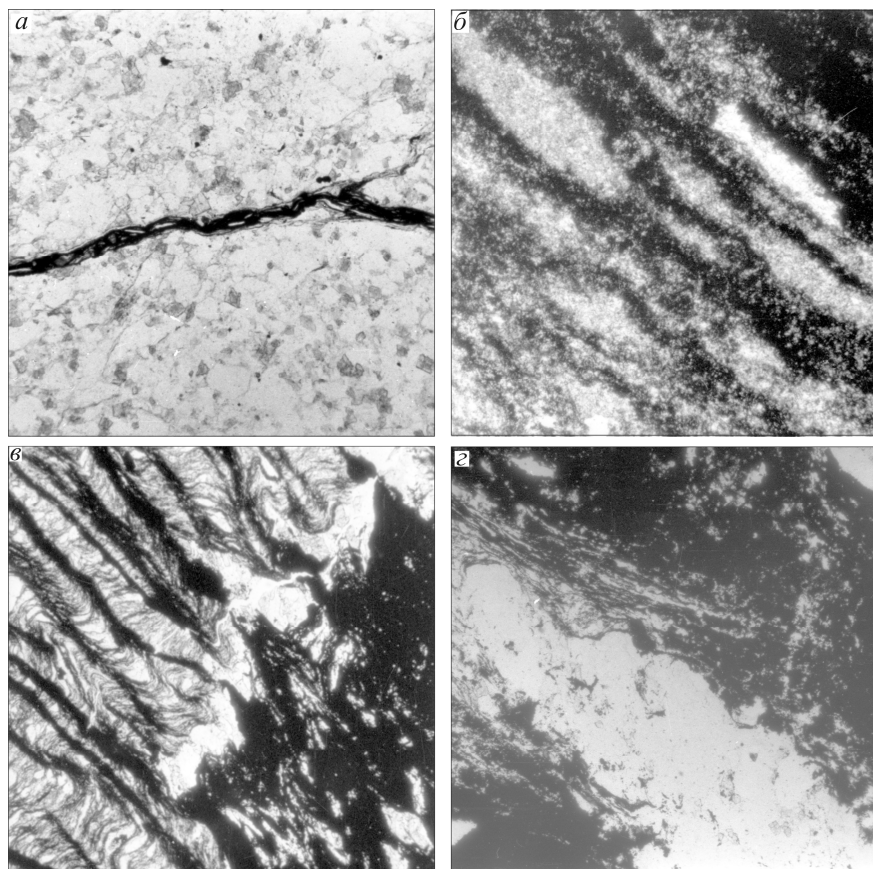


Рис. 4. Перераспределение РОВ в условиях пликативных деформаций осадочных пород аунакитской свиты:

а — прожилковидные скопления ОВ в мелкозернистом песчанике; *б* — линзовидно-полосчатые сегрегации в известняках; *в*, *г* — чешуйчатые, прожилковидные, линзовидные сегрегации ОВ и кварца в сланцах; ув. 32

неясно сланцеватыми текстурами, повышенным средним содержанием $C_{орг}$, а также высокой эффективной пористостью пород, особенно песчаников. Максимальная пористость свойственна песчаникам верхнего рудовмещающего горизонта ($P_{эф} = 3,01–3,35\%$) и уменьшается вниз по разрезу: к средним ($2,68–2,76\%$) и нижним ($0,87–1,29\%$) горизонтам [17]. С глубиной в осадочных породах намечается тенденция к уменьшению количества $C_{орг}$ и керита в составе битумов. В верхней части рудовмещающей толщи, в том числе и в рудах, керит резко преобладает над всеми разновидностями ОВ. Антиклиналильные складки более высокого порядка также фиксируются снижением интенсивности динамометаморфизма и повышением содержания $C_{орг}$.

В осевой зоне антиклинали, представляющей мощную зону нагнетания, широко проявлены гофрировка, будинаж, кливаж течения, которые сопро-

вождались локальным перераспределением тонкорассеянного ОВ и породообразующих минералов с образованием сегрегаций углеродистого и кварц-углеродистого составов в виде гнезд, линз и прожилков мощностью до первых десятых долей миллиметра (рис. 4). С этими деформациями связана высокая дисперсия содержаний $C_{орг}$ от 0,4 до 3,7% в сланцах, от 0,2 до 1,1% в песчаниках.

Области выжимания отличаются преимущественно плоскопараллельным залеганием слоев, отчетливой сланцеватостью осадочных пород, уменьшением концентрации $C_{орг}$ в 1,5–2 раза и равномерным распределением органического вещества вдоль кливажных трещин. Эффективная пористость песчаников на крыльях Вернинской антиклинали снижается до 0,63–0,77%. Судя по интенсивности преобразования осадочных пород и содержанию органиче-

ского углерода, наибольшее сжатие поперек сланцеватости испытали породы опрокинутого крыла антиклинали. Карбонизация РОВ в зонах повышенных стрессовых напряжений сопровождалась генерацией газообразных и жидких углеводородов, гетерогенных комплексов, H_2O , H_2S и формированием водно-углеводородных флюидов. Синхронно с деструкцией РОВ установлены перекристаллизация породообразующих минералов и сингенетичного пирита, перераспределение и вынос золота, которое могло экстрагироваться углеводородными флюидами и транспортироваться в области нагнетания.

Золото-сульфидная прожилково-вкрапленная минерализация сконцентрирована в осевой зоне Вернинской антиклинали, выделяющейся относительно повышенным содержанием углерода во всех породах аунакитской свиты. Однако влияние органического вещества на распределение продуктивной ассоциации сульфидов не выявлено. Наиболее

благоприятны для формирования пирит-арсенипиритовой ассоциации слабоуглеродистые, но наиболее проницаемые прослои и горизонты псаммитовых песчаников. Для вкрапленных метакристаллов сульфидов, особенно пирита, характерны видимые выделения золота размером в сотые доли миллиметра. Кроме свободного золота, в рудах присутствует трудноизвлекаемое, связанное с гидротермально-осадочным пиритом, в меньшей степени с органическим веществом. Сингенетичный пирит образует тонкую вкрапленность как в углеродистом веществе, так и в метакристаллах продуктивной ассоциации. По данным анализа технологических проб ФГУП «ЦНИГРИ» упорное золото составляет 9–25% (И.Д.Фридман и др., 1979).

Органическое вещество, находящееся в рудах и вмещающих породах, имеет сложный фракционно-групповой состав. Его изучение по классической схеме [7] показало, что оно состоит из тонкорассеянного нерастворимого углеродистого вещества (керогена) и незначительного количества битумоидов — хлороформенных (ХБ) и спирто-бензольных (СББ). По данным В.А.Виленина [13], суммарное содержание битумоидов увеличивается по направлению к рудной зоне примерно в 1,5 раза, при этом относительное содержание хлороформенного битумоида снижается, а спирто-бензольного возрастает в 3,5–4,5 раза. В рассеянном органическом веществе из околорудной зоны установлена концентрация ХБ 0,7%, СББ 0,2%, в рудной зоне соответственно 0,42–0,57% и 0,66–0,94%.

В Институте геохимии СО РАН им. В.И.Вернадского (г. Иркутск) проведено комплексное исследование компонентов РОВ, наиболее обогащенных золотом — спирто-бензольных битумоидов. О содержании золота в различных фракциях битумоида можно судить по данным анализов пробы, отобранной на контакте с рудной залежью (карьер, нормальное крыло антиклинали), представленной углеродистыми алевритами и сланцами с содержанием $C_{орг}$ 1,2% и Au 0,6 г/т. Содержание спирто-бензольных битумоидов в исходной породе не превышает 0,0038%.

Результаты анализа показали, что в битумоиде (СББ) присутствуют две формы золота: химически связанное (фильтрат) и свободное, амальгамируемое и осевшее на фильтре с осадком сульфида ртути. Золото в осадке может присутствовать в виде восстановленных форм коллоидных высокодисперсных частиц [18]. Кроме того, свободная форма металла в битумоидах может существовать в виде ультрадисперсных кластерных частиц [5, 10]. В спирто-бензольном битумоиде из сланцев золоторудного Вернинского месторождения преобладает свободное

2. Групповой состав спирто-бензольного битумоида и содержание золота во фракциях

Фракции, %		Au, г/т
Углеводороды	41,00	0,04
Бензольные смолы	17,22	0,12
Спирто-бензольные смолы	22,10	0,28
Асфальтеновые кислоты	12,03	0,91
Асфальтены	6,05	3,15

золото, отделяющееся от экстракта и переходящее в осадок.

Все выделенные фракции битумоида содержат золото, но наибольшей золотоносностью отличаются асфальтены и асфальтеновые кислоты (табл. 2), на долю которых приходится не более 20% битумоида. Концентрация золота определялась методом атомной абсорбции на атомно-абсорбционном спектрофотометре Perkin-Elmer-603 с атомизатором НУА-500. Чувствительность метода $5 \cdot 10^{-7}$ мкг/мл [3].

Извлечение нерастворимого углеродистого вещества осуществлялось из предварительно дебитуминизированных углеродистых сланцев [16]. В результате последовательных операций получен ряд концентратов (табл. 3). В первых четырех концентратах отмечается увеличение содержания углерода и золота, в следующих продуктах флотации — содержание металла снижается.

Последний концентрат ($C_{орг}$ 43%) был подвергнут кислотной обработке с целью дальнейшего обогащения, т.е. получения более высокоуглеродистого вещества. Однако концентрацию углерода не удалось повысить. В данном концентрате, кроме углерода и золота, зафиксированы железо в количестве около 30% и мышьяк 0,25%. Это подтверждает, что нерастворимое органическое вещество представляет собой устойчивую ассоциацию углерода, сульфидов и золота. Подобного рода ассоциации выявлены также в рудах месторождения Сухой Лог [2, 14], что свидетельствует о связи углерода, сульфидов и золота на стадии седиментации.

3. Содержание углерода и золота в концентратах НУВ

Продукт	C, мас. %	Au, г/т
Исходная проба	1,20	0,60
Концентраты:		
1	5,12	2,41
2	8,48	4,12
3	18,71	6,05
4	23,35	5,15
5	29,11	2,98
6	39,96	0,55
7	43,00	0,68

Из сказанного можно заключить, что определяемое золото, накапливающееся при обогащении, связано с глобулярным пиритом, покрытым пленкой ОВ, которая предохраняет его от кислотной деструкции [12]. При дальнейшей кислотной обработке концентрата ($C_{\text{орг}} 29,11\%$) металл высвобождается в виде ультратонких легкоподвижных частиц, способных выделяться из сульфидов и легко перемещаться.

Таким образом, в битумоидах Вернинского месторождения установлены две формы золота — свободное и химически связанное, которое образует с растворимой компонентой ОВ прочные связи. Из этого следует, что подвижные компоненты битумов способны концентрировать и транспортировать металл из зон повышенных напряжений в области разгрузки.

Полученные в результате проведенных исследований данные позволили сделать следующие выводы:

с процессами складчатости и метаморфизма углеродистых осадочных толщ Бодайбинского бассейна по времени сопряжена активная миграция золота в составе растворимых компонентов РОВ. На направление миграции флюидных потоков и концентрацию золотосодержащих битумоидов существенно влияло сочетание литологических и деформационных факторов. Решающий фактор миграции золота в составе углеродсодержащих компонентов — разница напряжений в областях выжимания и нагнетания; органическое вещество в осадочных породах Вернинского месторождения представлено широким спектром нафтидов — от керита до графита. Их концентрация, состав и характер распределения контролируются складчатостью;

наиболее интенсивная трансформация РОВ в областях выжимания сопровождалась образованием водно-углеводородных флюидов. Одновременно с дебитуминизацией ОВ происходили перекристаллизация осадочных пород и глобулярного пирита, высвобождение золота и экстрагирование его метаморфогенными растворами;

наличие золота в составе многих фракций РОВ свидетельствует о существенной роли органических веществ в концентрировании и миграции рудного вещества. Наиболее активными транспортерами высокодисперсного восстановленного и химически связанного золота являются фракции битумоидов, обогащенные кислородом (асфальтены, асфальтеновые кислоты). Высокая растворимость золота в асфальтенах доказана экспериментально в СНИИГГиМС [15]. В этой битумоидной фракции концентрация металла может достигать нескольких десятков и сотен грамм на 1 т;

продуктивные золото-сульфидные залежи, сформировавшиеся в эпоху позднего палеозоя, являются результатом взаимодействия гидротермальных растворов с битуминозными осадочными породами, обогащенными золотом. Золото, связанное с растворимыми и нерастворимыми компонентами ОВ, может быть одним из потенциальных источников металла. Исходя из метаморфогенно-гидротермальной концепции, битумоиды органического вещества Вернинского месторождения можно рассматривать как реликты водно-углеводородных флюидов, транспортировавших золото к месту разгрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А.Л., Коткин В.В., Иванов С.И. О природе органического вещества в метаморфических сланцах Бодайбинского района // Геология и геофизика. 1976. № 9. С. 135–138.
2. Благородные металлы и углеродистое вещество в рудах месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия) / Э.А.Развозжаева, В.Ю.Прокофьев, А.М.Спирidonов и др. // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 2. С. 116–124.
3. Валл Г.А., Воронаева Е.В. Прямое атомно-абсорбционное определение металлических примесей в растворимых органических веществах // Региональная конференция. Аналитика Сибири — 86. Тез. докл. Новосибирск, 1986. Ч. 1. С. 44.
4. Геодинамические условия формирования золоторудных месторождений Бодайбинского неопротерозойского прогиба / М.И.Кузьмин, В.В.Ярмолюк, А.И.Спирidonов и др. // Докл. РАН. 2006. Т. 407. № 6. С. 793–797.
5. Губин С.П. Химия кластеров. Достижения и перспективы // Журнал Всесоюзного геохимического общества. 1987. Т. 3. № 1. С. 3–11.
6. Иванов А.И. Основные черты геологического строения и золотоносность Бодайбинского рудного района // Руды и металлы. 2008. № 3. С. 43–61.
7. Корчагина Ю.П., Четверякова С.П. Методы исследования рассеянного органического вещества осадочных пород. — М.: Недра. 1976.
8. Кряжев С.Г., Ганжа Г.Б., Двуреченская С.С. Парагенезисы золота с сульфидами в черных сланцах Сухоложского рудного района // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Мат-лы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию Н.В.Перовской. М., 2010. Т. 1. С. 298–300.
9. Ленский золотоносный район / Ю.П.Казакевич, С.Д.Шер, Т.П.Жаднова и др. — М.: Недра. 1971. Т. 1.
10. Летников Ф.А. К проблеме синергетики геологических систем // Геология и геофизика. 1993. Т. 34. № 1. С. 34–37.
11. Невидимое золото в сульфидах субмаринных колчеданных построек / Н.С.Бортников, Л.Кабри, И.В.Викентьев и др. // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 3. С. 228–240.

12. *Новые данные по платиносности золотых руд месторождения Сухой Лог (Ленский золоторудный район, Россия) / В.В.Дистлер, М.А.Юдовская, Э.А.Развозжаева и др. // Докл. РАН. 2003. Т. 393. № 4. С. 524–527.*
13. *Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе / В.Л.Русинов, О.В.Русинова, С.Г.Кряжев и др. // Геология рудных месторождений. 2008. Т. 50. № 1. С. 3–45.*
14. *Парагенетические отношения пирита, углерода и золота на месторождении Сухой Лог и типоморфизм поверхности пирита / В.Л.Таусон, В.К.Немеров, Э.А.Развозжаева и др. // Докл. РАН. 2009. Т. 426. № 4. С. 528–532.*
15. *Попова М.В., Шаламов И.В. Золото в нефтях и нефтематеринских породах (на примере Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции) // Природные битумы и тяжелые нефти: Мат-лы Международной научно-практической конференции к столетию со дня рождения В.А.Успенского. СПб., 2006. С. 458–472.*
16. *Развозжаева Э.А. Метод извлечения нерастворимого органического вещества из метаморфических пород докембрия // Литология и полезные ископаемые, 1978. № 6. С. 144–145.*
17. *Царев В.В. Геологические условия образования месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации (Северное Прибайкалье): Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – М., 1984.*
18. *Царькова Л.А., Бирюкова М.В., Лазарева Е.В., Перцов Н.В. К методике фракционирования морских осадков шельфовой зоны для определения в них тонкодисперсного золота // Геохимия. 1993. № 6. С. 879–881.*
19. *Шашорин Б.Н., Толкачев А.Е., Афанасьева Р.Н. Покровно-складчатые деформации и золотоносность Ходоканского рудного поля // Отечественная геология. 2004. № 6. С. 17–22.*