

О ТИТАНОВОМ МИНЕРАЛЬНОМ ПАРАГЕНЕЗИСЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В АПАТИТ-МАГНЕТИТ-ИЛЬМЕНИТОВЫХ РУДАХ ГЕРАНСКОГО АНОРТОЗИТОВОГО МАССИВА, ХРЕБЕТ ДЖУГДЖУР

В.Г. Лазаренков

Санкт-Петербургский государственный горный институт

Запасы апатит-магнетит-ильменитовых руд, ассоциированных с анортозитовыми массивами Джугджур, весьма велики (Гаврилов, Иванов, 1979). Вместе с тем, определение содержания элементов платиновой группы (ЭПГ) в апатит-магнетит-ильменитовых рудах Джугджур и подобных руд, генетически связанных с анортозитовыми массивами вообще, насколько нам известно, до сих пор не производилось, а минеральный состав руд Джугджур в настоящее время изучен далеко не в полной мере.

Анализ распределения ЭПГ в титан-железных рудах, ассоциированных с мафит-ультрамафитовыми массивами, в целом свидетельствует о том, что в ряде случаев эти руды могут содержать повышенные концентрации ЭПГ (Лазаренков и др., 1992). При их наличии стоимость таких руд может оказаться более высокой. Как показал опыт изучения Кондерского, Гуд-Ньюосского, Бушвелдского и других массивов, возможными концентраторами ЭПГ в апатит-магнетит-ильменитовых рудах Геранского массива, помимо сульфидов, могут оказаться главные рудные минералы. По этой причине, прежде чем перейти к платинометальной характеристике образцов руд этих месторождений, нами был изучен их фазовый и химический состав, в том числе с помощью современных методов исследования. Кроме того, данные о составе и строении этих минералов несут определенную информацию об их генетической истории и возможном поведении ЭПГ в этом процессе. Определение минералов и содержание ЭПГ нами производилось в образцах и пробах апатит-магнетит-ильменитовых руд и горных пород Маймаканского, Гаюмского, Давакитского и Гербиканского месторождений Геранского анортозитового массива, отобранных геологами Аяно-Майской ГРЭ Аушевым С.А. и Малых Г.Д. Геология этих месторождений, минеральный состав руд и их генезис были описаны в ряде работ (Соляник, 1982; Суханов и др., 1990).

Геранский габбро-анортозитовый массив вместе с Лантарским слагает самый крупный в России Джугджурский анортозитовый массив, вытянутый вдоль побережья Охотского моря на расстояние около 500 км. Он имеет овальную в плане и лополитоподобную в разрезе форму, площадь около 1000 км² и сложен расслоенной серией пород - от анортозитов до меланократовых норитов и габбро-норитов, а также оливинитов, перидотитов и пироксенитов. В разрезе Геранского массива четко обособляются две серии пород: нижняя мафитовая и верхняя анортозитовая общей мощностью 4,5-7,0 км. Анортозиты (лабрадориты, андезиниты и олигоклазиты) составляют 70-75% объема массива, на долю мафитов приходится не более 25-30 об.%. Мафитовая серия представлена переслаивающимися между собой норитами, габбро, габбро-

анортозитами, анортозитами, троктолитами, рудными и безрудными оливинитами и пироксенитами, апатит-магнетит-ильменитовыми рудами, реже монцонитами и сиенитами. Для анортозитов верхней серии Геранского массива получена Sm-Nd изохрона с протерозойским возрастом 1,7 млрд. лет (Суханов и др., 1990), относительно близким к возрасту таких "платиновых" массивов, как Бушвелд (2,05 млрд. лет), Садбери (1,85 млрд. лет) и других.

Методы исследования

Главные рудные минералы (ильменит, магнетит, рутил) определялись на приборе "LINK-AH-10000", а также с помощью электронного микроскопа "Camscan", дающего изображение во вторичных электронах с увеличением в 9000-17900 раз. Для исследования минерального состава проб, находящихся в раздробленном состоянии (по месторождениям Гаюм, Давакит, Гербикан) использовался метод порошковой дифрактометрии. Съёмки проводились на рентгеновской установке ДРОН-2,0 с использованием медного и кобальтового излучения. Измеренные межплоскостные расстояния и относительные интенсивности отражений сопоставлялись с данными картотеки АЗТМ. Анализы на элементы платиновой группы, золота и серебра выполнены в ЛАИК ВНИПИ "МЕХАНОБР" пробирно-химико-спектральным методом, аналитиком И.А.Соловьевой, по следующей схеме:

1. Пробирная плавка (навеска 20-40 г), переплавка шлаков и капелей.
2. Сокращение свинцового веркблея (неполное до веса 100 мг).
3. Растворение сплава в азотной кислоте.
4. Добавление активированного угля, NaCl и трехкратное выпаривание с азотной кислотой.
5. Сушка концентрата, взвешивание.
6. Взятие навески свинцово-угольного концентрата на анализ (около 70 мг).
7. Спектральное определение методом "вдувания просыпки" на полуавтомате АИ-3.
8. Фотометрирование, расчет. Стандарт предприятия (СТП 1402.151.2-84). Осмий определяли кинетическим методом по реакции окисления арсенид-ионов броматом калия (СТП 1402.151.10-85).

Состав и строение главных рудных минералов

Апатит-магнетит-ильменитовые руды обычно развиваются по анортозитам, которые около рудных тел замещаются типичным пропиловым парагенезисом; главным образом, альбитом, а также хлоритом, флогопитом, актинолитом, кальцитом, эпидот-цоизитом, серицитом, кварцем, зеленой шпинелью. Среди нерудных минералов в первую очередь необходимо отметить апатит, а также реликтовые - андезин и клинопироксен. Гематит, псевдобрукит и сфен содержатся в относительно небольшом количестве. Сульфидные минералы обычно представлены пиритом - около 1% - и единичными и редкими зернами халькопирита. Термодинамические условия, при ко-

торых образуется этот парагенезис, соответствуют температуре 50-400 °С и давлению 5-8 кбар (В.В. Доливо-Добровольский, устное сообщение).

Ильменит хорошо диагностируется в аншлифах по анизотропии отражения и иногда по присутствию двойников по ромбоэдру. В шлифах на обычном поляризационном микроскопе видно, что этот непрозрачный минерал прорастается тем или иным количеством удлиненных или пластинчатых зерен сфена и лейкоксена размером 0,1-0,6 мм, нередко обнаруживающих отчетливую приуроченность и вытянутость вдоль трещин спайности ильменита. Структурные взаимоотношения ильменита и сфена хорошо фиксируются на микроскопе "Самскап" (рис. 1). С одной стороны сфен прорастает ильменит, который слагает в нем коррозионные реликты, а с другой сфен образует в ильмените мельчайшие более или менее идиоморфные зерна, возможно, образующиеся в процессе собирательной перекристаллизации. Содержание сфена и лейкоксена обычно варьирует от 3 до 12%, но есть зерна ильменита, в которых количество этих минералов возрастает до 30-40% или, наоборот, снижается до 0%. Обращает на себя внимание различие в строении и составе ильменитов Маймаканского и Гаюмского месторождений: в маймаканских ильменитах зафиксированы те или иные содержания сфена и лейкоксена, а в гаюмских ильменитах оба эти минерала вовсе отсутствуют. Главным минералом, слагающим лейкоксен, является ругил, который образует наиболее крупные выделения (доли мм) в рудах Маймаканского месторождения. Помимо рутила по данным рентгеновского анализа в составе лейкоксеновых псевдоморфоз отмечается сфен и псевдобрукит Fe_2TiO_5 (определение И.А. Самусиной).

Наблюдения над строением и составом зерен ильменита с помощью электронного микроскопа "Самскап" показывают, что наиболее часто встречающимся случаем строения ильменитовых зерен на месторождениях Маймакан, а также Давакит и Гербикан является такой, когда ильменитовая матрица прорастается тончайшими от нескольких микрон до нескольких десятков микрон пертитовыми ламеллями магнетита (рис.2, 3, 4). Из рис. 2

видно, что эти ламелли сохраняют свою ориентировку и размеры и в зернах сфена. По-видимому, распад ильменита с выделением сфена происходит позднее распада с выделением магнетита. Наряду с двухфазными пертитовыми отмечаются зерна однородного ильменита, характерного для месторождения Гаюм. Возможно, гаюмский ильменит является своего рода "протоильменитом", который в месторождениях Маймакан и Давакит распадается с выделением сначала магнетита, а потом сфена. На месторождении Гербикан наблюдался как однородный, так и "пертитовый" ильменит.

Химический состав ильменита дан в таблице 1. Помимо главных компонентов в составе ильменита определяются магний, алюминий, марганец и хром. Поскольку в рентгеновском спектре ильменита линия К ванадия перекрывается линией К железа, содержание этого важного элемента определить не удалось. Ильменит рассмотренных месторождений содержит заметную примесь гейкелитовой ($MgTiO_3$) и пирофанитовой ($MnTiO_3$) "молекул". Причем, если в ильмените Маймаканского и Давакитского месторождений примесь гейкелитовой "молекулы" относительно велика, а примесь пирофанитовой относительно низка, то в ильмените Гаюмского и Гербиканского месторождений картина обратная – здесь примесь пирофанитовой "молекулы" относительно велика, а примесь гейкелитовой относительно низка. Другими словами, чем больше в ильмените магния, тем меньше в нем марганца и наоборот. Эта зависимость может представлять интерес при определении в ильмените содержания ванадия с помощью его корреляционных связей с магнием и марганцем. Содержания в ильмените алюминия и хрома низкие.

Состав рутила в образцах Маймаканского и Давакитского месторождений приведен в таблице 2. В месторождениях Гаюм и Гербикан рутил зафиксирован не был.

Магнетит ("титаномагнетит") в изученных образцах оказался значительно менее распространенным минералом, чем ильменит. В аншлифах он был установлен только в пробе Центральной зоны Гаюмского месторождения в виде генерации ячеистого и струйчатого магнетита.

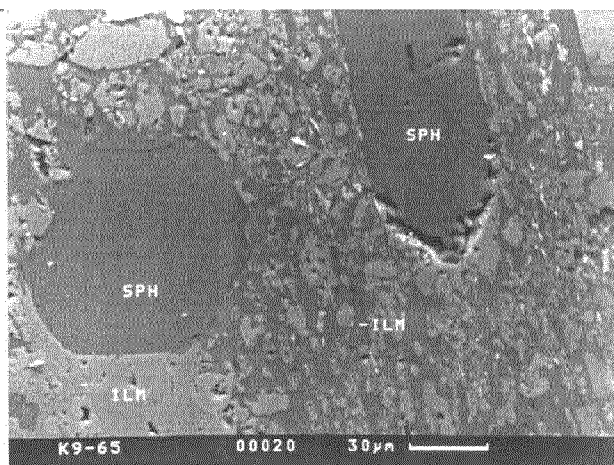


Рис. 1. Идиоморфные кристаллы сфена в сфен-ильменитовой матрице. Апатит-ильменитовая руда. Месторождение Давакит.

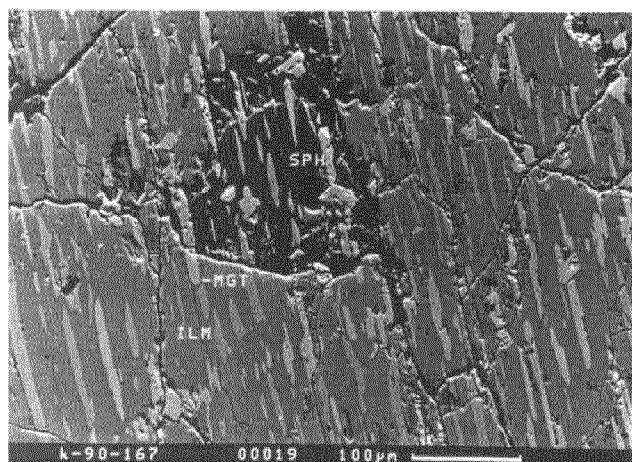


Рис. 2. Магнетитовые ламелли в зёрнах ильменита и сфена. Ильменит-титаномагнетитовая руда. Месторождение Давакит.

Таблица 1

Средние химические составы ильменита месторождений Геранского анортозитового массива, мас. %

Оксиды	Маймаканское	Гаюмское	Давакитское	Гербиканское
MgO	1,54	0,39	0,91	0,25
Al ₂ O ₃	0,12	0,17	0,13	0,10
TiO ₂	47,89	49,38	48,15	47,90
Cr ₂ O ₃	0,06	0,16	0,06	0,14
MnO	0,72	1,33	0,71	1,34
Fe ₂ O ₃	49,51	48,90	47,85	50,47
Сумма	99,86	100,34	99,51	100,18
n	12	8	6	4

Примечание: В таблицах 1-3 анализы выполнены методом РСМД на приборе "LINK-AH-10000" Е.А. Балмасовой и Л.С. Смольской. n-число образцов.

Таблица 2

Химические составы рутила из вростков в ильмените Маймаканского и Давакитского месторождений, мас. %

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8
MgO	0,09	0,08	0,47	1,13	0,48	0,00	0,30	0,08
Al ₂ O ₃	0,00	0,02	0,08	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	99,09	98,60	97,09	99,16	98,56	95,43	97,40	98,90
Cr ₂ O ₃	0,11	0,00	0,39	0,07	0,37	0,00	0,26	0,00
MnO	0,20	0,36	0,00	0,12	0,08	0,00	0,30	0,09
Fe ₂ O ₃	0,11	1,80	2,80	0,51	0,92	4,03	2,38	0,18
Сумма	99,60	100,70	100,83	100,48	100,75	99,46	100,64	99,25

Примечание: Образцы 1-7 – Маймаканское, 8 – Давакитское месторождение.

Таблица 3

Химические составы магнетита из руд Маймаканского и Давакитского месторождений, мас. %

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MgO	1,78	3,54	0,17	1,95	0,00	0,00	0,30	0,54	0,92	1,22
Al ₂ O ₃	1,35	0,18	1,07	0,42	0,11	1,12	2,01	0,12	1,44	2,57
TiO ₂	24,33	4,12	0,97	23,17	0,00	28,54	11,80	18,26	22,79	25,22
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,26	0,39	0,00	0,24	0,00	0,38	0,54	0,17
MnO	0,72	0,30	0,25	0,51	0,22	1,15	0,47	0,42	0,14	0,52
Fe ₂ O ₃	72,67	92,11	95,69	73,40	97,32	67,92	82,03	80,04	72,10	70,20
Сумма	100,87	100,27	98,41	99,84	97,65	98,97	97,41	99,76	97,93	99,90

Примечание: образцы 1, 2 – Маймаканское, 3-8 – Давакитское, 9, 10 – Гаюмское месторождения.

При наблюдении на электронном микроскопе "Camscan" отдельные зёрна магнетита размером в десятки и сотни микрон были уставлены на месторождениях Маймакан и Гербикан в сростании с ильменитом. Обычно магнетит имеет однородное строение (рис. 4). Результаты химического анализа магнетита приведены в таблице 3.

Обращает на себя внимание широко варьирующее в магнетите ("титаномагнетите") содержание титана – 4,12-24,33 мас. % TiO₂ в месторождении Гаюм и 0,00-28,54 мас. % в месторождении Давакит. Казалось бы, микронзондовые данные, полученные на точечном "уколе" электронного пучка, позволят определить состав "однородного" магнетита. К сожалению, сильно расходящиеся по титану результаты рентгеноструктурного исследования

(таблица 3) совершенно не дают к этому основания и нам остаётся предположить, что на площади укола магнетит ("титаномагнетит") не является гомогенной фазой, а скорее всего, образует тончайшие сростания магнетита и титановых минералов (ильменита?), может быть пластинчатого типа. А их "тонкость", по-видимому, такова, что мы не фиксируем её даже с помощью столь современно-го электронного микроскопа, как "Camscan".

Платиноносность апатит-магнетит-ильменитовых руд и горных пород Геранского массива

Результаты определения благородных металлов в рудах и горных породах Маймаканского, Гаюмского, Давакитского и Гербиканского месторождений приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Содержание элементов платиновой группы, золота и серебра в апатит-магнетит-ильменитовых рудах Геранского массива, мг/т

Месторождение	n	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Au	Ag	ΣЭПГ
Маймакан	11	<3	<2	15	5	<6	<10	<10	<200	>20
Гаюм	4	<3	<2	<20	5	<6	<10	<10	<200	>5
Давакит	3	<1	<2	<20	5	8	<10	<10	430	>13
Гербикан	3	<1	<2	<20	5	<8	<10	<10	570	>5

Примечание: n - число проб.

Таблица 5

Содержание элементов платиновой группы, золота и серебра в горных породах Маймаканского месторождения, мг/т

Горная порода	n	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Au	Ag	ΣЭПГ
Габбро	4	<3	<2	20	5	<6	<10	<10	<200	>25
Клинопироксенит	1	<3	4	120	5	<6	20	<10	<200	>149
Анортозит	1	<3	<2	<20	5	<6	<10	<10	<200	>5

Примечание: n - число проб.

Анализ данных этих таблиц показывает, что как в апатит-магнетит-ильменитовых рудах, так и в горных породах Геранского массива (габбро, анортозитах, пироксенитах) элементы платиновой группы присутствуют в низких количествах на уровне фоновых содержаний. Эта достаточно однообразная картина распределения благородных металлов нарушается лишь тем, что в рудах Давакитского и Гербиканского месторождений отмечаются относительно высокие концентрации серебра (до 0,5 г/т). Чуть более

повышенные содержания элементов платиновой группы, золота и серебра были определены в сульфидной пирит-пирротиновой с халькопиритом пробе из жилы с восточного фланга Центральной зоны Гаюмского месторождения (мг/т): палладий - 80, платина - 50, осмий - 10, родий - 5, рутений - 4, иридий - меньше 6, золото - 40, серебро - 600, сумма ЭПГ - около 150, с геохимической специализацией Pd>Pt>Os>Rh>Ru>Ir. Такая же специализация ЭПГ наблюдается в пробе клинопироксенита Маймакан-

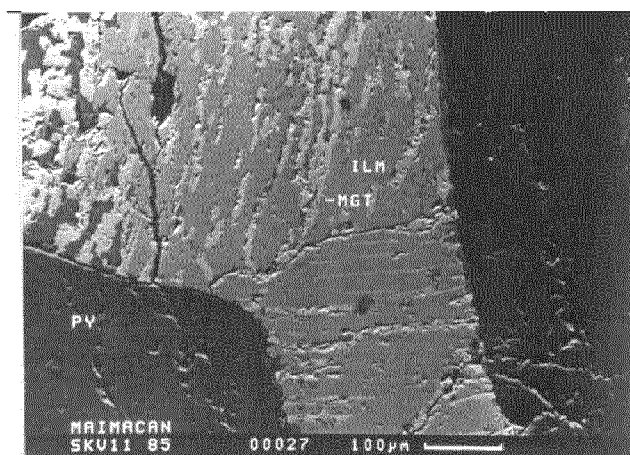


Рис. 3. Ламелли магнетита в ильмените. Апатит-рутил-ильменитовая руда. Месторождение Маймакан.

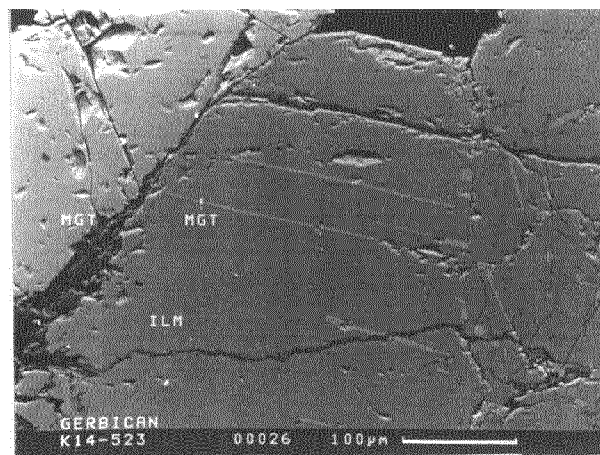


Рис. 4. Зёрна магнетита и вросстки магнетита в ильмените. Месторождение Гербикан.

На рис. 1-4: изображение во вторичных электронах, микроскоп "Camscan", Ilm - ильменит, Mgt - магнетит, Py - пироксен, Sph - сфен.

ского месторождения (мг/т): палладий - 120, платина - 20, осмий - 5, родий - 4, рутений - меньше 3, иридий - меньше 6.

В целом, первый опыт определения концентрации платиновых металлов на примере апатит-магнетит-ильменитовых руд Геранского Анартозитового массива свидетельствует о близком к кларковому уровню концентрации ЭПГ в этих рудах. И это несмотря на то, что Геранский массив принадлежит к группе мафит-ультрамафитовых формаций и обладает древним "платиновым" возрастом, в принципе благоприятным для образования концентраций элементов платиновой группы. Наши визуальные наблюдения в аншлифах и на электронном микроскопе не обнаружили в апатит-магнетит-ильменитовых рудах видимых минералов платиновой группы, что соответствует с геохимическим данным.

С другой стороны, изучение в шлифах и аншлифах данных рентгеновского и микрозондового анализа, а также наблюдения на электронном микроскопе показали, что в изученных образцах руд и горных пород Маймаканского, Гаюмского, Давакитского и геранского месторождений основной рудной фазой является ильменит, а не магнетит. Резкое преобладание ильменита над магнетитом является неблагоприятным минералогическим условием для накопления элементов платиновой группы, поскольку установлено, что ильменит является худшим концентратом этих элементов, чем магнетит (Лазаренков и др., 1992). Также известно, что элементы платиновой группы хорошо коррелируются с хромом и никелем и плохо с титаном – важнейшим химическим элементом анализируемых руд.

Низкое содержание в апатит-магнетит-ильменитовых рудах таких носителей платиновых металлов как халькопирит и пирит при полном отсутствии важных концентратов ЭПГ - пирротина и пентландита, также является одной из минералогических причин низкого содержания элементов платиновой группы. Повышенное же содержание ЭПГ (около 0,15 г/т), наблюдавшееся в сульфидной пробе Гаюмского месторождения, далеко не столь высокое, как в сульфидах эксплуатирующихся платинометаллических месторождений (граммы на тонну и больше).

Характеризуя общий стиль распределения ЭПГ в титан-железных рудах Геранского аноморозитового массива, нельзя не отметить, что по низкому уровню содержания ЭПГ и характеру их распределения он весьма напоминает титаномагнетитовые слои Бушвельдского массива (Harney et al., 1990). С генетической точки зрения, если

обратиться к одной из гипотез образования апатит-магнетит-ильменитовых руд - в результате ликвационного процесса (Соляник, 1982), - можно констатировать, что в отличие от ликвационного сульфидного расплава, хорошо экстрагирующего элементы платиновой группы из мафит-ультраосновных магм, железо-титановый расплав, по-видимому таким свойством не обладает.

Важным положительным следствием наших исследований является установление в рудах изученных месторождений доминирующей роли ильменита и сопутствующих ему минералов титанового парагенезиса: сфена, рутила, псевдобрукита при достаточно ограниченной роли магнетита. Это обстоятельство, несомненно, увеличивает рыночную стоимость этих руд. По-видимому, руды Маймаканского месторождения можно назвать апатит-рутил-ильменитовыми в отличие от апатит-ильменитовых руд Гаюмского месторождения. В этом отношении руды Геранского массива хорошо сопоставляются с ильменитовыми рудами месторождений Лейк-Санфорд (штат Нью-Йорк), также ассоциирующимися с аноморозитовыми массивами и принадлежащими к числу важнейших источников титана (Парк, Марк-Дормид, 1966).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов В.В., Иванов В.М. Апатит-ильменит-титаномагнетитовые руды Джунгджурской провинции – перспективная сырьевая база // Разведка и охрана недр. 1979. №4. С. 16-20.
2. Лазаренков В.Г., Малич К.Н., Сахьянов Л.О. Платинометаллическая минерализация зональных ультраосновных и коматитовых массивов. Л.: Недра, 1992. 217 с.
3. Парк Ч.Ф., Мак-Дормид. Рудные месторождения. М. Мир, 1966. 534 с.
4. Соляник А.Н. Апатитоносные габро-сиенитовые интрузивы и генезис апатит-ильменит-титаномагнетитовых рудопоявлений хребта Джунгджур // Геология рудных местор. 1982. Т. 24, № 5. С. 8-17.
5. Суханов М.К., Тяжелов А.Г., Журавлев Д.З., Титов В.М. О составе, рудоносности и генезисе Геранского мангерит-аноморозитового комплекса хр. Джунгджур // Изв. АН СССР, сер. геол. 1990. № 8. С. 21-34.
6. Harney D.M.W., Merkle R.K.W., Cruenewaldt G. Platinum group element behavior in the Lower Part of the Zone Eastern Bushveld Complex - implication for the formation of the Main Magnetit layer // Econ. Geol. 1990. V. 85, №8. P. 1777-1790.