

Пономарева Г.А.

Оренбургский государственный университет

E-mail: galy.ponomareva@mail.ru

## МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ПЛАТИНОИДНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ОРЕНБУРГСКОЙ ЧАСТИ ЮЖНОГО УРАЛА

Благородные металлы (БМ) играют огромную роль в науке и народном хозяйстве. Все возрастающие темпы их потребления диктуют необходимость пересмотра структуры сырьевой базы платиновых металлов и золота. Решению этой проблемы и посвящено настоящее исследование, в котором предпринята попытка изучения закономерностей пространственного распределения Pt, Pd в ассоциации с Au и Ag по обширной территории Оренбургского Урала. Для решения этой проблемы проанализированы образцы из 17 промышленных типов месторождений Оренбуржья по единой методике с применением авторского патентованного способа определения БМ. Полученный массив элементопределений послужил основой интерпретации геохимических данных, в ходе чего были определены параметры платинометальной специализации сульфидных месторождений (золоторудных, медно-колчеданных, медистых песчаников), месторождений в ультрамафических комплексах, а также установлено независимое распределение палладия в группе БМ, что позволило использовать отношение Pt/Pd при систематизации результатов, произвести пометальное районирование территории исследований по каждому из перечисленных выше структурно-вещественных комплексов и выявить металлогеническую зональность платиноидной специализации геолого-структурных зон Южного Урала и конкретных промышленных типов месторождений и предварительно оценить металлогенический потенциал территории за счет использования нетрадиционных источников БМ.

**Ключевые слова:** нетрадиционные месторождения, платино-палладиевое соотношение, благороднометальная специализация, металлогеническая зональность.

Благородные металлы относятся к стратегическим высоколиквидным видам полезных ископаемых. Они находят применение в базовых отраслях промышленности, а также служат источником валютных поступлений. Основные запасы металлов платиновой группы (МПГ) (97 %) приходятся на медно-никелевые месторождения, в которых преобладает палладий (до 75 %).

Все производство МПГ из коренных месторождений ведут из Норильских и Печенгских руд монополией ГК «Норильский никель». С 1992 года наблюдается снижение запасов уникальных норильских месторождений [1].

В связи с все возрастающим потреблением благородных металлов требуется увеличение объемов их производства. Это возможно путем пересмотра и изменения структуры сырьевой базы платиновых металлов и золота. В настоящее время получены новые данные по платиноносности в так называемых нетрадиционных месторождениях.

К нетрадиционным месторождениям относятся полиметалльные месторождения в осадочно-метаморфических черносланцевых комплексах, малосульфидное оруденение в расслоенных интрузиях, платиноносные офиолитовые комплексы, хромиты ультраосновных массивов др. [2]–[4].

Оренбургская область, расположенная в зоне сочленения геолого-структурных элементов планетарного масштаба, является ярким примером сочетания геодинамических обстановок, выгодных для формирования нетрадиционных видов платинометального оруденения. Их вовлечение в реальное производство является важным не только для Уральского региона, но и Российской Федерации в целом.

Одной из главных задач исследования являлось установление закономерностей пространственного распределения Pt и Pd с Au и Ag по обширной территории Оренбургского Урала. Выявление закономерностей локализации платины и палладия в географическом пространстве проводилось на примерах месторождений различных промышленных типов. С этой целью проанализированы 143 пробы из 17 месторождений. Всего выполнено более 600 анализов по единой методике, из следующих промышленно-генетических типов месторождений:

- колчеданного типа (62 выборки, 248 элементопределений);
- месторождений, связанных с ультрамафитами (43 выборки, 172 элементопределения);
- золотосульфидных (29 выборки, 116 элементопределений);
- медистых песчаников (9 выборки, 36 элементопределений).

Инструментальное определение благородных металлов выполнено автором методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) с электротермическим атомизатором на спектрометре МГА-915 в лаборатории физических методов исследования кафедры геологии Оренбургского государственного университета с использованием авторского способа разложения углеродистой части анализируемых образцов [5].

Полученный в результате массив геохимических данных (табл. 1) послужил основой планомерного изучения БМ и выявления закономерностей их распределения по территории Оренбургского Урала, в результате чего также выявлена особая роль Pd в распределении БМ, проявляющаяся при статистических исследованиях (рис. 1, табл. 2) [6], [7].

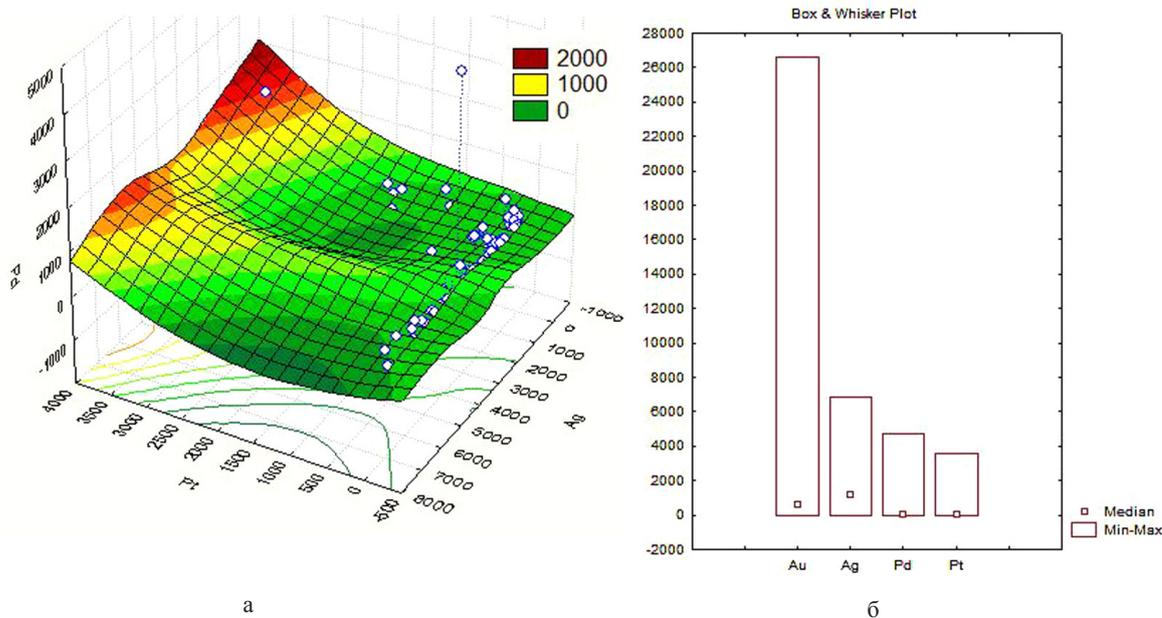
Статистическое распределение всех БМ ассиметричное. Для Ag и Au характерно полимодальное распределение. Максимальный размах значений у Au. Распределение Pd слабо связано с остальными металлами, что позволяет использовать платино-палладиевое отношение при типизации различных месторождений. Это было выполнено для всех изученных месторождений области.

Колчеданные месторождения Южного Урала достаточно хорошо изучены. Как известно,

руды медноколчеданных месторождений – комплексные, содержат в себе целый ряд попутных компонентов: S, Au, Ag, Se, Te, In, Ta, Ge, Ba и др. [8], [9]. В последнее время обращается внимание на присутствие в колчеданных рудах Оренбургского Урала Pt и Pd [4], [10], [11].

Исследованные образцы руд и минералов показали, что Pt и Pd распределены крайне неравномерно как в пределах одного месторождения, так и от месторождения к месторождению, что характерно для колчеданных месторождений Урала [12]. По количественным соотношениям БМ и платиноидной специализации колчеданные месторождения подразделяются на два основных типа: платино-палладиевые при  $Pt/Pd < 1$  (Гайское, Яман-Касинское, Ишкининское) и палладиево-платиновые,  $Pt/Pd > 1$  (Весеннее, Джусинское, Барсучий Лог, Светлинское, Тюлькубайское рудопроявление). Они расположены соответственно в западном и восточном бортах Магнитогорского прогиба.

В целом, в колчеданных месторождениях с запада на восток возрастает содержание Pt в рудах и одновременно уменьшается содержание Pd. Следует отметить, что и концентрации Au в колчеданных месторождениях Восточной зоны выше по сравнению с Западной, что согласуется с мнением Ю.А. Волченко и В.А. Коротева, что



а – независимое распределение Pd в группе БМ; б – статистические характеристики БМ

Рисунок 1. Статистика группы БМ для рудных месторождений

степень платиноносности уральских колчеданных месторождений «сопряжена не только со степенью медности, но и с уровнем золотоносности» [12]. Месторождения Восточной зоны по сравнению с Западной зоной отличаются и повышенным соотношением Pt/Pd [7].

В Восточном Оренбуржье углеродистые породы, в частности черные сланцы, пользуются широким распространением. Они вмещают

ряд золотоносных объектов, например, золотосульфидные месторождения – Кировское и Васино. благороднометалльная специализация Кировского месторождения – Ag>Au>Pt>Pd, палладиево-платиновая с соотношением Pt/Pd~3. благороднометалльная специализация месторождения Васино – Au>Pt>Pd>Ag, также, палладиево-платиновая с соотношением Pt/Pd~2,8 (табл. 1).

Таблица 1. Результаты ААС определения Pt, Pd, Au, Ag в месторождениях Оренбургской области. В числителе указан размах содержаний, в знаменателе – среднее значение, мг/т

| №                              | Месторождение                       | Pt              | Pd              | Au                  | Ag                | $\Sigma$ Pt,Pd | СБМ   |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|-------|
| 1                              | 2                                   | 3               | 4               | 5                   | 6                 | 7              | 8     |
| Колчеданные месторождения      |                                     |                 |                 |                     |                   |                |       |
| 1                              | Гайское                             | 2-20<br>8       | 0,2-70<br>21    | 17-2560<br>770      | 13-4910<br>1778   | 29             | 2577  |
| 2                              | Яман-Касы                           | 2-43<br>20      | 7-93<br>33      | 3140-26590<br>10880 | 38-6850<br>3740   | 53             | 14673 |
| 3                              | Ишкининское                         | 7-130<br>67     | 81-4747<br>1896 | 5-54<br>24          | 2000-5030<br>3393 | 1963           | 5380  |
| 4                              | Джусинское                          | 15-50<br>39     | 6-21<br>9       | 4372-6650<br>5452   | 190-4355<br>2180  | 48             | 7680  |
| 5                              | Барсучий Лог                        | 80-680<br>300   | 2-14<br>8       | 940-3070<br>1860    | 930-2650<br>1880  | 308            | 4048  |
| 6                              | Весеннее                            | 78-210<br>142   | 7-41<br>17      | 1081-6340<br>3672   | 3460-6330<br>4978 | 159            | 8809  |
| 7                              | Светлинское                         | 101-387<br>247  | 2-4<br>3        | 4310-5335<br>5138   | 970-2481<br>1489  | 250            | 6877  |
| 8                              | Тюлькубайское                       | 79-1020<br>433  | 2-540<br>309    | 1-278<br>99         | 11-36<br>17       | 742            | 858   |
| Месторождения в ультрамафитах  |                                     |                 |                 |                     |                   |                |       |
| 1                              | Халиловское (хромиты)               | 96-110<br>103   | 70-112<br>91    | 80-84<br>82         | 10-12<br>11       | 194            | 287   |
| 2                              | Хабарнинское,<br>Донское (хромиты)  | 15-23<br>19     | 17-38<br>27     | 17-30<br>20         | 613-2858<br>1990  | 45             | 2055  |
| 3                              | Ясненское (хризотил-<br>асбест)     | 44-1421<br>531  | 2-179<br>51     | 2-3831<br>1360      | 27-2799<br>476    | 582            | 2791  |
| 4                              | Аккаргинское<br>(хромиты)           | 14-2150<br>971  | 9-960<br>288    | 5-169<br>41         | 0,6-108<br>23     | 1259           | 1325  |
| 5                              | Буруктаьское<br>(силикатный никель) | 10-32<br>14     | 10-77<br>47     | 3-59<br>24          | 1-101<br>27       | 63             | 114   |
| 6                              | Ультрамафитовый<br>комплекс ВЕП     | 353-2563<br>969 | 23-529<br>251   | 4-645<br>119        | 5-646<br>167      | 1220           | 1506  |
| Медистые песчаники             |                                     |                 |                 |                     |                   |                |       |
| 1                              | Каргалинское                        | 8-245<br>53     | 4-327<br>109    | 26-1019<br>442      | 266-3227<br>1413  | 162            | 2017  |
| Золотосульфидные месторождения |                                     |                 |                 |                     |                   |                |       |
| 1                              | Кировское                           | 22-1700<br>399  | 4-560<br>251    | 55-1130<br>403      | 90-5800<br>1140   | 530            | 2073  |
| 2                              | Васино                              | 353-3620<br>539 | 4-1400<br>196   | 130-2340<br>559     | 1-983<br>45       | 735            | 1339  |

Таблица 2. Параметры статистического распределения группы БМ для рудных месторождений, мг/т

| Element | Valid N | Mean     | Geometric | Median   | Mode      | Minimum  | Maximum  | Std.Dev. |
|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Au      | 101     | 2124,356 | 613,4756  | 661,000  | Multiple  | 1,000000 | 26590,00 | 4022,713 |
| Ag      | 100     | 1716,640 | 557,7637  | 1203,500 | Multiple  | 1,000000 | 6850,00  | 1716,594 |
| Pd      | 101     | 135,804  | 27,5487   | 21,000   | 4,000000  | 0,200000 | 4747,00  | 500,397  |
| Pt      | 101     | 200,861  | 31,3386   | 22,000   | 10,000000 | 2,000000 | 3620,00  | 538,966  |

Данные, полученные автором и другими исследователями [14 и др.], свидетельствуют, что в Каргалинском месторождении (медистые песчаники) Оренбургской области распределение БМ характеризуется своими особенностями. Специализация Каргалинского месторождения медистых песчаников по БМ следующая –  $Ag > Au > Pd > Pt$ . По соотношению  $Pt/Pd=0,49$  она сходна с колчеданными месторождениями западного борта Магнитогорского прогиба.

Данные о содержании БМ в месторождениях, связанных с полями ультраосновных пород, подтверждают закономерность снижения содержания платиноидов в хромитовых массивах, сложенных породами дунит-гарцбургитовой формации, по сравнению с более перспективными на платиноиды ультраосновными массивами Восточной мегазоны, где относительно менее проявлены дунит-пироксенит-габбровые комплексы.

По количественным соотношениям БМ месторождения Оренбургской области, связанные с ультраосновными массивами подразделяются на два типа (табл. 1): палладиево-платиновые,  $Pt/Pd > 1$  – Аккаргинское, Халиловское, Ясенское, платформенные ультрамафиты и месторождения Хабарнинского массива и платино-палладиевые – Буруктаальское месторождение силикатного никеля при соотношении  $Pt/Pd < 1$ .

Анализ пространственного распределения БМ в различных месторождениях показывает, что распределение БМ отражает металлогеническую зональность платиноидной специализации геолого-структурных зон Южного Урала и конкретных промышленных типов месторождений:

- Предуральский краевой прогиб (медистые песчаники) – платино-палладиевая,  $Pt/Pd < 1$ ;
- Центрально-Уральская зона (хромитовые месторождения) – палладиево-платиновая,  $Pt/Pd > 1$ ;
- Западный борт Магнитогорского прогиба (колчеданные месторождения) – платино-палладиевая,  $Pt/Pd < 1$ ;
- Восточный борт Магнитогорского прогиба (колчеданные месторождения) – палладиево-платиновая,  $Pt/Pd > 1$ ;
- Восточно-Уральское поднятие (хромитовые, асбестовые, золотосульфидные месторождения) – палладиево-платиновая специализация,  $Pt/Pd > 1$ ;

– Зауральское поднятие (Буруктаальское месторождение силикатного никеля) – платино-палладиевая,  $Pt/Pd < 1$ .

Таким образом, в прогибах наблюдается платино-палладиевая, а на поднятиях – палладиево-платиновая специализация, что отражает особенности глубинного строения земной коры. Одновременно заметно увеличение содержания Pt с запада на восток.

С позиций концепции тектоники плит на Урале выделены следующие геодинамические обстановки, каждой из которых свойственны свои структурно-вещественные комплексы, с типоморфной минерагенией (Коротеев, 1996; Коротеев, Нечехин, 1989; Прокин и др., 1993; Сазонов и др., 1996; Золото Урала. Коренные..., 1993; Koroteev et al., 1997; Sazonov et al., 2001 и др.) [15–19 и др.]. Так, с Центрально-Уральским и Восточно-Уральским поднятиями связаны, как правило, хромитовые месторождения, то есть это – объекты, которые формировались в рифтовой геодинамической обстановке и обстановке абиссальных равнин. Месторождения Предуральского краевого прогиба – медистые песчаники – это коллизионная геодинамическая обстановка, а колчеданные месторождения Магнитогорского прогиба сформировались в обстановке активной окраины континента. Однако, в западном борту Магнитогорского прогиба одно соотношение  $Pt/Pd$ , а в восточном – другое. Казалось бы, если одна обстановка, то и должно быть одно соотношение. Но это не так. Возможно, это следствие того, что западный борт размещается в некоторой близости от коллизионной зоны Главного Уральского разлома. Это определенный коллизионный, структурный шов, и поэтому коллизионная геодинамическая обстановка не могла не сказаться на распределении Pt и Pd, оно точно такое же, как и в коллизионном Предуральском прогибе.

Таким образом, соотношение  $Pt/Pd$ , возможно, представляет выявленный новый критерий для определения геодинамических обстановок, для возможности геотектонического районирования территории. Конечно, подтверждение этой мысли требует дополнительных исследований по Южному Уралу и по всему Уральскому региону. Следует отметить, что представленные данные по содержанию платины и палладия в месторож-

дениях, как правило, не противоречат результатам других исследователей, полученным по тем же месторождениям Оренбургского Урала [4, 10, 11, 14 и др.].

Интерпретация результатов настоящих исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Независимость распределения Pd позволяет использовать его в парных отношениях с другими БМ при типизации рудных месторождений.

2. Полученные данные по платиноносности разных типов рудных месторождений позволя-

ют выявить в распределении БМ два главных типа – палладиево-платиновый и платино-палладиевый.

3. Пространственное распределение платиноидов отражает региональную широтную зональность, которая согласуется с геологоструктурными зонами Южного Урала.

4. Из всех типов месторождений наиболее продуктивными на платиноиды в ближайшее время являются золотосульфидные, колчеданные и хромовые месторождения в случае их разработки.

10.05.2015

#### Список литературы:

- Беневольский, Б.И. Состояние, проблемы и пути развития минерально-сырьевой базы благородных металлов / Б.И. Беневольский, С.С. Вартанян, А.Г. Волчков и др. // Руды и металлы. – М.: ЦНИИГРИ, 2009. – № 1. – С. 14 – 18.
- Додин, Д.А. Новая концепция расширения и комплексного освоения сырьевой базы платиновых металлов / Д.А. Додин, Н.М. Чернышов, О.А. Дюжиков и др. // Платина России. – М.: Геоинформмарк, 1994. – С. 5 – 17.
- Додин, Д.А. Состояние и проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов (результаты и направления исследований по программе «Платина России») / Д.А. Додин, Н.М. Чернышов, Б.Я. Яцкевич и др. // Платина России. – т. II, кн. 1. – М.: «Геоинформмарк», 1995. – С. 7 – 48.
- Золоев, К.К. Платинометальное оруденение в геологических комплексах Урала / К.К. Золоев, Ю.А. Волченко, В.А. Коротеев, И.А. Малахов, А.Н. Мардиросьян, В.Н. Хрыпов. – Екатеринбург, 2001. – 199 с.
- Патент № 2409810 РФ МПК51 G01N 31/00 Способ разложения проб при определении благородных металлов в углеродистых породах / Г.А. Пономарева, П.В. Панкратьев; 2011. – Бюл. № 2. – 7 с.
- Пономарева, Г.А. Региональные закономерности распределения платиноидов в Оренбургской части Южного Урала: автореф. дис... канд. геол.-мин. наук: 25.00.11. – Екатеринбург, 2013. – 23 с.
- Пономарева, Г.А. Региональные закономерности распределения платиноидов в Оренбургской части Южного Урала: дис... канд. геол.-мин. наук: 25.00.11. – Екатеринбург, 2013. – 240 с.
- Пшеничный, Г.Н. Гайское медноколчеданное месторождение Южного Урала / Г.Н. Пшеничный. – М.: Наука, 1975. – 187 с.
- Гайский ГОК; геология Гайского и Подольского медно-цинковых колчеданных месторождений на Урале. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2004. – 148 с.
- Лазаренков, В.Г. Платиновые металлы в гипергенных никелевых месторождениях и перспективы их промышленного извлечения / В.Г. Лазаренков, И.В. Таловина, И.Н. Белоглазов, В.И. Володин. – «Недра», 2006. – 188 с.
- Викентьев, В.И. Формы нахождения и условия концентрирования благородных металлов в колчеданных рудах Урала / В.И. Викентьев, В.П. Молошаг, М.А. Юдовская // Геология рудных месторождений. – М., 2006. – Т. 48. – № 2. – С. 91 – 125.
- Волченко, Ю.А. Платинометальное оруденение палеостроводужных комплексов Урала: платиноносные и палладиеносные пояса / Ю.А. Волченко, В.А. Коротеев // Тез. докл. 111 Всеурал. металлог. сов. – Екатеринбург: 2000. – С. 94 – 98.
- Пономарева, Г.А. Платиноиды в колчеданных месторождениях Оренбургской части Южного Урала / Г.А. Пономарева // Матлы Всероссийской научной конференции (V Чтения памяти С.Н. Иванова) «Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд». – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2013. – С. 114-117.
- Полуаршинов, Г.П. О новых типах платиноидного оруденения / Г.П. Полуаршинов, В.М. Константинов // Минеральные ресурсы России, 1994. – № 4. – С. 20 – 30.
- Коротеев, В.А. Эволюция геодинамических режимов рудообразования в геосинклинально-складчатых системах уральского типа / В.А. Коротеев, В.М. Нечеухин // Эволюция рудообразования. – М.: «Недра», 1989. – С. 126-137.
- Прокин, В.А. Эволюция эндогенных рудных формаций с позиций тектоники плит / В.А. Прокин, В.Н. Сазонов, Ю.А. Полтавец // Геология рудных месторождений. – М.: 1993. – № 2. – С. 151-160.
- Сазонов, В.Н. Геодинамические обстановки локализации золотого оруденения в складчатых системах уральского типа / В.Н. Сазонов, Н.А. Григорьев, В.В. Мурзин // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – С. 138 – 140.
- Koroteev, V.A. Geodynamic setting of the mineral deposits of the Urals / V.A. Koroteev, H. Boorder, K.M. Necheukhin et al // Tectonophysics, 1997. – V. 216. – P. 291-300.
- Sazonov, V.N. Spatial and temporal distribution of gold deposits in the Urals / V.N. Sazonov, A.N. Herk, H. Boorder // Econ. Geol., 2001. – Vol. 96. – P. 685-703.

Сведения об авторе:

**Пономарева Галина Алексеевна**, доцент кафедры геологии геолого-географического факультета  
Оренбургского государственного университета, кандидат геолого-минералогических наук  
e-mail: galy.ponomareva@mail.ru

460018 г. Оренбург, пр-т Победы, 13, к 3206. тел.: (3532) 37-25-43