

## ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

УДК 549.2:549.3:552:4 (470.32)

Чернышов Н.М., Коробкина Т.П., Лапутина И.П.

### БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ КОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ВКМ (на примере Тимского и Авильского участков)

На ВКМ установлена палладиеносность колчеданных проявлений и выявлены продуктивные на Pd и Au ассоциации. На основе микрозондовых исследований в колчеданных рудах впервые установлены минералы Pd: тестибиопалладит и неназванный антимонид Pd и Au, изучен состав главных, второстепенных, продуктивных и редких минералов.

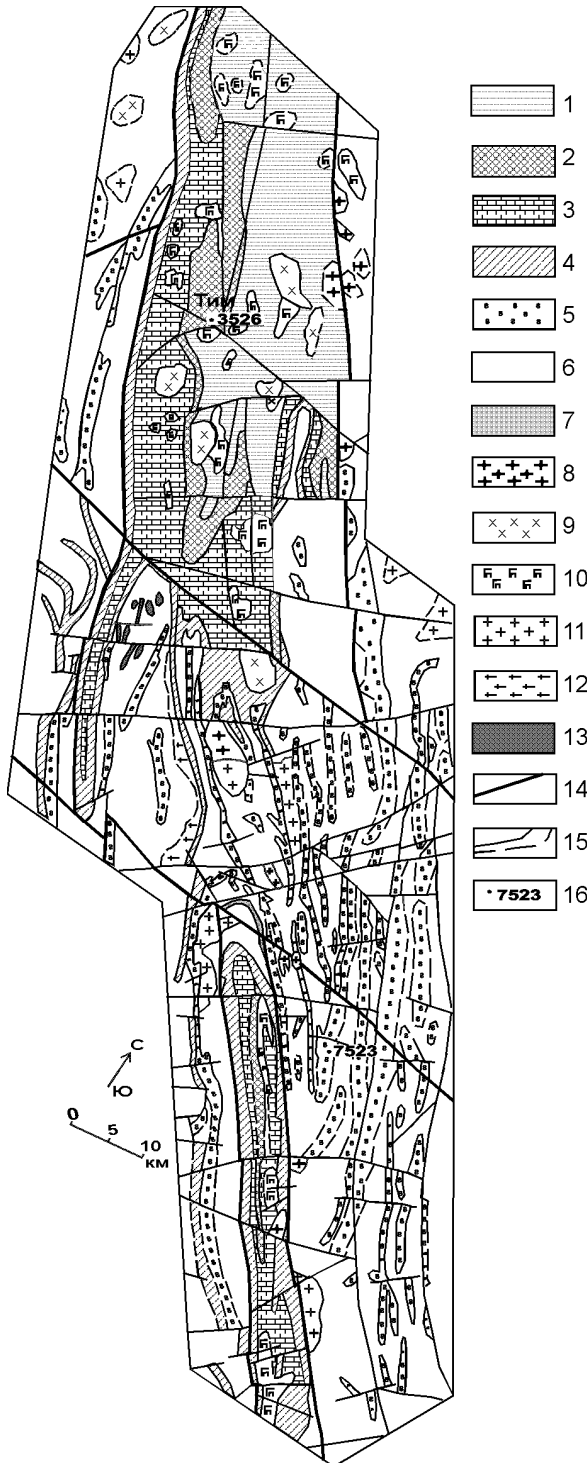
В пределах Воронежского кристаллического массива (ВКМ) в разновозрастных ( $AR_1$ - $PR_1$ ) осадочно-вулканогенных структурно-вещественных комплексах (СВК) обнаружены колчеданные проявления, обладающие признаками, присущими колчеданным месторождениям Карелии, Полярного Урала, Швеции [1,6]. К числу таких признаков относятся: а) отчетливая приуроченность к докембрийским осадочно-вулканогенным СВК, претерпевшим региональный метаморфизм эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций; б) простота минерального состава оруденения с ведущей ролью в нём пирита и пирротина, отражающих серноколчеданный тип оруденения; в) неперенное наличие сульфидов Cu и Zn; г) типичные структурно-текстурные особенности руд. Колчеданные руды образуют линзо- и пластобразные тела, залегающие большей частью согласно с вмещающими их метаморфизованными осадочно-вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами. Рудовмещающие породы, помимо интенсивного регионального метаморфизма, претерпели околорудный гидротермальный метаморфизм: окварцевание, серицитизацию и хлоритизацию [5]. В отличие от зон сульфидизации, широко развитых в породах разновозрастных вулканогенно-осадочных СВК, колчеданные руды характеризуются повышенным содержанием (30-40% и более) рудного компонента, наличием текстур (массивной, густовкрапленной, брекчиевидной, петельчатой замещения), отсутствующих или крайне редко встречающихся в зонах сульфидизации, специфическим набором благородных и редких минералов.

Золото, являясь характерным попутным полезным компонентом колчеданных месторождений, играющих заметную роль в его добыче, как правило, генетически связано с колчеданной минерализацией [4]. Вопросу специализации колчеданных залежей на платинометальное оруденение был посвящен ряд

работ [3,8], но для территории ВКМ он до сих пор остается открытым.

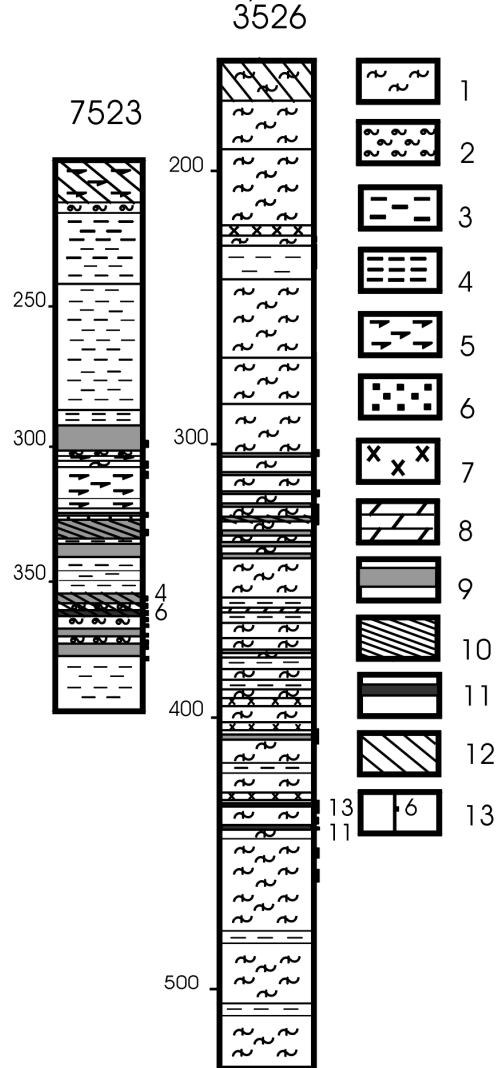
Колчеданное проявление участка Тимского, расположенного в центральной части крупной (120x30км) Тим-Ястребовской структуры КМА, залегает среди высокоуглеродистых сланцев тимской свиты, являющихся составной частью вулканогенно-осадочного СВК оскольской серии (рис.1,2). Рудопоявление сложено маломощными залежами пиритовых, пирротин-пиритовых и пирит-пирротинных руд с содержанием сульфидов железа 30-40%, редко 90-95% и постоянным присутствием в небольших количествах (от долей % до 1-3%) халькопирита, сфалерита. Марказит, арсенопирит, пентландит, галенит и молибденит развиты спороадически.

Предшествующими работами была выявлена слабая золотоносность (до 0,1 г/т) колчеданных руд. Использование микрорентгеноспектрального анализа при детальной ревизии образцов руд с целью уточнения благороднометальной специализации колчеданов позволило установить их палладиеносность (таблица). Рудные и ассоциирующие с ними жильные минералы образуют характерные ассоциации: а) дорудные, слабо проявленные (пиритовая и кварцевая); б) рудные - пиритовая, пирит-пирротинная (с тестибиопалладитом, алтаитом, пентландитом, халькопиритом, сфалеритом) и полисульфидная (сфалерит-халькопирит-пирротинная  $\pm$  арсенопирит, галенит, пирит, кварц, карбонат); в) пострудные - марказит-пиритовая, кварцевая ( $\pm$  пирит), карбонатная ( $\pm$  кварц, пирит, марказит). Продуктивными на золото являются участки развития двух ассоциаций: пиритовой, сложенной массивным, полосчатым, катаклазированным пиритом и полисульфидной, выполняющей трещины катаклаза в пирите. Основная масса золота участка Тимского связана с минералами полисульфидной ассоциации,



**Рис.1. Схематическая геологическая карта Тим-Ястребовской и Волотовской структур:** 1-6-стратифицированные образования: 1-2-породы тимской свиты (1-метаэффузивы основного, среднего и кислого состава, ортосланцы, микроамфиболиты, прослои сланцев кварц-биотитовых, углеродистых; 2-сланцы кварц-биотитовые, углеродистые, сульфидизированные, метапесчаники); 3-породы роговской свиты (известняки и доломиты, метапесчаники, метакогломераты, сланцы углеродистые); 4-породы курской серии (железистые кварциты, сланцы различного состава, в том числе углеродистые, метапесчаники, метаалевролиты, кварциты, конгломераты); 5-породы михайловской серии (метаэффузивы основного-среднего состава, ортосланцы, ортоамфиболиты, метаконатиты, метапесчаники, железистые кварциты, гнейсы); 6-породы обоянской

серии (плагинейсы различного состава, прослои амфиболитов, железистых кварцитов; породы мигматизированы); 7-13- интрузивные образования: 7-щелочные карбонатиты, калиевые фениты, метасоматиты дубравинского комплекса; 8-граниты субщелочные, пегматиты, гранит-аплиты малиновского комплекса; 9-гранодиориты, диориты, кварцевые диориты, дайки диорит-порфиров, гранодиорит-порфиров, сплессартитов, керсантитов стойло-николаевского комплекса; 10-габбронориты, габбро, габбродолериты золотухинского комплекса; 11-граниты субщелочные атаманского комплекса; 12-плагииграниты, тоналиты, гранодиориты салтыковского комплекса; 13-горнблендиты, габбро-амфиболиты, габбро, пироксениты сергиевского комплекса; 14-разрывные нарушения; 15-геологический граици; 16-скважины и их номера.



**Рис.2. Положение золото- и палладиеносных колчеданных руд в разрезах углеродсодержащих пород нижнетимской (скв.3526) и александровской (скв.7523) свит:** 1- сланцы кварц-серицит-углеродистые, серицит-графит-кварцевые, графит-гранат-серицит-кварцевые; 2- сланцы серицит-биотит-кварцевые, биотит-кварцевые; 3- сланцы биотит-кварц-амфиболовые, биотит-амфибол-кварцевые, гранат-кварц-амфиболовые, кварц-амфибол-биотит-плагииоклазовые, амфибол-карбонатные породы; 4- сланцы кварц-плагииоклаз-биотитовые, гранат-биотит-кварц-плагииоклазовые, гранат-биотит-плагииоклазовые; 5- амфиболиты, гранатсодержащие амфиболиты; 6- метапесчаники; 7- диориты; 8- доломиты; 9- колчеданные руды; 10- Au оруденение; 11- Pd оруденение; 12- породы в зоне выветривания; 13- номера образцов, проб.

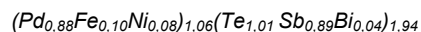
Таблица

**Результаты микрозондового анализа (мас.%) и кристаллохимические формулы рудных минералов золото-платиноносных колчеданных руд и углеродосодержащих пород участков Тимской и Авильский**

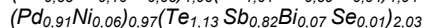
Элементы	Pd	Au	Ag	Te	Bi	Ni	Co	Fe	Pb	Cu	S	Se	Sb	As	Σ
1	26,55			36,95	1,96	1,22	0,01	1,68					31,02		99,41
2	26,66			36,49	2,28	1,36	0,04	1,49					30,90	0,16	99,38
3	26,85			40,08	4,25	0,92						0,31	27,94	0,16	100,51
4				36,18	0,03			2,26	60,49		0,15				99,11
5			0,17	38,16	0,27				61,65				0,28		100,53
Элементы	Pd	Au	Ag	Te	Bi	Ni	Co	Fe	Cu	Hg	S	Se	Sb	As	Σ
6	23,20	9,11		0,03					0,76				66,78		99,88
7	22,10	9,40		0,12					0,94				67,00	0,06	99,62
8		57,60	37,30					0,70	1,30	0,33	0,50				98,23
9		46,54	47,17	0,94						5,16					99,81
10	0,05	47,18	47,82	0,43					0,05	4,41					99,94
11			60,80	37,80					0,80						99,40
12			62,58	36,87								0,05		0,04	99,54
Элементы	Fe	Ni	Co	Pb	Zn	Cu	Mn	Ag	Bi	Sn	S	Se	Sb	As	Σ
13	1,28	23,45	2,92			0,48			0,03		14,35		56,93	0,06	99,70
14	1,99	23,84	1,97		0,20	0,18					14,50		57,40		99,88
15	12,50				1,64	28,70				28,36	29,25				100,45
16	13,00				0,40	29,27				27,64	29,69				100,00
17	9,30				48,30	0,17	8,20				33,72				99,69
18				86,43				0,03	0,13		13,37	0,43			100,39
19	29,95					34,60		0,01			34,86				99,81
20	61,03	0,11	0,13								39,79				101,06
21	46,33		0,14								53,38			0,04	99,90
22	44,12		2,08		0,08						51,17			3,12	100,59

Примечание: 1-3-тестибиопалладит (скв.3526/11, скв.3526/13); 4-5-алтаит (скв.3526/11, 3526/13); 6-7-неизвестный антимонид Pd и Au (скв.7523/6); 8-10 – электрум (скв. 7523/4, 7523/6); 11-12 - гёссит (скв.7523/4, 7523/6); 13-14 -ульманнит (скв.7523/4); 15-16 -станнин (скв.7523/4, 7523/6); 17 -марганцовистый сфалерит (скв.7523/4); 18-галенит (скв.3523/23); 19 -халькопирит (скв.7523/6); 20-пирротин (скв.3526/13); 21-22 - пирит (скв.3523/23). Лаборатория ИГЕМ, аналитик И.П.Лапутина.

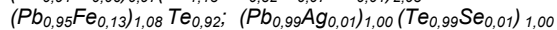
Тестибиопалладит



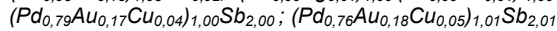
Алтаит



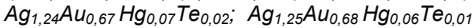
Неизвестный антимонид Pd и Au



Электрум



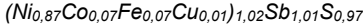
Гёссит



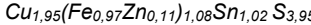
Ульманнит



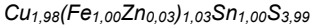
Станнин



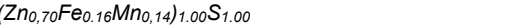
Марганцовистый сфалерит



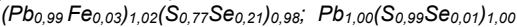
Галенит



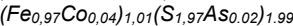
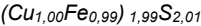
Халькопирит



Пирротин



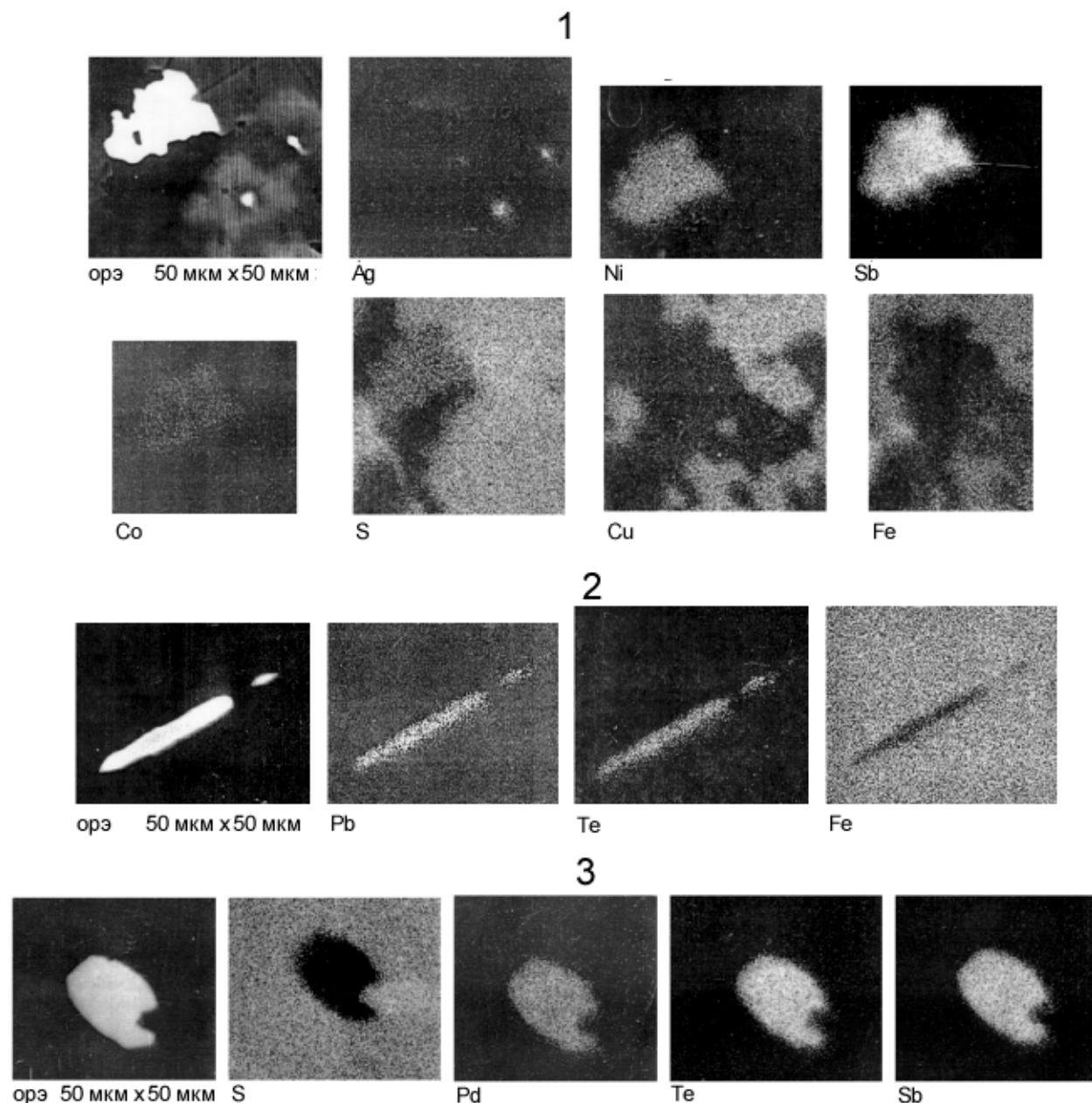
Пирит



образуя в них субмикроскопические включения. Пробность Au около 600, что указывает на низкотемпературный, близповерхностный характер его образования [7].

Палладиеносной является пирит-пирротиновая ассоциация с соотношением пирита к пирротину 1:10-15. Наиболее обогащены Pd участки развития пирротина со структурами распада пентландита и включениями тестибиопалладита в виде мелких гипидиоморфных зерен размером 0,02x0,01мм и его сростков с алтаитом (таблица). Форма, размеры отдельных рудных минералов и распределение в них минералообразующих элементов иллюстрируются рис.3.

Колчеданное проявление участка Авильский, расположенного к востоку от Волотовского золоторудного проявления, приурочено к графитизированной метапесчаниково-ортосланцевой (с прослоями амфиболитов) части разреза александровской свиты михайловской серии (рис.1,2.). Сложено пирротиновыми, редко - пирит-пирротиновыми рудами с содержанием сульфидов 40-50%, редко 70-80%, с незначительным (от 0,п до 2-5%), но постоянным присутствием халькопирита и сфалерита; к редким минералам относятся арсенопирит, молибденит, галенит и ильменит. Изучение минерального состава золоторудной минерализации (Au до 1.2 г/т) позволило выявить наличие в составе руд электрум и не-



**Рис.3.** Фотографии картин сканирования участков (50x50 мкм) аншлифов в обратно-рассеянных электронах (орэ) и характеристическом рентгеновском излучении:  $PbM_{\alpha}$ ,  $AgL_{\beta}$ ,  $TeL_{\alpha}$ ,  $SbL_{\alpha}$ ,  $NiK_{\alpha}$ ,  $SK_{\alpha}$ ,  $FeK_{\alpha}$ ,  $CoK_{\alpha}$ ,  $PdL_{\alpha}$ : 1 - ульманнит (св. 7523/4). 2 - алтаит (св. 3526/11), 3 - тестибиопалладит (св. 3526/11),

названного антимонида Au и Pd, представленного тонкодисперсными (0,003мм) зернами в ассоциации с халькопиритом, пирротинном и железо-марганцовистым сфалеритом, обогащенным эмульсионной вкрапленностью халькопирита. В интервалах с Au-Pd оруденением обнаружены гёссит в виде тонкодисперсных включений в графите, а также ульманнит и станнин (таблица).

Рудные и жильные минералы образуют ряд последовательно сменяющихся во времени ассоциаций: дорудные (пирротин-кварцевая и кварцевая), проявленные ограниченно; реликтовые (пиритовая и пирротиновая, видимо сфалерит, халькопиритсодержащие), в результате метаморфизма которых образовались рудные ассоциации (полисульфидная

продуктивная и существенно пирротиновая); завершающими являются пострудные (марказит-пиритовая, кварц-пирит-карбонатная, карбонатная). В состав полисульфидной продуктивной ассоциации помимо халькопирита, сфалерита и пирротина с соотношением перечисленных минералов  $\sim (35-40):(35-40):(20-30)$ , входят электрум, незаванный антимонид Pd и Au, гессит, ульманнит, станнин и галенит. Существенно пирротиновая ассоциация сложена пирротинном (85-95% в объеме рудного парагенезиса), халькопиритом и сфалеритом (5-15%), арсенопиритом и ульманнитом, развитыми спорадически.

Подобный минеральный парагенезис характерен и для колчеданных руд Карелии, Главного

Сульфидного пояса Финляндии и Северного Прибайкалья [2].

Полученные результаты выявили, с одной стороны, наличие в колчеданных рудах КМА ряда новых, неизвестных ранее минералов Pd и Au, теллуридов, сульфоантимонидов, станнидов, и с другой - многостадийность процесса формирования золото-платиноносных колчеданных рудообразующих систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №98-05-64154).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Генезис эндогенных рудных месторождений / Ред. В.И.Смирнов. -М., 1968. -719 с.
2. Еремин Н.И., Сергеева Н.Е. Новые данные о редких минералах в рудах колчеданных месторождений Карелии // Геология рудных месторождений. -1990. - №1. -С.117-120.
3. Макарьев Л.Б., Павлов М.В. Некоторые особенности металлогении благородных металлов Байкальской горной области // Проблемы развития МСБ благородных металлов. Третье заседание научно-методического совета по программе «Платина России». - М.,1995. -С.132-139.
4. Нарсеев В.А., Сидоров А.А. О связи золоторудных месторождений с формациями вкрапленных и массивных сульфидных руд // Докл. АН СССР. -1985. -Т.284, №1. -С.189-192.
5. Ручкин Г.В. Некоторые закономерности колчеданной металлогении Балтийского щита // Сов. геология. -1976. -№10. -С.48-58.
6. Рыбаков С.И. Колчеданное рудообразование в раннем докембрии Балтийского щита. -Л.,1987. -С.269.
7. Сахарова М.С., Батракова Ю.А., Ряховская С.К. Зависимость химического состава минералов ряда золото-серебро от физико-химических условий их образования // Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов. -М., 1980. -С.213-221.
8. Юшко-Захарова О.Е. Платиноносность рудных месторождений. -М., 1975. -С.250.

УДК 553.068.5

Беляев В.И., Иванов Д.А.

## ПРОДУКТИВНЫЕ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВЫЕ ФОРМАЦИИ ФАНЕРОЗОЯ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ (факторы, прогноз)

На основе формационного анализа рассмотрены распространение, типы, условия и основные факторы образования титан-циркониевых формаций территории Воронежской антеклизы.

Исследования по выявлению и изучению титан-циркониевых россыпей в осадочных отложениях Восточно-Европейской платформы и, в частности, Воронежской антеклизы ведутся с 50-х годов и по настоящее время.

В палеозое и мезокайнозое в пределах Воронежской антеклизы выделяются ранне- и позднефранские, баррем-аптская, сеноманская, раннесантонская, раннекампанская и олигоцен-миоценовая эпохи россыпеобразования [21]. Для этих эпох в разных частях региона известны песчаные отложения, содержащие промышленные концентрации титан-циркониевых минералов (рис.1, табл.1).

Отложения *раннефранской эпохи* распространены на юго-востоке Воронежской антеклизы, где россыпи связаны с вулканогенно-осадочными в различной степени ильменитоносными образованиями ястребовского горизонта. По данным И.Н.Быкова и В.А.Канцерова [7] они залегают на глубинах от первых до 250 м и вскрыты только Павловским гранитным карьером. Мощность их не выдержана и составляет от первых до 40 м. Максимальные отмечены вблизи вулканических аппаратов. Здесь же наблюдаются и наиболее высокие содержания ильменита (до 350 кг/м<sup>3</sup>). Тяжелая фракция составляет от долей до 15% и состоит из ильменита (10-47%),

обломков эффузивных пород с зернами ильменита (0,02-8,1%), сидерита (1-84%), хромита, граната, ставролита, циркона, рутила, анатаза, лейкоксена, апатита (всех до первых процентов).

*Позднефранская эпоха* россыпеобразования связана с отложениями петинского горизонта, распространенного в центральной части Воронежской антеклизы (г. Семилуки, с. Петино Воронежской области). Здесь в разнозернистых песках содержание тяжелой фракции составляет 0,4-2,2%, достигая 15%. Основными минералами являются ильменит, лейкоксен, рутил и циркон.

*Баррем-аптская эпоха.* Барремская часть этой формации продуктивна на юге Рязанской области, где в барремских и аптских отложениях известен ряд россыпей в пределах Скопинской площади (Корневская, Дубасовская, Князево-Петрушинская и др.). Продуктивные пески содержат тяжелые минералы - ильменит, циркон и др. в количестве от 6 до 35 кг/м<sup>3</sup>.

Более высокие содержания тяжелой фракции связаны с аптскими отложениями [25]. На западе Рязанской и севере Липецкой областей, где в отдельных залежах содержание тяжелых минералов достигает 200 кг/м<sup>3</sup> установлен ряд россыпей, относящихся к Липецко-Скопинской зоне. В тяжелой