УДК 553.411.071

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ТАЙМЫРО-СЕВЕРОЗЕМЕЛЬСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

А.Н.ЕВДОКИМОВ, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, evdokimov48@list.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия
В.И.ФОКИН, *ведущий инженер, okeangeo@VNIIO.ru*
Н.К.ШАНУРЕНКО, *канд. геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник, okeangeo@VNIIO.ru*
ВНИИОкеангеология им.И.С.Грамберга, Санкт-Петербург, Россия

В ряде черносланцевых толщ Таймыро-Североземельской золотоносной провинции выявлены содержания золота, в 2 раза и более превышающие кларковые. Приведены фактические данные по концентрациям органического углерода, рудных элементов в углеродсодержащих толщах региона и присутствующем в них пирите. В рудной пачке голышевской свиты установлена зависимость наличия рудных элементов, в том числе золота, от степени сульфидизации породы, выполнено сравнение концентрации золота в отдельных кристаллах и сростках пирита. Доказано, что содержания золота, свинца, молибдена, кобальта, никеля и меди закономерно возрастают с повышением количества сульфидов. В том же направлении понижаются концентрации хрома, марганца, олова, ванадия и лишь содержания титана и цинка остаются неизмененными.

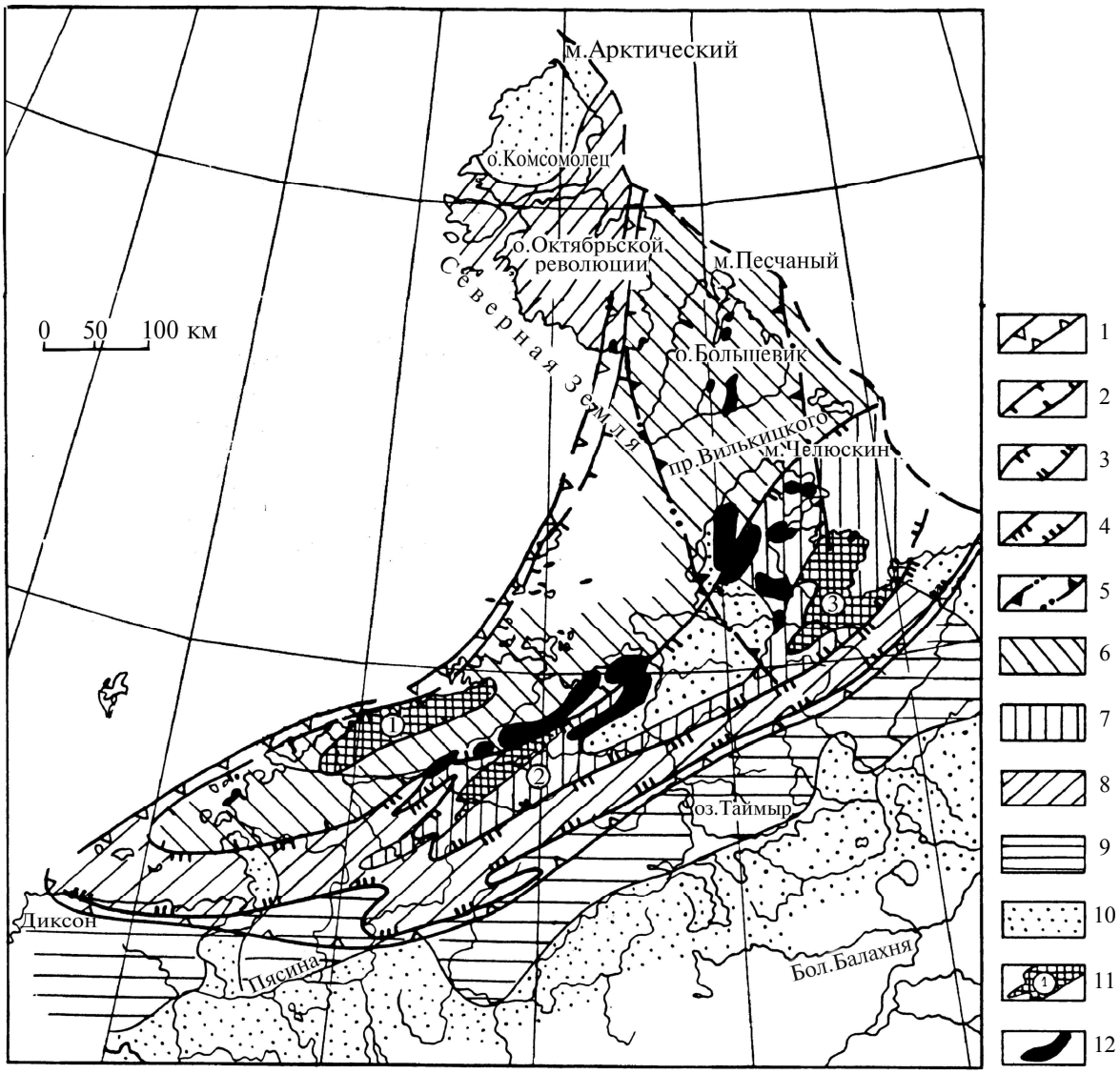
***Ключевые слова*:** золото, Таймыро-Североземельская провинция, черные сланцы.

Наблюдаемое в последние десятилетия истощение запасов благородных металлов на месторождениях традиционного типа привело к тому, что в XXI в. ведущую роль начинают играть крупнообъемные месторождения с относительно невысокими содержаниями металлов, пригодные для открытой отработки, в том числе локализованные в черносланцевых толщах [2]. На территории Российской Федерации черносланцевые комплексы широко распространены в ведущих золотоносных провинциях – Уральской, Енисейской, Байкало-Патомской (Ленской), Восточно-Саянской, Верхояно-Колымской, Чукотской и Таймыро-Североземельской [6, 9, 12, 14, 15].

На территории северного Таймыра и островов архипелага Северная Земля установлены промышленные россыпи, многочисленные проявления собственно золоторудного и золотосодержащего оруденения различных формационных типов, а также обширные устойчивые шлиховые ореолы золота. В сочетании с выявленными рудопроявлениями, они представляют собой потенциальные районы золотого рудогенеза и россыпеобразования.

Провинция охватывает область крупной Карской структуры, включающей территории северного Таймыра, части архипелага Северная Земля и прилегающие районы Карского моря (см. рисунок). Здесь распространены главным образом выходы дислоцированных докембрийских образований с фрагментами платформенного чехла, включающими на Северной Земле разрез нижнего и верхнего палеозоя. Среди докембрийских и нижнепалеозойских осадочных образований региона фиксируются многочисленные свиты, содержащие черносланцевые отложения. Во многих случаях последние содержат повышенные концентрации ряда рудных элементов, в том числе и золота (табл.1).

По данным табл.1 можно заключить, что: 1) содержание меди в черносланцевых толщах близко к кларковым; 2) содержание хрома широко варьирует от 44 г/т в породах устьпясинской свиты до 850 г/т в породах ждановской свиты, при количестве выше кларкового более чем в половине отложений; 3) содержание кобальта близко кларковым при вариаци-



Минерагеническое районирование Таймыро-Североземельской провинции

1 – граница Таймыро-Североземельской золотоносной провинции, где выделяются следующие металлогенические зоны: 2 – Большевик-Мининская золотополиметалльная; 3 – Шренк-Фаддеевская золотомолибден-полиметалльная; 4 – Северо-Быррангская полиметалльная (золотоносная?); 5 – Североземельско-Челюскинская золоторедкометалльная; 6-12 –структурно-формационные зоны: 6 – рифей-вендская Большевик-Мининская терригенная «углеродсодержащая» (флишоидная); 7 – рифейская Шренк-Фаддеевская карбонатно-терригенно-вулканогенная «углеродсодержащая»; 8 – палеозойские терригенно-карбонатные комплексы; 9 – верхнепалеозойские угленосные комплексы; 10 – терригенные угленосные комплексы мезозойско-кайнозойского чехла; 11 – дорифейские кристаллические массивы (① – Харитоновский, ② – Шренк-Мамонтовский, ③ – Фаддеевский); 12 – палеозойские гранитоидные интрузии

ях от минимума 3,4 г/т в мининской свите до максимума в 70 г/т в челюскинской толще; 4) содержания молибдена, никеля, свинца, цинка и ванадия близки кларковым, а концентрация олова везде, кроме воскресенской свиты, резко меньше кларковой.

Среди осадочных пород с рассеянным тонкодисперсным и хемогенным золотом особое значение имеют черносланцевые толщи. Именно в пределах таких осадочных толщ во многих регионах мира сконцентрированы наиболее крупные месторождения золота: Сухой Лог, Олимпиаднинское, Дегдеканское, Наталкинское, Нежданинское в России, а также Кумтор в Киргизии, Бакырчик в Казахстане, Хомстейк в США.

В Таймыро-Североземельском регионе повышенные содержания золота обнаружены в черносланцевых формациях: воскресенской и конечнинской свит рифея, мининской толщи

верхнего рифея – нижнего венда, грустнинской свиты верхнего кембрия – нижнего ордовика, усть-пясинской свиты верхнего силура, ждановской протерозойской толщи, челюскинской и голышевской свит рифея (табл.1). Данные по золоту в этих толщах сходные, а в ряде случаев заметно превышают содержания золота в черносланцевых образованиях многих золоторудных провинций России (табл.2). В рудных пачках и зонах повышенной сульфидизации содержания металла выше, например: в голышевской свите 198 мг/т, в ждановской и челюскинской соответственно 230 и 154 мг/т [6, 8].

Таблица 1

Средние содержания рудных элементов в породах углеродсодержащих толщ Североземельско-Таймырского региона, г/т

Район	Свита	Cu	Cr	Co	Mo	Ni	Pb	Sn	V	Zn	Au*
Западный Таймыр	Воскресенская (R)	48	215	28	7	64	16	10	139	105	4
	Конечнинская (R)	64	91	4,1	1	8,9	1,3	5	53	60	7,6
	Мининская (R_3-V_1)	33	50	3,4	1	5	Сл.**	Сл.	60	57	2,3
	Грустинская (Cm_3-O_1)	24	39	3,5	10	5,7	5	Сл.	45	48	4,8
	Усть-Пясинская (S_2)	50	44	4,4	6	3,2	5,2	Сл.	44	59	2,4
Центральный Таймыр	Воскресенская (R)	38	140	21	2,4	49	13	2,1	100	85	1
	Конечнинская (R)	47	190	32	2,1	67	17	2,8	140	100	1,5
	Ждановская (Pr)	62	850	20	3	139	25	1,5	290	163	10
Восточный Таймыр	Паландерская (R)	86	120	20	0,4	40	10	0,4	130	48	1
	Челюскинская (R)	62	360	70	2	118	14	2,9	250	82	5
о.Большевик	Голышевская (R)	33,7	66,2	30,9	1,2	34,6	10,6	сл,	51,6	54,5	16
	Голышевская рудная пачка (R)***	73	180	47	1,8	91	26	3,8	220	61	198
	Кларк для сланцев по А.П.Виноградову	45	90	20	2	68	20	6	130	80	1

* Содержание Au указано в миллиграммах на тонну.
** Сл. – следы.
*** Фоновые содержания (без учета аномальных).

Таблица 2

Фоновые содержания Au и $C_{орг}$ в литологических и структурно-формационных комплексах (СФК) золотоносных провинций (по [4])

Провинция или субпровинция	Формация, толща, пачка	Литологический состав	Au, мг/т	$C_{орг}$, % по массе
Кызылкумская субпровинция	Верхний рудоносный СФК, карашахская свита	Нет данных	От *n* до 50	0,2-0,4
	Нижний рудоносный СФК, бесапанская свита	Нет данных	Среднее 5,77 (от 0,1 до 45)	0,1-0,5, реже 0,6-2,5
Зайсанская	Верхний СФК C_2b-C_2m (рудоносный)	Песчаник	2,0-4,12	0,11-0,25
		Алевролито-глинистые породы	4,3-4,46	0,35-0,44
	Средний СФК C_1s-C_2b	Песчаник	3,97	0,81
		Алевриты-аргиллиты	3,69	1,41
	Нижний СФК D_3 (нерудоносный)	Песчаник	2,65	0,18
Бодайбинская	Хомолхинская свита (рудоносная)	Нет данных	6	0,8
	Верхнерифейские рудоносные толщи	Черные сланцы	0,7-2,7	2,8-4,1
Центральная Колыма (Аян-Юряхская субпровинция)	Рудовмещающие толщи поздней перми	Нет данных	2,5-9	0,36-0,99
Чукотка	Рудовмещающая толща триаса	Нет данных	2,3	0,47-1,44

Как отмечалось многими исследователями, сорбция и восстановление полезных компонентов в первичных осадках происходили на фоне соосаждения сульфидов железа и в значительной мере определялись его интенсивностью. Исследования рудной пачки голышевской свиты позволили выявить зависимость содержания ряда рудных элементов, и в частности золота, от степени сульфидизации пород. Содержания золота, свинца, молибдена, кобальта, никеля и меди закономерно возрастают с повышением степени сульфидизации пород (табл.3). В том же направлении концентрации хрома, марганца, олова, ванадия понижаются и лишь содержания титана и цинка остаются неизмененными.

Таблица 3

Содержания рудных элементов в отложениях голышевской свиты в зависимости от степени сульфидизации (пирит + пирротин), г/т

Содержание сульфидов, %	Cu	Cr	Co	Mo	Mn	Ni	Pb	Sn	Ti	V	Zn	Au*	Ni/Co
< 1	6,2	2,2	3,6	1,5	3,6	6,9	16,4	4,4	8,2	2,5	6,2	6,1	1,9
1-5	6,2	1,7	4,1	1,2	2,7	8,5	19,8	4,0	7,4	2,1	6,3	7,5	2,1
5-10	5,9	1,6	5,1	1,7	2,0	10,3	30,0	3,7	8,2	2,2	5,7	91,3	2,0
10-30	6,9	1,5	5,7	1,5	0,7	12,8	48,5	2,4	8,6	1,7	4,7	404,6	2,2
30-60	42,6	1,3	12,0	6,1	1,4	15,3	60,0	1,8	6,8	1,7	8,6	2753,0	1,3
> 60	19,3	1,4	13,9	12,4	0,1	18,1	118,6	1,2	7,3	1,5	6,6	3856,0	1,3

* Содержание Au указано в миллиграммах на тонну.

Многие черносланцевые толщи Североземельско-Таймырского региона имеют повышенную сульфидную минерализацию, достигающую 1-2 %, а местами 5-8 %. Основным сульфидным минералом здесь является пирит, представленный разноразмерными кристаллами, линзовидными агрегатами, линзами зонального и незонального строения, прожилками, мелкими линзовидными жилками, мельчайшей сыпью глобулярных или изометричных лапчатых зерен, а также тонкозернистых разностей – мельниковитом.

В отдельных толщах и горизонтах пород, например в воскресенской и голышевской свитах, преобладает пирротин. Он, как правило, представлен мелкими (1-3 мм и менее) линзовидными выделениями вдоль слоистости и сланцеватости пород, реже отмечаются его более крупные (от 1-2 до 10-15 см) по длинной оси линзовидные образования по слоистости пород, проявленные в отдельных горизонтах голышевской свиты. Другие сульфиды обнаружены только под микроскопом, обычно в виде включений в пирите и пирротине. По убыванию они представлены: халькопиритом, марказитом, галенитом, сфалеритом, арсенопиритом. В пирротине также изредка присутствуют пентландит и герсдорфит. Из других рудных минералов в черносланцевых отложениях региона часто встречается ильменит.

Анализируя геохимические особенности пиритов (табл.4) и сравнивая их с данными [1] по Ленскому району для раннеметаморфических пиритов, можно отметить, что содержания As, Zn, Ni, Co, Au, Cu в пиритах Североземельско-Таймырского региона, как правило, ниже, а концентрация Ag в ряде случаев – выше. Причиной этого может быть различное исходное накопление указанных элементов в осадках. Максимальная концентрация золота в кристаллах пирита раннеметаморфического генезиса вне рудопроявлений достигает в конечнинской толще 14 г/т. Максимальное содержание серебра 2,8 г/т характерно для пиритов конечнинской и ждановской толщ. Максимальные содержания, г/т: Bi – 2,2, Mo – 14, Pb – 138 и Zn – 232, отмечены в пиритах из ждановской толщи. Для пиритов из куйбышевской свиты характерно присутствие максимальных концентраций Co (196 г/т), а самое высокое содержание As (400 г/т) отмечается в пирите челюскинской толщи. Сурьма выявлена только в сульфидах поспеевской (4 г/т) и мининской (1,2 г/т) толщ.

Таблица 4

Средние содержания элементов-примесей в пиритах (в числителе – в кристаллах, в знаменателе – в агрегатах) ряда углеродсодержащих толщ Североземельско-Таймырского региона, г/т

Свита	Au	Ag	Bi	Cu	Co	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Ti	Zn	As	Ni/Co
Конечнинская	0,14	2,8	–	763	92	2,1	85	72	–	–	1194	108	323	0,32
(R)	0,4	7,0	–	1530	111	1,2	102	419	–	–	1446	202	1025	0,92
Мининская	0,02	1,3	Сл.	76	196	1,9	70	94	1,2	2,0	286	81	344	0,36
(R_3-V_1)	0,19	3,2	Сл.	606	27	5,1	26	30	Сл.	1,3	2857	90	36	0,96
Поспеевская	0,036	0,17	Сл.	248	141	Сл.	39	23	4,4	Сл.	2111	39	175	0,28
(Pr)	0,14	0,63	1,8	400	95	1,5	40	78	–	2,2	1555	35	125	0,42
Ждановская	0,096	2,8	2,2	152	99	14	139	138	–	Сл.	1180	232	350	1,4
(Pr)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Палендерская	0,016	1,4	Сл.	114	172	6,3	123	81	–	Сл.	2748	49	274	0,72
(R)	0,01	2,2	Сл.	117	129	3,6	63	57	–	1,1	3319	61	216	0,49
Челюскинская	0,13	1,1	–	47	157	10,4	173	76	–	2,7	3200	41	400	1,1
(R)	0,02	1,3	1,0	95	98	5,3	155	96	–	3,1	2500	43	450	1,58
Куйбышевская	0,002	0,8	–	34	192	2,1	96	17	–	–	1437	30	188	0,5
(R)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Голышевская	0,034	0,9	–	66	93	2,8	71	20	–	5,8	2210	42	218	0,76
(R)*	0,16	1,0	–	90	180	1,4	160	82	–	1,6	5100	42	520	0,89

* Вне рудопроявления.

К геохимическим особенностям сульфидной минерализации можно отнести повышенную концентрацию серебра, меди и в ряде случаев цинка в агрегатных скоплениях пирита по сравнению с отдельными кристаллами из тех же стратиграфических уровней. Золото ведет себя аналогично серебру, больше концентрируется в агрегатах сульфидов конечнинской, мининской, поспеевской и голышевской толщ. Для паландерской и челюскинской свит эта закономерность не выдерживается, что, видимо, связано с очищением от примесей в процессе перекристаллизации пиритовых образований. Отношение никеля к кобальту во всех изученных образованиях пирита не превышает 1,6, причем для кристаллов это значение 0,28-1,4, а для агрегатов – 0,42-1,58, что соответствует пириту раннеметаморфического генезиса [1].

Основной чертой «черносланцевых» формаций является присутствие в них повышенных количеств углерода, как органического происхождения, так и привнесенного метасоматическими процессами. Предшествующими исследованиями установлено два типа накопления золота в связи с наличием углеродистого вещества. Первый – это биогенное накопление металла. Выявлена уникальная способность бактерий, водорослей и микроскопических грибов к аккумуляции и перекристаллизации благородных металлов с образованием разнообразных по форме и размерам кристаллов золота [11]. Второй тип накопления металла – отложение на геохимических барьерах путем сорбции золота органическим веществом с образованием золотоорганических соединений и ультратонких частиц металла. Так, в черносланцевых породах, вмещающих оруденение месторождения Вернинское в районе Бодайбо, установлено присутствие золота в битумоидах в двух формах: в виде коллоидных и ультрадисперсных кластерных частиц металла [5]. Следовательно, необходимо проанализировать содержание $C_{орг}$ в терригенных образованиях.

Массовое содержание $C_{орг}$ в терригенных породах докембрия и раннего палеозоя региона в основном находится в пределах от сотых долей до первых процентов. Наивысшие его концентрации – до 4,8 %, при средних содержаниях 2,83 %, отмечаются в кремнисто-углеродистых сланцах усть-пясинской свиты (табл.5) и до 12,24 % в породах ждановской свиты. В черных сланцах мининской свиты венда отмечены концентрации $C_{орг}$ до 4,37 %.

Данные по иным углеродсодержащим комплексам показывают более низкие содержания $C_{орг}$. Зависимость содержания $C_{орг}$ от зернистости пород по региону в целом выражена его большими, как правило, концентрациями в аргиллитах относительно одновозрастных алевролитов и песчаников. В целом указанные содержания $C_{орг}$ сходны с содержаниями углерода в аналогичных породах известных рудных районах страны и ближнего зарубежья (см. табл.2). Средние содержания $C_{орг}$ в отложениях голышевской свиты (0,45 %) и породах ждановской свиты (0,46 %) наиболее близки к приводимым для алевросланцев углеродистой формации Приамурья (0,48 %). Отложения мининско-челюскинской зоны на Центральном Таймыре близки по этому показателю к алевросланцам с золото-сульфидным оруденением Восточной Сибири (0,36-4,1 %, табл.2).

Таблица 5

Массовое содержание $C_{орг}$ в терригенных породах Североземельско-Таймырского региона, %

Свита	Западный Таймыр	Север Центрального Таймыра	Восточный Таймыр	о.Большевик
Воскресенская (R)	0,62-0,85* / 0,73 (6)	–	–	–
Стерлиговская (R)	0,06-0,42 / 0,23 (5)	–	–	–
Конечнинская (R)	0,06-0,58 / 0,30 (13)	–	–	–
Харитоновская серия (R)	–	0,23-6,24 / 1,18 (5)	–	–
Паландерская толща (R)	–		0,19-3,00 / 1,41 (18)	–
Челюскинская толща (R)	–		0,19-1,72 / 0,78 (4)	–
Ждановская (Pr)	–	1,9-12,24 / 6,32	0,1-2,15 / 0,46 (98)**	–
Голышевская (R)	–	–	–	0,14-1,50 / 0,45 (14)
Мининская (R_3-V_1)	0,03-4,37 / 1,57 (9)	–	–	–
Усть-Пясинская (S_2)	1,53-4,82 / 2,83 (5)	–	–	–

* В числителе – интервал значений, в знаменателе – среднее значение, в скобках – число проб.
** По данным [6].

Графитизированное органическое вещество в терригенных породах рассматриваемого региона представлено тонкодисперсной и межзерновой разностями, фиксируемыми в метапелитовых комплексах с повышенным содержанием $C_{орг}$.

Анализ содержаний золота и $C_{орг}$ в отложениях докембрия и раннего палеозоя Североземельско-Таймырского региона не выявил прямой корреляционной зависимости между этими вычислениями. Судя по литературным данным, не выявляется эта зависимость и в ряде других регионов. А.И.Забияка [6] провел одновременное определение золота и $C_{орг}$ в породах частного разреза ждановской свиты в среднем течении р.Жданова. Результаты показывают, что прямой зависимости данных компонентов не наблюдается, максимумы содержаний золота (25 мг/т) и углерода (1,87 %) не совпадают, хотя и сближены в пространстве. Содержания золота, превышающие кларковые на 1-2 порядка, отмечаются этим автором при количестве углерода 0,1-0,2 %.

Были определены содержания (интервал и среднее значение) золота и $C_{орг}$ в черносланцевых отложениях ряда толщ Североземельско-Таймырского региона:

$C_{орг}$, %	< 0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1,0	1,0-1,2	1,2-1,4	1,4-1,6	1,6-1,8	1,8-2,0	> 2,0
Au, мг/т	< 2,0-270 43,4	1,4-250 41,9	< 2,0-1600 423,4	3,2-130 33,5	< 2,0-25 6,9	< 2,0-5,6 3,3	11,0 –	6,0-98 52	< 2,0 –	< 2,0-26 13,5	8,1-50 27,0

При анализе полученных данных установлено, что наибольшие содержания золота (130 мг/т и более) обнаружены в породах, содержащих, как правило, менее 0,8 % углерода, и все содержания золота более 1 г/т устанавливаются в породах, содержащих 0,4-0,6 % углерода.

Наиболее изученным в регионе золотосульфидным объектом является проявление Голышевское в долине одноименной реки на юго-востоке о.Большевик. Интенсивно дислоцированные флишоидные образования голышевской толщи рифейского возраста в районе рудопроявления представлены крутопадающей пачкой переслаивающихся песчаников, алевролитов, аргиллитов и гравелитов с повышенным содержанием $C_{орг}$ (до 2 %). Алевролиты и аргиллиты составляют не менее 50 % общего объема пород.

При опробовании разреза в борту русла реки была установлена повышенная золотоносность шести горизонтов сульфидизированных алевролитов и черных сланцев со средневзвешенным содержанием золота – 0,71 г/т. Литолого-стратиграфическое строение разреза голышевской толщи позволяет предположить, что формирование терригенных осадков происходило в морском бассейне на глубине до 250 м в условиях относительно повышенной сейсмичности и быстрого прогибания дна. При этом вблизи бассейна седиментации представляется вероятной синхронная вулканическая деятельность, сопровождаемая подводными эманациями. Режим водоема обеспечивал развитие сине-зеленых водорослей и придонное сероводородное заражение [3]. Специфическим признаком «золотоносных прослоев» углеродистых алевропелитов является наличие в них замещенных полуаморфным кремнеземом или пиритом первично-органогенных образований – микрофоссилий. Повышенные концентрации ряда рудных компонентов, главным образом золота, вероятно, обусловлены их синседиментационным осаждением из вод на сорбционно-восстановительных барьерах.

Интенсивность осаждения золота возрастала пропорционально пиритообразованию в осадке. Процесс, видимо, активизировался в условиях сингенетичной тектоноактивности при формировании «мусорных» песчанистых алевролитов. Влияние органического вещества (ОВ) на концентрирование золота проявляется прямой корреляционной зависимостью на начальных уровнях накопления (0,01-0,1 г/т), а наиболее высокие содержания металла образовались, вероятно, при наличии 0,4-0,6 % ОВ в осадках. Повышенные концентрации золота связаны с сульфидным оруденением вкрапленного и прожилково-вкрапленного типов, неравномерно развитым от единичной вкрапленности и мелкопрожилковых выделений до серии сближенных линзовидных субсогласных агрегатов. Основным рудным минералом является пирит или мельниковит и марказит, значительно менее распространен пирротин, который образует микропрожилки и линзы.

В пирите обычны микровключения халькопирита, галенита, сфалерита и золота. В рудоносных пластах на проявлении Голышевское присутствует пирит различных морфогенетических типов: I – осадочно-диагенетический глобулярный; II – раннеметаморфический, который образует три подтипа (А – зональные линзы, Б – незональные линзы с песчанистым материалом и В – переотложенный пирит, состоящий из отдельных метакристаллов и линзообразных прожилков); III – наложенный позднеметаморфический в форме пирит-кварцевых и кварц-пиритовых прожилков, секущих слоистость и сланцеватость породы. Резкое преобладание «неперемещенного» раннеметаморфического пирита подтипов А и Б, в основном мелкокристаллического с размером зерен 1-5 мм, локализованного непосредственно на участках изначальной сульфидизации осадка согласно напластованию пород, и наличие реликтов осадочно-диагенетического пирита I – тонкокристаллического и глобулярного, свидетельствуют о незначительном проявлении в изученных разрезах позднеметаморфических и гидротермальных процессов [3].

Золотоносность разных типов и фракций пирита весьма различна. По данным спектрохимических анализов, в пирите типа А во фракции менее 1 мм содержание золота в среднем 58,08 г/т, максимальное 100 г/т, пирит фракции 1-5 мм содержит металл в количестве до 200 г/т, среднее 150 г/т. В пирите типа Б содержание золота во фракции 1-5 мм составляет в среднем 31,6 г/т, максимум – 100 г/т, во фракции пирита более 5 мм содержание до 3,0 г/т, среднее 1,68 г/т. В последнем выделенном типе раннеметаморфического пирита В содержания самые низкие: фракция < 1 мм – среднее значение 2,06 г/т, максимальное 3,5 г/т, фракция 1-5 мм – среднее 1,06 г/т, максимум 2,4 г/т. В пирите III выявлены только фоновые содержания металла при среднем содержании 0,05 г/т.

Золото в минеральной форме установлено в пирите II в виде округло-изометричных и каплевидных выделений размером в первые микроны – десятки микрон как на проявлении Голышевское, так и в ряде других пунктов золоторудной минерализации в породах голышевской толщи. Пробность золота колеблется от 853 до 977 ‰ (обычно выше 900 ‰). Из примесей кроме серебра (до 14,6 %) установлена медь (сотые – десятые доли процента). До 80 % выявленных под микроскопом золотин установлены в пирите фракции 1-5 мм, при этом от 30 до 70 % золотин, в зависимости от типа рудных образований, тесно ассоциируют с остатками окремнелых микрофоссилий, ассимилированных пиритом. Подобные эффекты биогенного концентрирования золота примитивными организмами установлены в различных регионах мира [10].

Максимальная золотоносность раннеметаморфического пирита подтипов А и Б при резко пониженных концентрациях металла в «переотложенном» пирите подтипа В, представленном метакристаллами по трещинам кливажа и их агрегатами типа линзопрожилков, и практически фоновых содержаниях в позднеметаморфическом пирите типа III свидетельствует о разубоживании и выносе сингенетичных концентраций металла на начальном этапе гидротермального процесса с возможным дальнейшим перемещением его в структурные ловушки различного типа. В 1991-1997 годах в процессе проведения геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 силами Центрально-Арктической геологоразведочной экспедиции (ЦАГРЭ) на рудопроявлении Голышевское был выполнен относительно небольшой объем горно-буровых работ, сопровождавшихся бороздовым и керновым опробованием. В результате в черных сланцах по скважинам и расчисткам были выявлены две протяженные согласные зоны мощностью 4,4 м и 8,6 м со средним содержанием золота соответственно 1,87 и 6,48 г/т. В окружающих (слабопиритизированных) породах содержание золота не превышает сотые – редко десятые доли грамма на тонну. Таким образом, осадочно-метаморфогенная золотосульфидная формация, с одной стороны, может рассматриваться как «базовая», являющаяся возможным поставщиком металла для иных золоторудных формаций, становление которых происходило уже на последующих этапах тектонического развития региона. С другой стороны, она сама при определенных условиях может формировать промышленно значимые рудные объекты, о чем свидетельствуют две рассмотренные выше рудоносные зоны. По данным сотрудников ЦАГРЭ, прогнозные ресурсы зон оценены по категории P_3 в 107,5 т [13].

На Восточном Таймыре, в пределах Шренк-Фаддеевской структурно-формационной зоны, подобная минерализация установлена сотрудниками КоЦНИИГГИМС преимущественно в породах ждановской свиты. Породы ждановской свиты в целом образуют полосу шириной 5-7 км (до 20 км), протянувшуюся на 120 км от левых притоков р.Ленинградской, р.Баркова и других в северо-восточном направлении до верховьев р.Гольцовой. Наиболее интенсивная минерализация в породах этой свиты установлена на р.Жданова. Ждановская свита здесь сложена преимущественно серо-зелеными метапесчаниками, метаалевролитами, переслаивающимися с черными и темно-серыми филлитами; спорадически в ее составе встречаются пласты мраморизованных известняков и доломитов. Сульфидизация пород различна: от единичных вкрапленников до 7 % в филлитах, иногда до 40 % в прослоях по-

род мощностью до 20 см. По данным [6, 8] установлено, что чем мощнее слой филлитов, тем интенсивнее в нем сульфидная минерализация. Вне прослоев филлитов минерализация практически отсутствует.

При изучении золотоносности черносланцевых отложений проводились расчеты возможного количества золота, экстрагированного из пород при региональном и контактовом метаморфизме (табл.6). Так, по данным [2], количество металла, вынесенного из пород при региональном метаморфизме, составляет до 50 % его исходного содержания, а по данным [8], в экзоконтакте Лодочниковского гранитоидного массива на полуострове Челюскин установлен вынос золота из зоны роговиков до 85 % от его содержания в черносланцевых породах нижнепалеозойского возраста вне зоны термального воздействия массива.

Таблица 6

Возможное количество золота, выносимого из 1 км^3 черносланцевых пород региона, при термальном воздействии, по прогнозам ряда ученых

Свита	Предполагаемое количество золота в 1 км^3 породы, т*	Вероятное количество экстрагированного золота, т		
		по В.А.Буряку (50 %) [2]	по В.А.Злобину (90 %) [7]	по А.И.Забияке (85 %) [6, 8]
Конечнинская	19	9,5	17,1	16,15
Ждановская	25	12,5	22,5	21,25
Челюскинская	12,5	6,25	11,25	10,62
Голышевская	40	20	36	34
Голышевская рудная пачка	495	247,5	444,5	420,75

* По данным табл.1.

В заключение следует подчеркнуть: 1) в пределах Таймыро-Североземельской золотоносной провинции установлен ряд свит с черносланцевыми отложениями, имеющими повышенную фоновую золотоносность; 2) в черносланцевых образованиях выявлена прямая зависимость золотоносности от степени сульфидизации; 3) основная масса сульфидов в черносланцевых отложениях представлена пиритом, преимущественно раннеметаморфического генезиса; 4) повышенная золотоносность пирита в части черносланцевых отложений позволяет выделить ряд золотосульфидных проявлений с заметными потенциальными ресурсами, например Голышевское с ресурсами категории P_3 – 107,5 т; 5) установленные черносланцевые толщи с повышенной золотоносностью представляют собой золотосульфидную черносланцевую формацию, которая при наложенных тектоно-магматических процессах могла служить источником металла для золотокварцевых и золотосульфидных проявлений и месторождений типа Сухого Лога.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Буряк В.А.* Метаморфизм и рудообразование. М.: Недра, 1982. 256 с.

2. *Буряк В.А.* Эволюционный ряд крупнообъемных золото-платиноидных месторождений в углеродистых толщах / В.А.Буряк, В.И.Гончаров, Н.А.Горячев // Доклады РАН. 2002. Т.387. № 4. С.512-515.

3. *Васильев Б.С.* Условия формирования и типоморфные особенности золотосульфидного оруденения юго-восточной части о.Большевик (Северная Земля) / Б.С.Васильев, В.И.Фокин // Минерагения Арктики / ВНИИОкеангеология. СПб, 1994. С.130-139.

4. *Вихтер Б.Я.* Основные характеристики терригенных формаций бакырчикского семейства // Руды и металлы. 2007. № 5. С.58-67.

5. *Ганжа Г.Б.* Органическое вещество в осадочных породах Вернинского золоторудного месторождения, Патомское нагорье / Г.Б.Ганжа, Э.А.Развозжаева // Руды и металлы. 2014. № 3. С.65-73.

6. *Забияка А.И.* Металлогеническое районирование Карской (Северо-Таймырской) провинции / А.И.Забияка, С.С.Сердюк // Геология и закономерности эндогенного оруденения западного обрамления Сибирской платформы / СНИИГГиМС. Новосибирск, 1978. С.30-37.

7. *Злобин В.А.* Эффект прокаливания и проблема формирования золотого оруденения в черносланцевых толщах / В.А.Злобин, В.Г.Цимбалист // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск: Наука, 1983. Т.2. С.162-169.

8. Золотоносные коры выветривания Таймыра (геология, тектоника, рудоносность) / А.И.Забияка, В.К.Ояберь, Ю.В.Гусаров, И.Н.Привалихин; КНИИГиМС. Красноярск, 2013. 134 с.

9. Золоторудные формации Таймыро-Североземельской провинции / Н.К.Шануренко, В.Г.Кузьмин, Г.А.Русаков, В.И.Фокин // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология / ВНИИОкеангеология. СПб, 2002. С.559-571.

10. *Константинов М.М.* Биогенез и рудообразование / М.М.Константинов, А.А.Сидоров // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2008. № 2. С.2-12.

11. *Куимова Н.Г.* Биогенная кристаллизация ионного золота микромицетами / Н.Г.Куимова, О.В.Жилин // Доклады РАН. 2002. Т.386. № 6. С.809-812.

12. *Сердюк С.С.* Золотоносные и золото-платиноносные провинции севера Центральной Сибири // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология / Гл. редакторы: Д.А.Додин, В.С.Сурков; ВНИИОкеангеология. СПб, 2002. С.537-558.

13. Твердые полезные ископаемые архипелагов и островов арктической континентальной окраины Евразии / Гл. редактор В.Д.Каминский, отв. редакторы: В.И.Ушаков, В.Д.Крюков; ВНИИОкеангеология. СПб, 2010. 336 с. (Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология. Т.216).

14. *Шануренко Н.К.* Карская золоторудная провинция (особенности строения и ведущие формационные типы оруденения) / Н.К.Шануренко, Б.С.Васильев // Минерагения Арктики / ВНИИОкеангеология. СПб, 1994. С.82-90.

15. *Шануренко Н.К.* Характеристика и перспективы Таймыро-Североземельской золотоносной провинции / Н.К.Шануренко, В.И.Фокин // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона; ВНИИОкеангеология. СПб, 2012. С.127-135. (Труды ВНИИОкеангеология. Т.223. Вып.8).

REFERENCES

1. *Buryak V.A.* Metamorfizm i rudoobrazovanie (*Metamorphism and ore-formation*). Moscow: Nedra, 1982, p.256.

2. *Buryak V.A.*, *Goncharov V.I.*, *Goryachev N.A.* Evolyutsionnyi ryad krupnoob"emnykh zoloto-platinoidnykh mestorozhdenii v uglerodistykh tolshchakh (*The Evolutionary raw of a large gold-platinum metals deposits in the carboniferous layers*). Doklady RAN. 2002. Vol.387. N 4, p.512-515.

3. *Vasil'ev B.S.*, *Fokin V.I.* Usloviya formirovaniya i tipomorfnye osobennosti zolotosul'fidnogo orudeneniya yugo-vostochnoi chasti o.Bol'shevik (Severnaya Zemlya) (*Natural particular conditions of gold- sulfide formation and mineralization in South-East part of Bolshevik Island* (*Severnaja Land*)). Minerageniya Arktiki. VNIIOkeangeologiya. St Petersburg, 1994, p.130-139.

4. *Vikhter B.Ya.* Osnovnye kharakteristiki terrigennykh formatsii bakyrchikskogo semeistva (*Basic characteristics of clastic formations of Bakyrchik formation*). Rudy i metally. 2007. N 5, p.58-67.

5. *Ganzha G.B.*, *Razvozzhaeva E.A.* Organicheskoe veshchestvo v osadochnykh porodakh Verninskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya, Patomskoe nagor'e (*Organic matter in sedimentary rocks of Verninsky gold mine*, *Patomskoe Highlands*). Rudy i metally. 2014. N 3, p.65-73.

6. *Zabiyaka A.I.*, *Serdyuk S.S.* Metallogenicheskoe raionirovanie Karskoi (Severo-Taimyrskoi) provintsii (*Metallogenic zoning of Kara* (*North-Taimyr*) *province*). Geologiya i zakonomernosti endogennogo orudeneniya zapadnogo obramleniya Sibirskoi platformy. SNIIGGiMS. Novosibirsk, 1978, p.30-37.

7. *Zlobin V.A.*, *Tsimbalist V.G.* Effekt prokalivaniya i problema formirovaniya zolotogo orudeneniya v chernoslantsevykh tolshchakh (*Heat treatment effect and the problem of gold mineralization in black-slate sediments*). Geneticheskie modeli endogennykh rudnykh formatsii. Novosibirsk: Nauka, 1983. Vol.2, p.162-169.

8. *Zabiyaka A.I.*, *Oyaber' V.K.*, *Gusarov Yu.V.*, *Privalikhin I.N.* Zolotonosnye kory vyvetrivaniya Taimyra (geologiya, tektonika, rudonosnost') (*Gold weathering crust in the Taymyr region* (*geology, tectonics, ore existence*)). KNIIGiMS. Krasnoyarsk, 2013, p.134.

9. *Shanurenko N.K.*, *Kuz'min V.G.*, *Rusakov G.A.*, *Fokin V.I.* Zolotorudnye formatsii Taimyro-Severozemel'skoi provintsii (*Gold-ore formations in Tajmyr-Severnaya Zemlya province*) Rossiiskaya Arktika: geologicheskaya istoriya, minerageniya, geoekologiya. VNIIOkeangeologiya. St Petersburg, 2002, p.559-571.

10. *Konstantinov M.M.*, *Sidorov A.A.* Biogenez i rudoobrazovanie (*Biogenesis and ore-formation*). Vestnik SVNTs DVO RAN. 2008. N 2, p.2-12.

11. *Kuimova N.G.*, *Zhilin O.V.* Biogennaya kristallizatsiya ionnogo zolota mikromitsetami (*Nutrient crystallization of the Ionic gold by mikromicetas*). Doklady RAN. 2002. Vol.386. N 6, p.809-812.

12. *Serdyuk S.S.* Zolotonosnye i zoloto-platinonosnye provintsii severa Tsntral'noi Sibiri (*Gold and gold-platinum bearing North Central province of Siberia*). Rossiiskaya Arktika: geologicheskaya istoriya, minerageniya, geoekologiya. Editors: D.A.Dodin, V.S.Surkov; VNIIOkeangeologiya. St Petersburg, 2002, p.537-558.

13. Tverdye poleznye iskopaemye arkhipelagov i ostrovov arkticheskoi kontinental'noi okrainy Evrazii (*Solid minerals in archipelagos and Islands of the Arctic continental margin in Eurasia*). Chief Editor V.D.Kaminskii, Editors: V.I.Ushakov, V.D.Kryukov; VNIIOkeangeologiya. St Petersburg, 2010, p.336.

14. *Shanurenko N.K.*, *Vasil'ev B.S.* Karskaya zolotorudnaya provintsiya (osobennosti stroeniya i vedushchie formatsionnye tipy orudeneniya) (*Kara Sea gold-ore province* (*geological structure specialization and types of mineralization*)). Minerageniya Arktiki. VNIIOkeangeologiya. St Petersburg, 1994, p.82-90.

15. *Shanurenko N.K.*, *Fokin V.I.* Kharakteristika i perspektivy Taimyro-Severozemel'skoi zolotonosnoi provintsii (*Characteristics and prospects of Tajmyro-Severnaya Zemlya gold province*). Geologo-geofizicheskie kharakteristiki litosfery Arkticheskogo regiona; VNIIOkeangeologiya. St Petersburg, 2012, p.127-135.

GEOCHEMICAL FEATURES AND PROSPECTS OF ORE CONTENT IN BLACK SLATES IN TAJMYR-SEVERNAYA ZEMLYA GOLD FORMATION

A.N.EVDOKIMOV, *Dr. of Geological & Mineral Sciences*, *Professor*, *evdokimov48@list.ru*
National Mineral Resources University (*Mining University*), *St Petersburg*, *Russia*
V.I.FOKIN, *Leading Engineer*, *okeangeo@VNIIO.ru*,
N.K.SHANURENKO, *PhD in Geological & Mineral Sciences*, *Leading Researcher*, *okeangeo@VNIIO.ru*
VNIIOkeangeologija named after I.S.Gramberg, *St Petersburg*, *Russia*

Gold content, at least twice higher than the gold percentage abundance in Earth's crust, has been discovered in a number of black slates formations in Tajmyr-Severnaya Zemlya gold province. The article shows the measurement data on organic carbon and ore elements concentrations in carbonaceous sediments, with pyrite, being their constituent, in the region. The dependence of ore elements availability, including gold, on sulphidisation degree in rocks has been identified in an ore bundle of Golyshevskaja strata. The comparison of gold concentrations in sampled monocrystals and pyrite aggregates has been carried out. It has been empirically supported that the content of gold, lead, molybdenum, cobalt, nickel and copper normally grows with the increase of sulphides quantity. Concentrations of chromium, manganese, tin, vanadium decrease respectively; however, titanium and zinc content remains unchanged.

***Key words*:** gold, Taimyr-Severozemelskaya province, black slates.