

РОЛЬ УГЛЕРОДИСТОГО ВЕЩЕСТВА В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ПОРОДАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТИМ-ЯСТРЕБОВСКОЙ СТРУКТУРЫ ВКМ В КОНЦЕНТРАЦИИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

В. В. Абрамов

Воронежский государственный университет

На основе петрографических и аналитических данных показано распределение органического углерода и углеродистого вещества в разрезе нижнетимской подсвиты Тим-Ястребовской структуры. Выявлена четкая взаимосвязь между содержаниями этих компонентов и повышенными концентрациями элементов платиновой группы и золота. Впервые введен коэффициент, статистически обосновывающий перспективность пород на благородные металлы.

1. ВВЕДЕНИЕ

В пределах Тим-Ястребовской рифтогенной по своей природе синклинойной структуры Воронежского кристаллического массива широко развиты углеродистые стратифицированные образования раннего докембрия. Актуальность их изучения во многом объясняется повышенными содержаниями в них элементов платиновой группы (ЭПГ) и золота.

В центральной части Луневско-Введенского участка (рис. 1) скважинами (скв.) № 4011, 4014, 4015 и 4330 вскрыты метаморфические породы нижнетимской подсвиты оскольской серии, концентрирующие углеродистое вещество и благородные металлы. Эти породы относятся к так называемым «черным сланцам».

Согласно систематике для регионально метаморфических пород пониженных температур и давлений в составе нижнетимской подсвиты Луневско-Введенского участка выделяются две группы: метапелитов и силикатно-карбонатных и карбонатных пород [5]. Метапелиты представлены сланцами и метапесчаниками, а силикатно-карбонатные породы – мраморизованными известняками. Из петрографических особенностей изучаемых пород следует отметить наложенные окварцевание, сульфидизацию, прожилки карбонатного состава, а также отдельные виды пород с повышенными содержаниями хлоритов, гранатов и турмалина.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Минералогия, петрография и содержания углеродистого вещества сланцев изучены на базе

полевой документации керн скважин, а также петрографического описания шлифов. Морфология выделений углеродистого вещества анализировалась в аншлифах. Для изучения взаимосвязи состава пород и оруденения использованы результаты аналитических исследований благородных металлов, опубликованные Н. М. Чернышовым [8], а также выполненные ГПП «Югозапгеология», НПП «Хорс» (г. Курск). Определение содержания органического углерода ($C_{орг}$) проводилось в лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) кулонометрическим методом.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДИСТОГО ВЕЩЕСТВА

Проблема металлоносности высокоуглеродистых стратифицированных комплексов непосредственно связана с природой углерода. В настоящее время существует две основные версии происхождения углеродистого вещества черных сланцев. Первая из них связана с представлениями об эндогенной природе черных сланцев. Предполагается, что образование черносланцевых формаций связано с периодами усиления дегазации жидкого ядра Земли, сопровождаемыми генерацией восходящих водородных флюидов, в которых возникали углеводородные соединения за счет свободного углерода и карбидов, содержащихся в мантии. При поступлении флюидов в морские бассейны развивались реакции диспропорционирования, ведущие к обогащению осадочных образований свободным углеродом [7].

Вторая версия является общепринятой и рассматривает углеродистое вещество, как продукт разложения живой материи и преобразова-

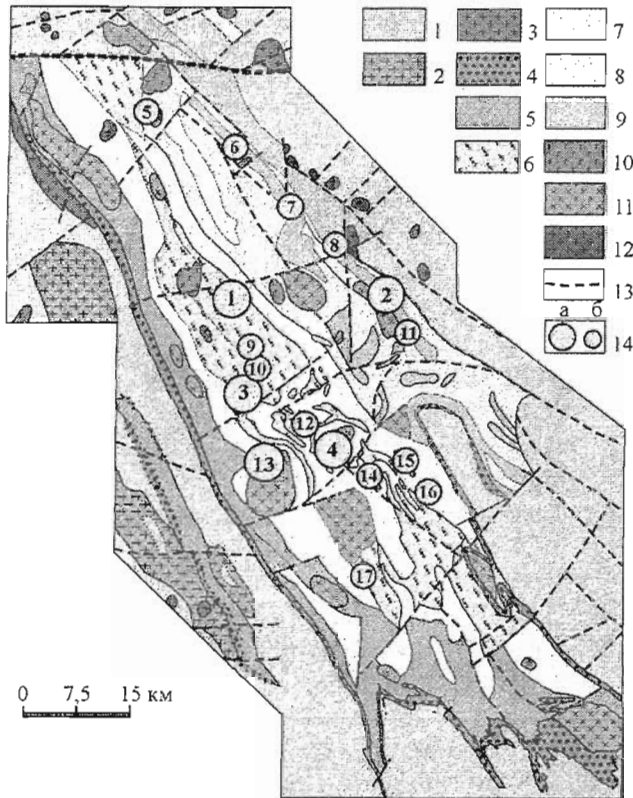


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Тим-Ястребовской золото-платиноносной структуры ВКМ по [6]: 1 — обоянский плутоно-метаморфический комплекс (AR_{1ob}); 2 — салтыковский комплекс мигматит-плагиигранитовый (AR_{2sl}); 3 — атамановский комплекс умеренно-щелочных гранитов (AR_{2a}); 4—12 — Раннекарельские образования: 4 — курская серия (K_1ks); 5—9 — оскольская серия: 5 — роговская свита (K_1rg); 6—9 — тимская свита, нижняя и верхняя подсвиты: 6—7 — нижняя тимская подсвита (K_1tm_1): 6 — существенно терригенная: углеродистые сланцы, метапесчаники, метаалевролиты; 7 — вулканогенно-терригенная: ортосланцы основного и среднего состава, амфиболиты, углеродистые сланцы; 8—9 — верхняя тимская подсвита (K_1tm_2): 8 — нижняя терригенно-углеродистая толща (метапесчаники, карбонатные сланцы, амфиболиты); 9 — верхняя вулканогенная толща (ортосланцы ультраосновного, основного и среднего состава, амфиболиты, метапесчаники); 10 — золотухинский перидотит-пироксенит-габброноритовый комплекс (K_1z); 11 — стойло-николаевский диорит-гранодиоритовый комплекс (K_1sn); 12 — малиновский гранитный комплекс (K_1m); 13 — тектонические нарушения; 14 — рудопроявления (а) и пункты минерализации (б): 1 — Луневское, 2 — Кшенское, 3 — Погоженское, 4 — Прилепское, 5 — Сергиевский, 6 — Верхне-Березовский, 7 — Луговской, 8 — Панской-I, 9 — Северо-Тимской, 10 — Тимской, 11 — Рогозецкий, 12 — Южно-Погоженский, 13 — Роговское, 14 — Зареченский, 15 — Петровский, 16 — Безленкинский, 17 — Крутоверховской

ния органического вещества. В общем виде органическое вещество (О.В.) может быть трех типов: гумусового (терригенного), сапропелевого (аквагенного) и переходного сапропелево-гумусового типов. Гумусовое органическое вещество образуется при распаде растительных тканей материков, а сапропелевое (водорослевое) О.В. содержит продукты распада фитопланктона. Фанерозойское органическое вещество может быть представлено всеми тремя типами, а О.В. докембрийских морей имеет исключительно сапропелевое происхождение. В процессе метаморфизма происходит разрушение структуры органических соединений. Как для гумусового, так и для сапропелевого органического вещества конечные продукты метаморфизма одни и те же: сначала графитит, затем нормальный (двухмерно или трехмерноупорядоченный) графит, характеризующие минеральную форму нахождения в природе углерода органического происхождения [3].

В работе Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис «Геохимия черных сланцев» [9] сформулировано определение для термина «черные сланцы» — это водно-осадочные горные породы, обычно темные, пелитоморфные и сланцеватые, обогащенные сингенетичным органическим веществом преимущественно аквагенного и отчасти терригенного типов.

В качестве граничного содержания органического углеродистого вещества между нормальными (неуглеродистыми) осадочными породами и черными сланцами принята величина $C_{орг} > 1\%$. По содержанию углеродистого вещества (У.В.) черносланцевые породы подразделяются на высокоуглеродистые (У.В. $> 50\%$ отн.; $C_{орг} = 7-20\%$ мас.), углеродистые (У.В. — $20-50\%$ отн.; $C_{орг} = 3-7\%$ мас.) и малоуглеродистые породы (У.В. $< 20\%$ отн.; $C_{орг} < 3\%$ мас.) [6, 8, 9].

Изученные породы нижнетимской подсвиты содержат в своем составе значительные количества углеродистого вещества (до 55—60%), при этом содержания органического углерода в породах может достигать 18,71% мас. (рис. 2). В целом, в разрезе толщи распределение углеродистого вещества носит ритмичный характер. Особенно четко ритмичность проявлена в скв. № 4330, где можно уверенно выделить три ритма мощностью 115—120 м. В верхних частях ритмов преобладают высокоуглеродистые и углеродистые породы, а в нижних частях — ма-

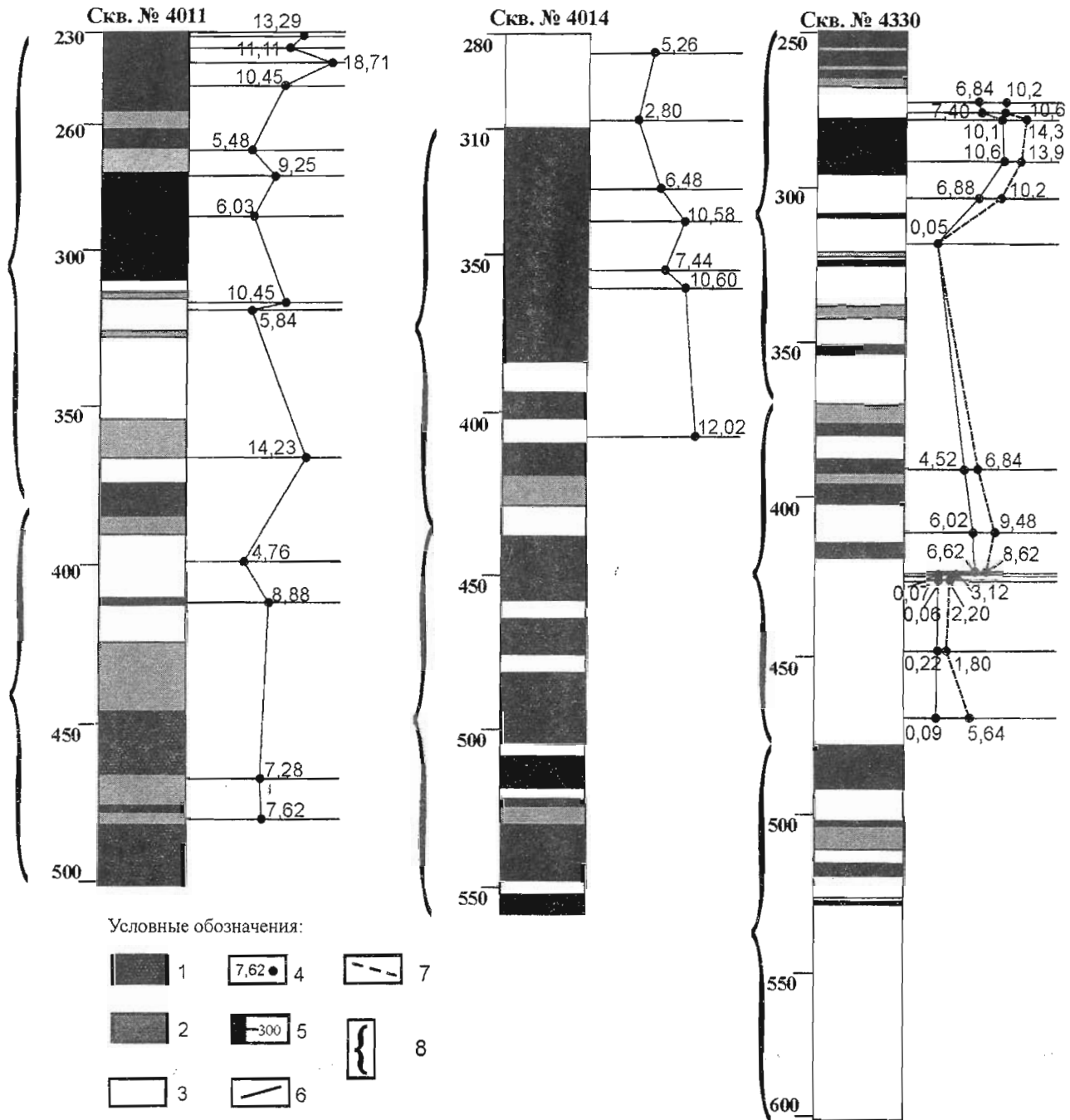


Рис. 2. Распределение углеродистого вещества в разрезах скважин № 4011, 4014, 4330: 1 — высокоуглеродистые породы; 2 — углеродистые породы; 3 — малоуглеродистые и неуглеродистые породы; 4 — содержание $C_{\text{общ}}$ или $C_{\text{орг}}$ в определенных интервалах в массовых %; 5 — глубина в метрах; 6 — кривая распределения $C_{\text{орг}}$; 7 — кривая распределения $C_{\text{общ}}$; 8 — объемы предполагаемых ритмов

лоуглеродистые. В скв. № 4014 выделено 2 ритма мощностью 115—125 м, но доля высокоуглеродистых здесь заметно выше, чем в скв. № 4330. В скв. № 4011 объем малоуглеродистых пород возрастает, а распределение углеродистого вещества носит «симметричный характер» с явно малоуглеродистой средней частью.

Аналитические данные по содержанию органического углерода в целом подтверждают

петрографические данные и высокоуглеродистые интервалы ритмов. Но в некоторых точках отбора проб расхождения довольно значительные, что можно объяснить, как систематической ошибкой определения содержания У.В. в шлифе, так и возможной формой нахождения органического углерода в породах, например, в объемах газово-жидких включений или в составе каких-либо минералов.

В черносланцевых породах, вскрытых скв. № 4330, отношение $C_{\text{орг}}/C_{\text{общ}}$ в высокоуглеродистых разновидностях составляет 0,7–0,76, в углеродистых — 0,64–0,77, а в малоуглеродистых породах — 0,02–0,12 (табл. 1).

В разрезах в большей степени обогащены углеродистым веществом наиболее мелкозернистые породы — сланцы. В скв. № 4330 встречаются высокоуглеродистые кварцевые метапесчаники, а в скв. № 4011 высокоуглеродистый мраморизованный известняк (единичный случай). Углеродистые породы также широко развиты в разрезе подсветы. Это сланцы, метапесчаники, амфибол-гранатовые породы, малоуглеродистые, главным образом, метапесчаники и мраморизованные известняки, а в скв. № 4330 в том числе и сланцы.

В изучаемых породах углеродистое вещество распределено неравномерно. Как правило, оно представлено тонкораспыленными агрегатами размером 0,005–0,01 мм. Иногда частицы углеродистого вещества группируются в линзы, микропрожилки и скопления неправильной формы размером до 0,075 мм (рис. 3).

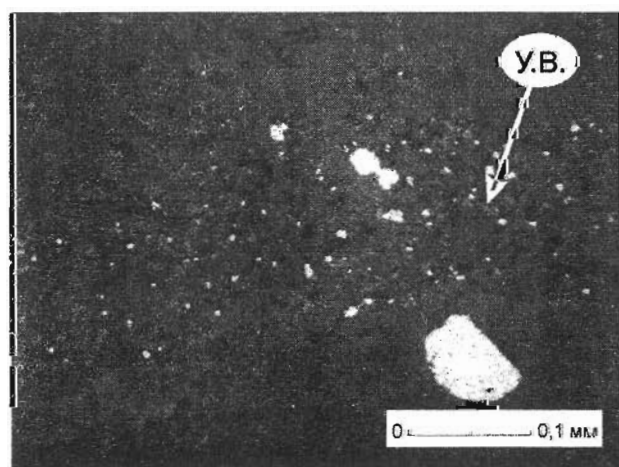
4. ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

В процессе геологических работ почти тридцатилетней продолжительности на территории центральной части Тим-Ястребовской структуры основное внимание уделялось золотоносности [4]. Работами кафедры минералогии и петрологии было обращено внимание на возможную платиноидную минерализацию, что и подтвер-

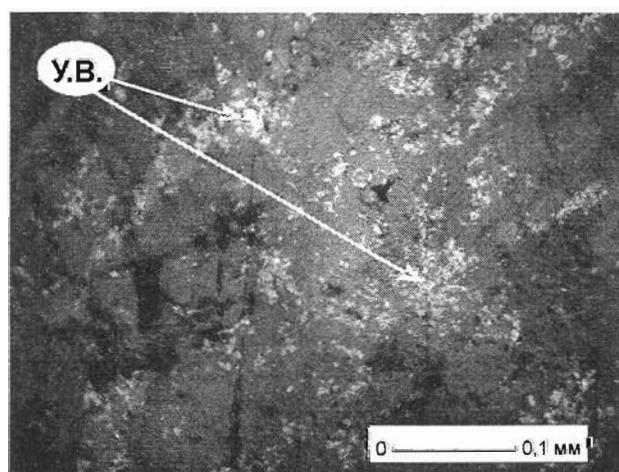
Таблица 1

Соотношение общего и органического углерода в углеродистых сланцах нижнетимской подсветы (скв. № 4330)

Название породы	Интервал опробования	$C_{\text{орг}}$, % мас.	$C_{\text{общ}}$, % мас.	$C_{\text{орг}}/C_{\text{общ}}$
Высокоуглеродистые мусковит-кварцевые хлоритсодержащие сланцы	270,8–272,2	6,84	10,2	0,67
	275,1–277,8	7,40	10,6	0,70
	277,8–279,0	10,1	14,3	0,71
Высокоуглеродистые сланцы мусковит-кварцевые	291,7–292,7	10,6	13,9	0,76
Углеродистые сланцы кварц-мусковитовые хлоритсодержащие	303,3–306,2	6,88	10,2	0,67
	391,0	4,52	6,84	0,66
Окварцованные кварц-мусковитовые сланцы	411,4–411,7	6,02	9,48	0,64
	423,3	6,62	8,62	0,77
Кварцевые метапесчаники	424,0–424,8	0,07	3,12	0,02
	425,8–426,6	0,06	2,20	0,03
	469,2–469,5	0,09	5,64	0,02
Дайковая биотит-амфиболовая порода с турмалином	448,4	0,22	1,80	0,12



а



б

Рис. 3. Фотографии тонкораспыленного углеродистого вещества в отраженном свете: а — скв. № 4011 / 414,5–415,0 м; б — скв. № 4011 / 420,6–420,9 м

дило опробование [7]. В настоящее время в пределах структуры выявлено 10 рудопоявлений и 34 пункта минерализации золота, 2 рудопоявления и 31 пункт минерализации платиноидов, несколько десятков литохимических аномалий и ореолов этих металлов, относящихся к различным геологическим и рудным формациям [2, 6, 7].

Факторы, контролирующие благороднометалльное оруденение, подразделяются на несколько уровней, включающих особенности геологического разреза, состав и взаимоотношения пород в его пределах и ряд минералогеохимических индикаторных признаков. Углеродистое вещество рассматривается как минералогический-петрографический фактор контроля оруденения.

В процессе статистической обработки аналитических данных по благородным металлам было использовано 171 определение ЭПГ и Au пробирным методом. Использовались только аналитические данные лаборатории ЦНИГРИ, поскольку разные лаборатории дают противоречивые результаты. В целом, анализ средних значений содержаний платины, палладия и золота показал, что наиболее перспективными являются породы скв. № 4014, в которой среднее содержание платины в 4,8 раза превосходит аналогичный показатель по скв. № 4330, и в 3,5 раза по скв. № 4011 (табл. 2).

Дальнейшее более детальное изучение благородных металлов велось по материалу скв. № 4330. Эта скважина является самой глубокой, наиболее опробованной и изученной в пределах Луневско-Введенского участка. Для наглядной демонстрации распределения благородных металлов в различных породах скважины № 4330 введен «коэффициент перспективности» (Кп). Коэффициент равен отношению среднего содержания элемента в определенном виде пород к кларку. Кларк платины — 0,002 г/т, палладия — 0,001 г/т, золота — 0,004 г/т [6, 10]. Для каждого металла рассчитывался средний коэффициент по скважине (табл. 3): $Kп(Pt)_{cp} = 9,4$;

$Kп(Pd)_{cp} = 19,2$; $Kп(Au)_{cp} = 4,8$. С методологической точки зрения расчет среднего коэффициента по скважине объясняется необходимостью выделять перспективные виды пород сначала в объеме одной скважины, а затем уже в объеме двух, трех скважин, подсветы, и т.д. Например, если $Kп(Pt)$ для определенного вида пород больше $Kп(Pt)_{cp}$, то петрографический вид можно считать перспективным на обнаружение повышенных концентраций платины.

При комплексном рассмотрении значений коэффициента перспективности по трем благородным элементам выделены 4 группы (табл. 3):

1. Высокоперспективные — $Kп(Pt) > Kп(Pt)_{cp}$; $Kп(Pd) > Kп(Pd)_{cp}$; $Kп(Au) > Kп(Au)_{cp}$.

2. Перспективные — коэффициент перспективности по двум металлам выше соответственных средних коэффициентов.

3. Малоперспективные — коэффициент перспективности по одному металлу выше соответственного среднего коэффициента.

4. Бесперспективные — все три коэффициента ниже соответственных средних Кп.

Анализ значений коэффициентов перспективности показывает, что высокоуглеродистые породы характеризуются повышенными содержаниями золота и платиноидов относительно малоуглеродистых пород независимо от их минерального состава и структурно-текстурных особенностей. Концентрации платины и палладия коррелируются с содержаниями углеродистого вещества несколько по-разному. Для платины характерна прямая зависимость между содержанием углеродистого вещества и средними значениями содержаний благородных металлов различных видов пород без исключения. Повышенные содержания палладия связаны в большей степени с углеродистыми породами. Поведение золота несколько отличается от платиноидов. Так в сланцах, не содержащих хлорит, зависимость прямая, а в хлоритсодержащих сланцах максимальные средние значения золота приходятся на углеродистые породы.

Таблица 2

Средние и максимальные содержания благородных металлов (г/т)
в черных сланцах нижнетимской подсветы

Номер скважины	Кол-во проб	Pt ср.	Pt макс.	Pd ср.	Pd макс.	Au ср.	Au макс.
4011	32	0,025	0,090	0,022	0,090	0,051	0,360
4014	32	0,087	0,240	0,048	0,170	0,065	0,150
4330	107	0,019	0,220	0,019	0,091	0,019	0,110

Вариации коэффициента перспективности в различных петрографических разновидностях по скважине № 4330

	Кол-во проб	Кп (Pt)	Кп (Pd)	Кп (Au)	Группа (Кп)
	107	9,4	19,2	4,8	-
Высокоуглеродистые породы	30	18,5	25,0	6,3	1
Углеродистые породы	16	9,5	28,0	6,3	1
Малоуглеродистые породы	61	5,0	14,0	3,8	4
Турмалиносодержащие породы	8	21,5	16,0	5,8	2
Породы с хлоритом	28	13,5	25,0	6,5	1
Окварцованные породы	15	8,0	17,0	5,5	3
Сланцы с хлоритом	21	8,5	23,0	6,8	2
Сланцы без хлорита	29	13,5	26,0	4,3	2
Метапесчаники	19	5,0	15,0	4,3	4
Тремолит-карбонатные породы	7	2,5	4,0	4,8	3
Карбонатные породы	4	6,5	36,0	3,0	3
В.У. сланцы без хлорита	10	23,5	28,0	7,0	1
У. сланцы без хлорита	7	9,5	28,0	2,5	2
М.У. сланцы без хлорита	12	7,0	22,0	3,0	3
В.У. сланцы с хлоритом	6	13,0	22,0	5,8	1
У. сланцы с хлоритом	6	8,5	33,0	11,8	2
М.У. сланцы с хлоритом	9	6,0	17,0	4,0	4
В.У. окв. сланцы	9	10,0	23,0	6,5	1
У. и М.У. окв. сланцы	6	4,5	8,0	4,0	4
В.У. и У. метапесчаники	2	12,5	27,0	7,8	1
М.У. метапесчаники	17	4,5	13,0	4,0	4

Примечания: В.У. — высокоуглеродистые породы, У. — углеродистые породы, М.У. — малоуглеродистые породы, окв. — окварцованные.

Выделенные группы (табл. 3) позволяют обозначить наиболее перспективные категории пород и наметить критерии контроля оруденения. Самые перспективные виды пород — сланцы, причем их высокоуглеродистые и углеродистые разновидности, относятся либо к первой, либо ко второй группе. Стабильно высокие средние содержания элементов платиновой группы и золота характерны для хлоритсодержащих пород. Наличие в породах этого минерала является индикаторным для горизонтов высокоуглеродистых сланцев, граничащих с зонами развития метасоматических преобразований [1].

Главным рудоконтролирующим фактором, вне всякого сомнения, является содержание углеродистого вещества. В таблице все без исключения высокоуглеродистые разновидности относятся к первой высокоперспективной группе. Поэтому становится очевидным предположение, что средние содержания благородных металлов в скв. № 4014 максимальны, поскольку в этой скважине значительно больше высокоуглеродистых пород, чем в скв. № 4330.

Связь повышенных содержаний углеродистого вещества с благороднометалльным оруденением

для черных сланцев КМА впервые была выявлена Н.М. Чернышовым [8] (рис. 3). Настоящая работа подтверждает и дополняет эти выводы.

Как видно, повышенные концентрации ЭПГ и золота отмечаются прежде всего в наиболее обогащенных углеродистым веществом сланцах, что достаточно отчетливо проявляется на тройной диаграмме (рис. 4), на которой золото-платиноносные породы образуют совмещенные поля, тяготеющие к наиболее углеродистым их разновидностям [8].

5. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ УГЛЕРОДИСТОГО ВЕЩЕСТВА

Проведенные исследования показывают, что повышенные содержания благородных металлов очень четко коррелируются с содержанием в породах углеродистого вещества. Эта зависимость прослеживается независимо от минерального состава и видового наименования пород. Главный вывод — углеродистое вещество является надежным минералогическим критерием контроля благороднометалльного оруденения в

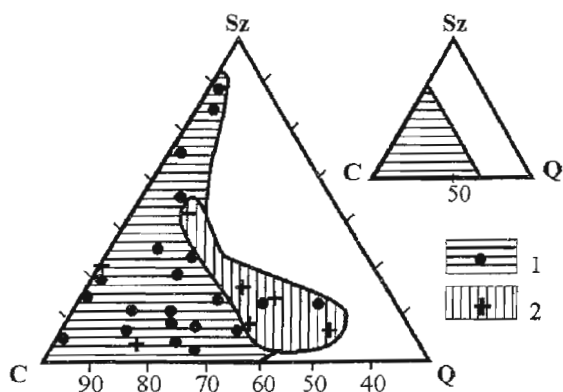


Рис. 4. Распределение ЭПГ и Au на диаграмме составов углеродистых кварц-серицитовых сланцев по [8]: 1 — поля составов сланцев с повышенными концентрациями ЭПГ; 2 — то же, с повышенными концентрациями Au. Sz — серицит, Q — кварц, С — углеродистое вещество

черносланцевых толщах нижнетимской подсвиты. Приведенные данные обосновывают актуальность дальнейшего изучения углеродистого вещества. Можно наметить несколько возможных направлений. Первое из них — это изучение структуры углерода, которое позволит определить агрегатное состояние, размер кристаллов и параметры кристаллической решетки графита. Вероятно, что эти параметры могут быть неодинаковыми в различных рудоносных высокоуглеродистых горизонтах. Второе направление связано с возможностью обнаружения фуллеренов. Фуллеренами называют молекулы углерода, атомы которых находятся на замкнутой поверхности. Это более сложная задача, поскольку даже если фуллерены и присутствуют в черных сланцах, то концентрация их, вероятно, будет очень мала. И наконец — определение состава и структуры органических соединений, входящих в состав углеродистых сланцев. Перспективным также представляется обнаружение так называемых металлоорганических соединений, когда в структуру органической молекулы входит металл.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов В.В. Диагностика и выделение рудоносных горизонтов в углеродистых сланцах Луневско-Введенского участка КМА (Центральная Россия) // Структура литосферы и геодинамика: Материалы XXI Всероссийской молодежной конференции. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2005. С. 100—101.
2. Адамов Е.А., Лючкин В.А. // Информационный отчет о результатах работ по объекту «Поиски и поисково-оценочные работы на золото и платиноиды в средней части Тим-Ястребовской структуры». Курск, 1999.
3. Ермолаев Н.П., Созинов Н.А., Флициян Е.С., и др. Новые вещественные типы руд благородных и редких элементов в углеродистых сланцах. — М.: Наука, 1992. — 188 с.
4. Мяснянкин В.И., Чернышов Н.М. Новый тип золотого оруденения в протерозойских толщах Тим-Ястребовской структуры // Отечественная геология. — 1992. — № 12. — С. 150—154.
5. Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 1995. — 128 с.
6. Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия): Монография / Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. — 448 с.
7. Чернышов Н.М. Стратифицированные черносланцевые комплексы — новый нетрадиционный источник платиновых металлов XXI столетия: (Формационно-генетические типы, закономерности размещения, минерально-геохимические особенности руд, геолого-генетическая модель формирования) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. 2., Естественные науки. — 1996. Вып. 2. — С. 42—62.
8. Чернышов Н.М., Коробкина Т.П. Новый тип платинометального оруденения Воронежской провинции: платиноносные высокоуглеродистые стратифицированные комплексы // Платина России: Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. — М., 1995. — Т.2, кн. 2 — С. 55—83.
9. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. — 272 с.
10. Юшко-Захарова О.Е. Платиноносность рудных месторождений. — М.: Недра, 1975. — 248 с.