

УДК 553.493+562+553.411

## ПРИМОРЬЕ – НОВЫЙ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ РЕГИОН РОССИИ С ЗОЛОТО-ПАЛЛАДИЙ-ПЛАТИНОВЫМ ОРУДЕНЕНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОГО ТИПА

© 2009 г. В. Т. Казаченко, Н. В. Мирошниченко,  
Е. В. Перевозникова, А. А. Карабцов

Представлено академиком Д.В. Рундквистом 14.05.2008 г.

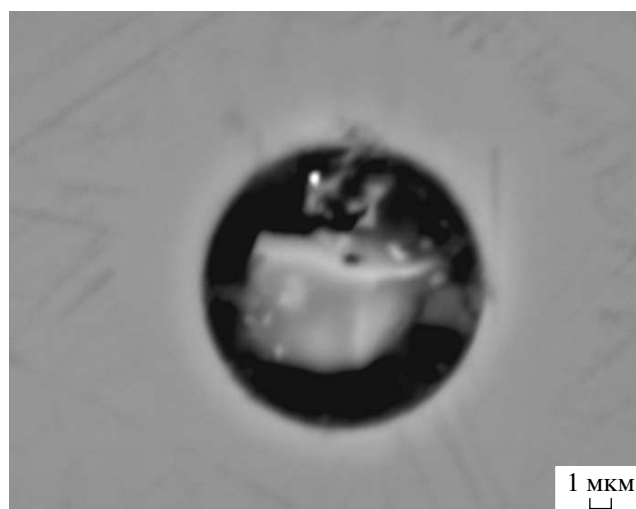
Поступило 20.05.2008 г.

Контактово-метаморфизованные металлоносные осадки – марганцевосиликатные (метаморфизованные кремнисто-родохрозитовые) породы, “коричневые кремни” (кремни с пиррофанитом и спессартином), оловянно-железные руды, “ильменит-биотит-полевошпатовые” (метаморфизованные глинистые) породы и “итабириты” (золотоносные яшмы) приурочены к нижней (верхи оленека–ладин) обогащенной углеродом части триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня, имеют региональное распространение и встречаются совместно друг с другом. С ними ассоциируют продукты гидротермальной регенерации, слагающие тела разнообразной морфологии и состава, и в том числе залежи марганцовистых скарноподобных (амфибол-пироксеновых) пород и скарнов [1–3].

Металлоносные осадки и продукты их регенерации содержат сульфиды, арсениды, антимониды, теллуриды, сульфоарсениды, сульфоантимониды, сульфовисмутиды и сульфотеллуриды никеля и кобальта, редкоземельные, торий-урановые, бариевые, ванадиевые и другие минералы. Кроме того, характерны восстановленные формы разнообразных металлов – самородные элементы, твердые растворы, интерметаллические соединения, фосфиды и силициды. Сообщества восстановленных форм приурочены к порам и микротрещинам с органическим веществом. Они образовались при контактовом метаморфизме, при высокой (судя по уровню содержания примеси некоторых элементов в самородных металлах) температуре, сопровождавшемся разложением углеводородов и водородным восстановлением окисленных форм.

С учетом степени распространения металлоносных пород и повсеместного присутствия в них минералов Au, Ag, Pt и Pd, которым посвящена отдельная публикация [5], большое значение при-

обретает вопрос об уровне содержания благородных металлов. Выполненные ранее [1, 3] анализы не дают однозначного ответа на этот вопрос. Они хоть и выявили высокое содержание Au, Pt и Pd в отдельных пробах, но недостаточно многочисленны, характеризуют лишь марганцевосиликатные породы и отличаются плохой воспроизводимостью. Содержание Au и Pt оказалось ниже (на порядок или более) ожидавшегося из результатов изучения минеральных форм и растворения проб в плавиковой кислоте. В данном исследовании использовались сразу три метода – пробирный с атомно-абсорбционным (АА) окончанием (ДВГИ ДВО РАН), ИСП МС и АА. Результаты пробирного анализа оказались в противоречии с данными микрозондового изучения и растворения проб в плавиковой кислоте. Потери, как выяснилось при микрозондовом изучении шлаков, были связаны с эмульгацией свинца, высокой вязкостью расплава, тугоплавкостью проб, наличи-



**Рис. 1.** Золото (яркое) в газовом пузырьке в шлаке марганцевосиликатной породы Ольгинского района. Вид в отраженных электронах Обр. Ф-80-10.

**Таблица 1.** Содержание благородных металлов в марганцевосиликатных породах Ольгинского района, г/т\*

№ п.п.	№ пробы	Au, I	Pd, I	Pt, I	Rh*, I	Au, a	Pd, a	Pt, a	Au, п	Pd, п	Pt, п
1	Ф-04-2	0.007	0.006	<b>0.113</b>					0.03		
2	Ф-04-3	0.003	0.015	<b>0.142</b>					0.01		
3	Ф-04-1	0.005	0.000	<b>0.125</b>		0.06	0.06	<b>0.14</b>	<b>35.38</b>		
4	Ш-86-41	0.004	0.000	<b>0.31</b>					0.02		
5	Ш-86-183	0.011	0.005	<b>0.138</b>					0.07		
6	К-80-14	0.023	0.005	<b>0.334</b>					0.02		
7	Р-80-8			0.087		<b>1.147</b>	0.04	<b>0.45</b>	<b>0.12</b>		
8	К-80-11	0.000	0.068	0.022		<b>0.993</b>	0.03	<b>0.28</b>	0.06		
9	К-80-13	0.032	0.010	0.014		<b>1.547</b>	0.04	<b>0.16</b>	<b>0.17</b>		
10	Р-80-18					<b>1.732</b>			0.05		
11	К-80-20			<b>0.205</b>		<b>2.932</b>			<b>0.11</b>		
12	Мт-81-11	<b>0.131</b>	0.000	0.000	0.00	<b>0.153</b>	0.017	0.076	0.032	0.006	0.002
13	М-81-3	<b>0.233</b>	0.000	0.000	0.00	<b>0.147</b>	0.019	<b>0.16</b>	0.030	0.002	0.002
14	М-81-17	<b>383.839</b>	0.017	<b>0.275</b>	0.00	<b>0.11</b>	0.03	<b>0.12</b>	0.084	0.005	0.001
15	Р-80-100	<b>0.551</b>	0.009	0.022	0.00	0.03	0.05	<b>0.40</b>	0.088	0.037	0.002
16	К-80-21	0.005	0.000	0.016	0.00	0.03	0.05	<b>0.19</b>	0.044	0.002	0.001
17	Мт-81-8	0.051	0.000	<b>3.102</b>	0.00	0.09	0.04	<b>0.66</b>	<b>0.192</b>	<b>0.138</b>	0.006
18	Ф-80-10	<b>0.103</b>	0.000	<b>0.151</b>	0.00	0.02	0.02	<b>0.21</b>	0.015	0.001	0.006
19	Ш-80-183	<b>26.329</b>	0.010	0.097	2.78	0.03	0.000	<b>0.21</b>			
20	Ф-04-16	<b>0.189</b>	0.000	<b>8.386</b>	0.00	0.03	0.04	<b>0.18</b>	0.033	0.004	0.001
21	Ф-04-3а	<b>0.236</b>	0.000	0.039	0.00	0.05	0.05	<b>0.25</b>	0.092	0.013	0.008
22	Ф-04-5	<b>0.161</b>	0.000	0.065	0.00	0.05	0.05	<b>0.12</b>	0.023	0.007	0.002
23	К-80-5/19	<b>0.118</b>	0.000	<b>0.162</b>	0.00	0.03	0.04	<b>0.15</b>	0.044	0.007	0.016
24	К-80-13	<b>0.482</b>	0.000	<b>0.673</b>	0.00	0.04	0.04	<b>0.16</b>	0.033	0.007	0.017
25	Р-80-40	<b>1.077</b>	<b>2.603</b>	<b>4.272</b>	<b>368.3</b>	0.04	0.07	<b>0.27</b>	0.084	0.069	0.000
26	Ар-80-1	<b>0.485</b>	0.000	0.019	0.00	0.07	0.023	0.09	0.026	0.067	0.004
27	Р-80-27	<b>24.106</b>	0.000	<b>1.015</b>	0.00	0.06	0.07	<b>0.27</b>	0.019	0.004	0.007
28	Ф-80-10а	<b>0.143</b>	0.027	0.045	0.13	0.05	0.08	<b>0.16</b>	0.032	0.017	0.030
29	Ф-80-5а	0.017	0.001	0.005	0.00	0.03	0.04	<b>0.27</b>	0.058	0.006	0.004
30	Ф-80-10в	<b>0.134</b>	0.002	0.013	1.20	0.06	0.07	<b>0.60</b>	0.026	0.005	0.003
31	Ш-86-96	0.076	0.022	0.003	0.00	0.04	0.00	<b>0.10</b>	0.068	0.013	0.006
32	Ш-80-12	0.003	0.000	0.010	0.00	0.04	0.04	<b>0.64</b>	<b>0.198</b>	<b>0.135</b>	0.027
33	Ш-86-62	<b>1.262</b>	0.000	<b>5.489</b>	0.00	<b>0.19</b>	0.00	<b>0.13</b>	0.063	0.004	0.036
34	Ф-80-2	0.025	0.000	0.004	0.00	0.02	0.01	<b>0.10</b>	0.053	0.010	0.002
35	Ш-86-129					<b>0.11</b>	0.01	<b>0.68</b>			
36	М-86-27					0.09	<b>0.16</b>	<b>0.37</b>			

Примечание. I – ИСП МС (1–11 – ДВГИ, 12–34 – ХИАЦ ИТИГ); а – АА (ДВГИ) (7–11 – Au с экстракцией дибутилсульфидом); п – пробирный (ДВГИ) методы. Не приведены анализы 8 проб с содержаниями металлов менее 0.1 г/т. ИСП МС и АА (табл. 1–3) – кислотное разложение, восстановление SnCl<sub>2</sub>, концентрирование на теллуре. \* Rh – мг/т.

ем дисперсных, субмикроскопических и микроскопических (диаметр до 5 мкм) частиц благородных металлов, а также с массовым переходом Au и многих других металлов в газовую фазу (рис. 1). Платина, возможно из-за недостаточно высокой температуры, в виде многочисленных зерен и

слегка оплавленных кристаллов оставалась в стекле.

Анализам ИСП МС- и АА-методами в разных организациях (ДВГИ ДВО РАН и ХИАЦ ИТИГ ДВГИ ДВО РАН соответственно) с использованием одинаковой методики разложения проб

**Таблица 2.** Содержание благородных металлов в марганцевосиликатных породах Дальнереченского района, г/т

№ п.п.	№ пробы	Au, I	Pd, I	Pt, I	Rh*, I	Au, a	Pd, a	Pt, a	Au, п	Pd, п	Pt, п
1	ЭВ-04-1	<b>0.250</b>	0.002	<b>0.283</b>					<b>0.18</b>		
2	ЭВ-04-4	0.004	<b>0.102</b>	<b>0.702</b>					0.06		
3	ЭВ-04-12	0.000	0.004	<b>0.116</b>					<b>0.12</b>		
4	ЭВ-04-16	0.000	<b>0.125</b>	<b>1.542</b>					0.01		
5	ЭВ-04-18	0.000	0.007	<b>0.135</b>					<b>0.10</b>		
6	ЭВ-01-13	0.006	<b>0.130</b>	0.028					<b>3.06</b>		
7	ЭВ-01-22	0.006	0.004	0.010		<b>4.426</b>			0.05		
8	ЭВ-01-45	0.047	<b>5.333</b>	<b>1.222</b>					0.04		
9	ЭВ-01-55	<b>0.160</b>	0.052	<b>0.657</b>					0.01		
10	ЭВ-93-507	0.005	<b>0.227</b>	0.038		<b>5.169</b>			0.02		
11	ЭВ-93-511	0.000	0.001	0.009		<b>3.212</b>			0.04		
12	ЭВ-93-512	<b>8.432</b>	0.005	<b>1.294</b>					<b>1.17</b>		
13	ЭВ-06-23	0.020	0.000	0.000	0.00	0.02	0.04	<b>0.52</b>	<b>0.201</b>	0.004	0.002
14	ЭВ-06-29	0.007	0.000	0.013	0.16	<b>0.121</b>	0.016	<b>0.34</b>	0.019	0.011	0.012
15	ЭВ-06-27	0.012	0.000	0.007	0.00	0.06	0.06	<b>0.68</b>	<b>0.25</b>	0.004	0.002
16	ЭВ-06-28	0.031	0.000	0.004	0.00	0.039	0.01	<b>0.27</b>	0.011	0.01	0.011
17	ЭВ-06-19	0.044	0.000	0.000	0.00	0.05	0.020	<b>0.28</b>	0.015	0.007	0.005
18	ЭВ-06-26	0.012	0.003	0.032	0.00	<b>0.10</b>	0.08	<b>0.79</b>	0.03	0.009	0.009
19	ЭВ-06-21	0.001	0.000	0.000	0.00	<b>0.116</b>	0.09	<b>0.73</b>	0.047	0.004	0.001
20	ЭВ-06-22	0.000	0.000	0.001	0.00	0.01	0.011	<b>0.14</b>	<b>0.123</b>	<b>0.139</b>	<b>0.168</b>
21	ЭВ-06-20	0.039	0.001	0.001	0.00	0.026	0.03	<b>0.150</b>	0.049	0.006	0.002
22	ЭВ-06-25	0.003	0.000	0.003	0.00	0.05	0.06	<b>0.23</b>	<b>0.16</b>	0.01	0.003
23	ЭВ-06-24	0.025	0.000	0.003	0.00	0.04	0.09	<b>0.19</b>	0.009	0.01	0.003
24	ЭВ-06-18	0.021	0.030	0.002	0.00	0.06	0.05	<b>0.75</b>	0.086	0.012	0.002
25	ЭВ-06-17	0.000	0.000	0.001	0.00	0.09	0.05	<b>0.26</b>	0.053	0.012	0.015
26	ЭВ-06-16	0.027	0.000	0.012	0.00	0.09	0.08	<b>0.37</b>	0.05	0.006	0.003
27	ЭВ-06-15	0.041	0.000	0.000	0.00	<b>0.178</b>	0.023	<b>0.168</b>	0.070	0.005	0.002
28	ЭВ-06-1	<b>0.152</b>	0.000	0.003	0.00	0.043	0.036	<b>0.302</b>	0.073	0.005	0.002
29	ЭВ-06-13	0.044	0.000	0.004	0.00	0.023	0.045	<b>0.101</b>	0.025	0.01	0.012
30	ЭВ-06-14	0.037	0.001	0.007	0.00	<b>0.492</b>	<b>0.449</b>	<b>0.437</b>	0.059	0.005	0.002
31	ЭВ-06-11	0.011	0.002	0.006	0.71	0.033	0.013	0.067	<b>0.118</b>	0.005	0.002
32	ЭВ-06-10	0.014	0.001	0.057	0.64	<b>0.106</b>	0.058	<b>0.336</b>	0.052	0.005	0.002
33	ЭВ-06-8	0.021	0.001	0.026	0.00	0.025	0.009	<b>0.235</b>	0.053	0.013	0.012
34	ЭВ-06-7	0.012	0.001	0.006	0.00	<b>0.493</b>	<b>0.173</b>	<b>0.218</b>	0.011	0.015	0.004
35	ЭВ-06-6	0.003	0.001	0.002	0.00	0.037	0.049	<b>0.605</b>	0.058	0.01	0.013
36	ЭВ-06-5	0.016	0.000	0.011	0.00	0.039	0.024	<b>0.403</b>	<b>1.66</b>	0.01	0.015
37	ЭВ-06-4	0.005	0.001	0.007	0.00	0.056	0.020	<b>1.277</b>	0.079	0.006	0.002
38	ЭВ-06-3	0.000	0.003	0.003	0.00	0.090	0.035	<b>0.907</b>	0.051	0.005	0.002
39	ЭВ-06-2	0.010	0.001	0.004	0.00	0.036	0.036	<b>0.605</b>	0.029	0.012	0.012
40	МП-83-35	0.015	0.001	0.009	0.00	0.05	0.008	<b>0.29</b>			

Примечание. I – ИСП МС (1–12 – ДВГИ, 13–40 – ХИАЦ ИТИГ); а – атомно-абсорбционный (7, 10, 11 – с экстракцией дитио-тилсульфидом); п – пробирный методы. Не приведены 8 анализов с содержаниями менее 0.1 г/т. \* Rh – мг/т.

**Таблица 3.** Содержание благородных металлов в металлоносных породах Ольгинского района, г/т

№ п.п.	№ пробы	Au, I	Pd, I	Pt, I	Au, a	Pd, a	Pt, a	Au, п	Pd, п	Pt, п
Оловянно-железные руды										
1	Ш-86-116	<b>2.534</b>	0.014	<b>0.148</b>	0.083	0.03	<b>0.80</b>	0.026	0.004	<b>0.132</b>
2	Ш-86-119	0.004	0.000	0.000	0.050	0.021	<b>0.14</b>			
3	Ш-86-43	<b>0.112</b>	0.000	<b>0.163</b>	<b>0.104</b>	0.04	<b>0.65</b>	<b>0.106</b>	0.007	0.056
4	Ш-86-110	0.017	0.000	0.000	0.07	0.06	<b>0.44</b>	0.028	0.009	0.012
5	Ш-86-114	<b>0.254</b>	0.000	0.000	0.04	0.020	<b>0.60</b>	0.043	0.004	0.002
6	Ш-86-120	<b>0.183</b>	0.003	0.025	0.03	0.026	<b>0.12</b>	0.008	0.007	0.012
7	Ш-86-111	<b>0.509</b>	0.000	0.016	0.025	0.023	0.045	0.055	0.003	0.002
8	Ш-86-88	<b>0.126</b>	0.000	0.029	<b>0.209</b>	0.019	0.08	0.027	0.004	0.005
9	Мт-81-9	0.026	0.000	0.013	<b>0.672</b>	0.005	0.06	0.026	0.004	0.001
10	Мт-81-5	0.019	0.010	0.017	<b>0.117</b>	0.040	<b>0.62</b>	<b>0.139</b>	0.017	0.057
11	Ш-86-81	<b>0.419</b>	0.000	0.017	0.03	0.003	<b>0.33</b>			
12	Ш-86-89	0.009	0.000	0.016	0.086	0.024	<b>0.21</b>	0.030	0.004	0.000
13	Мт-81-6	0.020	0.000	0.000	<b>0.130</b>	0.013	<b>0.15</b>			
14	М-81-18	<b>0.169</b>	0.000	0.003	<b>0.17</b>	<b>0.178</b>	<b>4.47</b>			
15	Ш-86-113				<b>0.13</b>	0.08	<b>0.48</b>			
16	Ш-80-19				0.04	0.01	<b>0.37</b>			
Амфибол-пироксеновые породы										
1	М-86-14	0.000	0.004	0.000	<b>0.822</b>	0.019	0.020	0.031	0.005	0.002
2	М-86-4	0.069	0.000	0.000	<b>0.133</b>	0.036	0.04	0.009	0.009	0.011
3	Ш-86-93	<b>0.229</b>	0.004	0.046	0.04		0.08			
4	Ш-86-91	<b>0.588</b>	0.000	0.018	0.08		<b>0.64</b>			
5	М-86-34				<b>1.46</b>	0.01	<b>0.44</b>			
6	М-86-30				0.06	0.02	<b>0.59</b>			
“Итабириты”										
1	Ш-05-74	0.018	0.000	0.000	<b>0.17</b>	0.03	<b>0.71</b>	0.073	0.005	0.004
2	Ш-05-71	<b>0.454</b>	0.000	0.000	0.03	0.006	0.09			
3	Ш-05-3	<b>0.114</b>	0.000	0.000	0.03	0.00	<b>0.17</b>	0.008	0.001	0.003
4	Ш-05-72а	<b>0.698</b>	0.000	0.000						
5	Ш-05-16	0.036	0.002	0.001	0.02	0.03	<b>0.44</b>	0.015	0.002	0.002
6	Ш-05-5	0.000	0.002	0.005	<b>1.18</b>	0.014	<b>0.12</b>	0.01	0.000	0.004
7	Ш-05-20	<b>0.280</b>	0.000	0.000				0.005	0.001	0.003
8	Ш-05-72	0.022	0.002	0.009	0.07	0.004	<b>0.13</b>			
9	Ш-05-73	0.000	0.000	<b>0.118</b>	0.04	0.000	0.05			
10	Ш-86-178	<b>0.110</b>	0.000	0.000	0.03	0.03	<b>0.57</b>	0.021	0.007	0.006
“Ильменит-биотит-полевошпатовая порода”										
1	Ш-05-2	<b>1.548</b>	0.003	0.005	0.05	0.03	<b>0.42</b>			

Примечание. I – ИСП МС (ХИАЦ ИТИГ), а – атомно-абсорбционный, п – пробирный методы. В таблице не приведены 15 анализов “итабиритов” с содержаниями металлов менее 0.1 г/т.

свойственны, как выяснилось, погрешности на один–три порядка, заметные при сравнении содержаний в пробах одних и тех же пород, относящихся к разным партиям. Это свидетельствует о наличии неконтролируемого фактора, определяющего потери при разложении всех проб одной партии. Возможно, им являлось неполное окисле-

ние органики, адсорбировавшей благородные металлы.

Сравнение результатов анализов разными методами (табл. 1–3) позволяет более или менее достоверно оценить уровень содержания Au, Pt и Pd. Марганцевосиликатные породы Ольгинского района отличаются высоким (до нескольких десятков и

даже сотен г/т) содержанием Au, подтвержденным как пробирным, так и ИСП МС (ХИАЦ) методами (табл. 1). По данным метода ИСП МС для них характерно и высокое (до 8.386 г/т) содержание Pt. Присутствие (изредка) более 0.1 г/т Pd установлено всеми методами, но высокое содержание (2.603 г/т) свойственно только одной пробе. Из табл. 1 видно, что при АА-анализе почти полностью утеряны Au, Pd и в значительной части Pt, а при пробирном – все элементы. В частности, в очень богатой порцеитом пробе М-86-27 по визуальной оценке в аншлифе (часть его использована для анализа) содержание Au составляет единицы–десятки кг/т, а Pd – десятки–сотни г/т. АА-методом определено только 0.09 г/т Au и 0.16 г/т Pd. В марганцевосиликатных породах Дальнегорского района содержание Au достигает 2.48 г/т, Pt 11.27 г/т, Pd 2.12 г/т [4]. Для аналогичных пород Дальнереченского района максимальные значения для Au (8.432 г/т), Pd (5.333) и Pt (1.542) получены ИСП МС-методом в ДВГИ ДВО РАН (табл. 2). При выполнении анализов в ХИАЦ ИТИГ все элементы утеряны.

Оловянно-железные руды по микронзондовым данным богаты Au и, особенно, Pt. Значимые (от 0.1 г/т) количества этих элементов установлены всеми методами (табл. 3). Максимальное содержание Au (2.534 г/т) определено ИСП МС, а Pt (4.47) – АА-методом. В ИСП МС-анализах Pt, а в пробирных анализах – Au и Pt почти полностью утеряны. Потери характерны, очевидно, и для АА-анализа, так как в аншлифе (часть которого послужила материалом пробы Ш-86-113) наряду с зернами Au присутствуют десятки кристаллов Pt размером около 3 × 8 мкм и гнезда из 3–4 зерен сперрилита. АА-методом определено только 0.13 г/т Au и 0.48 г/т Pt. Частота встречаемости значимых содержаний благородных металлов в “итабиритах” (в 10 пробах из 25) значительно ниже, чем в металлоносных породах других типов (см. табл. 3). Содержание Au достигает 1.18 г/т, Pt 0.71 г/т. В “ильменит-биотит-полевошпатовых

породах” определено 1.548 г/т Au и 0.42 г/т Pt (см. табл. 3). Скарноподобные амфибол-пироксеновые породы по микронзондовым данным содержат Pt, богаты Au и, особенно, Pd, присутствующим в самородном виде. Значимые содержания Au (до 1.46 г/т) определены ИСП МС- и АА-методами, Pt (до 0.59) – только АА-методом, а Pd – не обнаружены ни одним из методов (см. табл. 3). Марганцовистые скарны Ольгинского и Дальнегорского районов независимо от вещественного состава присутствующих в них руд (железные, полиметаллические, борные) тоже содержат минералы Au, Ag и PGM. По результатам АА- и пробирного анализа они богаты Au (до 3.35 г/т), Pt (до 1.54), Pd (до 5.34 г/т) и от металлоносных осадков отличаются высоким значением Pd/(Au+Pt) [4].

Высокое содержание благородных металлов, степень распространения, большие объемы и разнообразие генетических и литохимических типов металлоносных пород являются основанием для отнесения Приморья к числу перспективных регионов России с Au-Pd-Pt-оруденением нетрадиционного типа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Президиума ДВО РАН (проект 06–05–96043).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., Первозникова Е.В. и др. // ДАН. 2006. Т. 407. № 4. С. 516–520.
2. Казаченко В.Т., Первозникова Е.В., Мирошниченко Н.В. и др. // ДАН. 2006. Т. 409. № 3. С. 369–374.
3. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., Первозникова Е.В., Карабцов А.А. // ДАН. 2006. Т. 410. № 1. С. 75–82.
4. Казаченко В.Т., Первозникова Е.В., Мирошниченко Н.В. и др. // ДАН. 2007. Т. 414. № 5. С. 667–671.
5. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., Первозникова Е.В., Карабцов А.А. // ДАН. 2008. Т. 421. № 3. С. 383–386.