

Служеникин С.Ф., Дистлер В.В., Дюжиков О.А. и др. Малосульфидное платиновое ору-
дование в норильских дифференцированных интрузивах // Геология рудных месторождений.
1994. Т. 36. С. 195–217.

Туровцев Д.М. Контактный метаморфизм норильских интрузий. М.: Научный мир, 2002.
319 с.

Юдовская М.А. Хромиты расслоенных интрузивов и проточных магматических каналов
как ключ к пониманию процессов рудообразования // Металлогения древних и современных
океанов–2019. Четверть века достижений в изучении субмаринных месторождений. Миасс:
ИМин УрО РАН, 2019. С. 32–35.

Howarth G.H., Prevec S.A., Zhou M.F. Timing of Ti-magnetite crystallisation and silicate dis-
equilibrium in the Panzhihua mafic layered intrusion: implications for ore-forming processes // Lithos.
2013. Vol. 170. P. 73–89.

Pleše P., Higgins M.D., Baker D.R., Lanzafame G., Kudrna Prašek M., Mancini L., Rooyak-
kers S.M. Production and detachment of oxide crystal shells on bubble walls during experimental
vesiculation of andesitic magmas // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2019. Vol. 174. P. 21.

Ryabov V.V., Gora M.P., Shevko A.Y. Trap magmatism and ore formation in the Siberian
Noril'sk region. Springer, 2014. 625 p.

Yudovskaya M.A., Kinnaird J.A. Chromite in the Platreef (Bushveld Complex, South Africa):
occurrence and evolution of its chemical composition // Mineralium Deposita. 2010. Vol. 45. P. 369–391.

О.Б. Азовскова, М.Ю. Ровнушкин

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

oazovskova@yandex.ru

Органическое вещество в эндогенных процессах (на примере ряда уральских объектов)

Органическое или углеродистое вещество (ОВ, УВ) – от нефтеподобных про-
дуктов и битумов до фаз свободного углерода (графит, углистое вещество и т. п.) –
присутствует в различных геологических образованиях и комплексах. Оно участвует
в различных, в том числе рудообразующих, процессах, активно влияя на их химизм,
минералого-геохимические особенности руд и метасоматитов [Банникова, 1990;
Disnar, Sureau, 1990; Буслаева, Новгородова, 1999; Азовскова и др., 2013]. Это касается
не только характерных черносланцевых образований, обогащенных УВ пород и угле-
родистых метасоматитов [Метасоматизм..., 1998; Рапопорт и др., 2001], но и пород и
метасоматитов, содержащих рассеянное органическое вещество (РОВ), преимуще-
ственно, битумное, присутствие которого определяется только аналитическими мето-
дами. В прикладном плане углеродистое (органическое) вещество может выступать
как один из факторов мобилизации и концентрации рудных компонентов, и в то же
время как осложняющий фактор при переработке руд.

До недавнего времени УВ в золотоносных «черносланцевых» или «углероди-
сто-терригенных» комплексах считалось первично осадочным, преобразованном *in situ*
под воздействием региональных и метасоматических процессов. Однако в последнее
время появляется все больше данных, подтверждающих значительную роль и флюидо-
генную природу «наложенной» углеродизации, углеродистого метасоматоза и проявлен-
ний минерализации РОВ. Это рассматривается как характерный признак воздействия

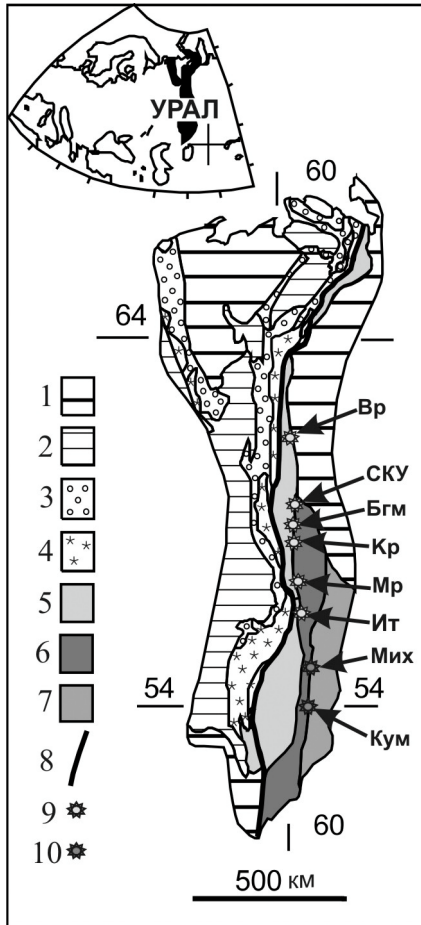


Рис. Положение объектов исследований в структурах Урала.

1 – мезо-кайнозойские отложения; 2 – Предуральский прогиб; мегазоны (3–7): 3 – Западно-Уральская, 4 – Центрально-Уральская, 5 – Тагильская и Магнитогорская, 6 – Восточно-Уральская, 7 – Зауральская; 8 – Главный Уральский глубинный разлом; 9 – объекты исследований в зоне сочленения Тагильской, Магнитогорской и Восточно-Уральской мегазон: Вр – Воронцовское месторождение (Au), СКУ – Северо-Красноуральская площадь (Au), Бгм – Богомоловское месторождение (Au), Кр – Красноуральская площадь (Au), Мр – Мраморская площадь (Au), Ит – Иткульская площадь; 10 – объекты исследований в зоне сочленения Восточно-Уральской и Зауральской мегазон: Мих – Михеевское месторождение ((Au,Mo)-Cu), Кум – Кумакское рудное поле (Au).

сверхглубинных флюидных систем [Летников, 2013]. Этим объясняется и обычная связь обогащенных УВ пород и комплексов с глубинными разломными структурами, зонами смятия и т. д. Углеродистое (органическое) вещество может играть различные роли в рудном процессе, такие как 1) один из компонентов рудогенерирующих флюидов, 2) буферирующее вещество при многоступенчатом процессе рудоотложения, 3) восстановительный геохимический барьер, 4) источник для мобилизации золота или других металлов при воздействии гидротермальных растворов на обогащенные

этим компонентами «углеродистые» образования различного генезиса. Природа ОВ при этом может быть первично биогенной, эндогенной или смешанной (микстогенетической).

Проявления наложенной «углеродизации» и присутствие флюидогенных ОВ установлены и на ряде объектов (месторождения, перспективные площади) восточного склона Урала [Рапопорт и др., 2001; Азовскова и др., 2013; Азовскова, Ровнушкин, 2015; Murzin et al., 2017] (рис.), при этом часто они пространственно и генетически связаны с проявлениями низкотемпературного метасоматоза (аргиллизации).

Выделяются следующие основные признаки наложенного характера ОВ/УВ и углеродистого метасоматоза: 1) несоответствие степени преобразования УВ уровню метаморфизма вмещающих пород; 2) совместное нахождение нескольких разновидностей УВ, не связанных последовательными переходами; 3) отсутствие четкой приуроченности УВ к определенным литологическим и стратиграфическим разностям пород; 4) обогащение органическим (углеродистым) веществом зон тектонических нарушений; 5) признаки метасоматической зональности, определяемые на макро- и микроуровнях; 6) примеры прямого замещения некоторых минералов углеродистым веществом.

Распространение различных типов УВ на объектах восточного склона Урала

Зо-ны	Объекты	Литологические разности пород, в которых присутствует УВ	Типы УВ
Зона I	Воронцовское золоторудное месторождение	Известняки и известняковые брекчи, туфогенно-осадочные породы, дайки среднего-основного состава (краевые части)	Битумы керитового ряда, преимущественно растворимые. ХБ – до 466 мг/кг
	Северо-Красноуральская площадь	Серпентиниты и апосерпентинитовые породы, вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы, дайки и тела гранитоидов (краевые части)	Битумы керитового ряда (в т. ч. растворимые), очень редко – антракосолит и графит. ХБ – до 443 мг/кг
	Богомоловское золоторудное месторождение	Вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы андезитового и дацитового состава (обычно рассланцованные и катаклазированные), краевые части даек, <u>зальбанды жил</u>	Битумы керитового ряда (в т. ч. растворимые), сажистое (рентгеноаморфное) УВ, редко графит. ХБ – до 114 мг/кг
	Мраморская площадь	Сланцы метаморфогенно-метасоматические, мрамора, апосерпентинитовые породы, краевые части даек и жил, <u>коры выветривания по различному субстрату</u>	Графит, битумы антракосолитового ряда, битумы керитового ряда (в т. ч. растворимые), реже – сажистое (рентгеноаморфное) УВ. ХБ – до 462 мг/кг
	Иткульская площадь	Сланцы метаморфические (амфиболитовая фация метаморфизма), мрамора	Графит, битумы керитового ряда (в т. ч. растворимые) реже битумы антракосолитового ряда. ХБ – до 336 мг/кг
Зона II	Кумакское золоторудное месторождение	Сланцы метаморфогенно-метасоматические	Шунгитоподобное УВ, битумы керитового ряда (в т. ч. растворимые), пироуглерод. ХБ – 80–93 мг/кг
	Михеевское Си-порфировое месторождение	Установлено в аргиллизитовых метасоматитах; графит – единственный в дайках	Битумы керитового ряда, редко графит (нет данных по содержанию ХБ)

Примечание. Зона I – область сочленения Тагильской и Восточно-Уральской мегазон: зона Серовско-Маукского глубинного разлома и оперяющие структуры. Зона II – область сочленения Восточно-Уральской и Зауральской мегазон. Подчеркнуты разности пород, где чаще встречается УВ и наиболее им обогащенные. ХБ – хлороформенная фракция растворимых битумов.

Для изучения ОВ/УВ использованы рентгеноструктурный и термический анализы пород и обогащенных проб, оптическая и люминесцентная микроскопия, исследование с помощью СЭМ с ЭДС, микрондовые исследования, CHNS анализ, ИСПМС анализ пород и растворимых ОВ (хлороформенный экстракт, ХБ), ИК (породы и ХБ экстракт) и ЯМР (ХБ экстракт) спектроскопия, битуминологический анализ с предварительной экстракцией и выделением различных фракций ОВ, изотопия углерода $\delta^{13}\text{C}$ (углеродистые породы). Общая характеристика видового состава органического (углеродистого) вещества на исследованных объектах приведена в таблице.

Из таблицы видно, что наибольшее разнообразие видового состава УВ характерно для Мраморской площади, что может свидетельствовать о нескольких возрастных этапах «углеродизации». Общим для всех объектов является присутствие низкотемпературных битумов, относящихся к низшим керитам, и значимые количества растворимых углеводов. Количество растворимого ОВ может значительно отличаться как в пределах одного объекта, так и в конкретных литологических разностях пород, но, как правило, более высокие средние содержания характерны для выделяемых золоторудных зон и рудных блоков.

Проведенные исследования показали, что связь эндогенной углеродизации с рудными процессами, с одной стороны, достаточно очевидна, с другой – не всегда явная и необязательно прямая. Совместное нахождение битумов и тонкого микронного золота наблюдалось в мраморах и листовитоподобных породах Мраморской площади, а также в аргиллизированных породах Северо-Красноуральской площади и Михеевского Су-порфирикового месторождения. При отработке Богомоловского месторождения в 30–40-х гг. XX в. в некоторых случаях отмечалось присутствие жидких битумов в зальбандах золотоносных кварцевых жил (архивные данные). На Воронцовском месторождении максимальные содержания золота приурочены к наиболее обогащенным углеродистым веществам известняковым брекчиям.

Характер «углеродистых процессов» на изученных объектах сильно варьирует по интенсивности, предполагаемым этапам и времени проявления, однако практически всегда проявлена поздняя стадия (низкотемпературные битумы и битумоиды со слабой степенью окисленности), вероятно, связанная с позднемезозойским и мезо-кайнозойскими этапами активизации уральских структур. Такая связь подчеркивается еще одной особенностью – присутствием аргиллизитовых образований с пиритом (\pm другие сульфиды) и самородными металлами.

Работа выполнена в рамках темы № 0393-2018-0031 государственного задания ИГГ УрО РАН.

Литература

Азовскова О.Б., Ровнушкин М.Ю. Органическое вещество в рудоносных аргиллизитах Михеевского медно-порфирикового месторождения (Южный Урал) // Матер. научн. конф. памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 18. Пермь, 2015. С. 30–35.

Азовскова О.Б., Ровнушкин М.Ю., Корякова О.В., Кодесс М.И., Чердниченко Н.В., Янченко М.Ю. Углеродистое вещество из рудоносных комплексов некоторых золоторудных месторождений Восточного склона Урала // IV Рос. совещ. по орган. минерал. Черноголовка, 2013. С. 5–8.

Банникова Л.А. Органическое вещество в гидротермальном рудообразовании. М.: Наука, 1990.

Буслаева Е.Ю., Новгородова М.И. Элементоорганические соединения в проблеме миграции рудного вещества. М.: Наука, 1999.

Летников Ф.А. Синергетические аспекты образования глубинной нефти // Глубинная нефть. 2013. Т. 1. № 6. С. 790–810.

Метасоматизм и метасоматические породы / Ред. В.А. Жариков, В.Л. Русинов. М.: Научный мир, 1998.

Рапопорт М.С., Азовскова О.Б., Кузнецов В.Н. Геологическое строение, метаморфизм и золотое оруденение Мраморской зоны смятия (Средний Урал) // Проблемы геологии и рудообразование в геологической истории Урала. Екатеринбург, 2001. С. 55–72.

Disnar J.R., Sureau J.F. Organic matter and ore genesis – progress and perspectives // Organic Geochemistry. 1990. Vol. 16. Is. 1–3. P. 577–599.

Murzin V.V., Naumov E.A., Azovskova O.B., Varlamov D.A., Rovnushkin M.Yu., Pirajno F. The Vorontsovskoe Au–Hg–As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 271–298.

И.В. Чаплыгин

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии РАН, г. Москва,
ichap@igem.ru*

Критические металлы в фумаролах

Высокотемпературные фумарольные обстановки, связанные с дегазирующими магматическими очагами, могут быть условно отнесены к рудообразующим системам, поскольку, несмотря на имеющиеся, например, высокосортные руды Мо и Ре на вулкане Кудрявый (о-в Итуруп, Курильские острова), их объем мал и не позволяет их извлекать. Тем не менее, фумарольные газы могут рассматриваться как аналоги рудообразующих флюидов, а изучение процессов эксгальционного минералообразования дает информацию для понимания условий образования месторождений в субдукционных обстановках. Изучая фумарольные системы, можно измерять содержание металлов в газах и вынос газов и оценивать продуктивность магматических систем. Минералогические данные позволяют рассуждать о первичных минеральных формах вещества в глубинном процессе образования руд, связанном с дегазацией магм и недоступном для непосредственного изучения.

В настоящей работе рассмотрены геохимия и минералогия отдельных элементов, относимых к критическим, в фумарольных системах. В частности, концентрации и поведение этих элементов в вулканических газах, минеральные формы в эксгальционных рудных образованиях.

По данным анализа конденсатов концентрации In в конденсатах вулкана Кудрявый составляют до 115 мг/т, рения порядка 10 мг/т (до 100 мг/т). Несмотря на единичные находки рениевых минералов и отсутствие находок минералов индия в фумарольной обстановке на других вулканах, концентрации этих металлов в газовых конденсатах разных вулканов показывают схожие значения (мг/т): на вулкане Толбачик (Камчатка) – 20 Re, 202 In (2012–2013 гг. 1030 °С) [Chaplygin et al., 2016], на вулкане Горелый (Камчатка) – 17 Re, 112 In (~900 °С) [Чаплыгин и др., 2015], на рифтовом