

УДК 553.08:553.068.3

Е.С. Перков

Национальный горный университет

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХРОМИТОВЫХ РУД ИЗ НИКЕЛЕНОСНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ СРЕДНЕГО ПОБУЖЬЯ

Рассмотрены условия залегания и особенности распространения тел хромитовых руд в никеленосных корах выветривания ультрабазитов Среднего Побужья. Выделены основные типы экзогенных хромитовых руд в корах выветривания и за их пределами, дана минералогическая, химическая и гранулометрическая характеристика оруденения. Обосновано использование полученных данных при разработке рациональных схем добычи и переработке экзогенных хромитовых руд.

**Ключевые слова:** хромитоносная кора выветривания, содержание, минеральный состав, характеристика

Розглянуто умови залягання і особливості поширення тіл хромітових руд в нікеленосних корах вивітрювання ультрабазитів Середнього Побужжя. Виділено основні типи екзогенних хромітових руд в корах вивітрювання та за їх межами, дана мінералогічна, хімічна та гранулометрична характеристика зруденіння. Обґрунтовано використання отриманих даних при розробці раціональних схем видобутку та переробки екзогенних хромітових руд.

**Ключові слова:** хромітоносна кора вивітрювання, вміст, мінеральний склад, характеристика

Conditions of occurrence and distribution features of chromites ore bodies in the ultra-basic nickel bearing weathering crusts of Middle Bug Area are considered. Main types of exogenous chromites ores in weathering crusts and beyond of them are identified as well as mineralogical, chemical and grain features of mineralization are given. Obtained data are substantiated in order to apply them while developing the efficient schemes of mining and processing of exogenous chromites ores.

**Key words:** chrome bearing weathering crust, content, mineral content, characteristics

**Введение.** Недостаточная изученность хромитового оруденения в составе нонхромитовых кор выветривания ультрабазитов Среднего Побужья в условиях дефицита хромитового сырья в Украине определяет актуальность его детального изучения. Для разработки рациональных схем добычи и обогащения хромитовых руд из кор выветривания необходимо определение условий залегания и распространения рудных тел, качественных и количественных характеристик руд. Объектом исследований является кора выветривания массивов ультрабазитов Липовеньковской группы (массивы Западный, Северный, Восточный, Школьный), Пушкинская площадь и северная часть Капитановского массива, в пределах которых установлены экзогенные рудопроявления хрома.

**Постановка проблемы.** Различный масштаб (площадь распространения, мощность) хромитового оруденения в корах выветривания, связан с разной степенью «насыщенности» коренными рудами этих массивов и различными условиями формирования хром-никеленоносной коры выветривания [9, 1]. На примере хромитоносной коры выветривания Пушкинского массива, по преобладанию хромитовых руд над силикатно-никелевыми, возникает вопрос, о

классификации подобных объектов Среднего Побужья как промышленно перспективных на хром-никелевое оруденение а не на никель-хромовое.

**Изложение основного материала.** Мощность площадной никеленосной коры выветривания, содержащей тела хромитовых руд, зависит от степени эродирования поверхности. Средний показатель по Липовеньковской группе массивов – около 20 м. Рыхлые хромитовые руды формируют плащеобразные залежи, различной густоты вкрапленности хромшпинелидов в охристо-гидрослюдисто-глинистой массе, мощностью залежей от первых сантиметров до 5-7 м. Вытянутые линзообразные тела природно-отсортированных руд (концентраты хромшпинелидов содержанием до 75-90 мас.%) приурочены к отрицательным эрозионным формам палеорельефа. Повышение концентрации хромшпинелидов отмечается в кровле коры выветривания, с уменьшением их содержания с глубиной и к периферии механических ореолов рассеивания. Часто отмечается распространение вкрапленности хромшпинелидов в верхних горизонтах вмещающих каолинит-монтмориллонитовых пород и в перекрывающих коры выветривания песчано-глинистых отложениях [6]. Минеральный и химический состав хромитовых руд и вмещающих гипергенных образований определяется составом исходных горных пород, длительностью и физико-механическими условиями выветривания [4, 8].

Для детально разведанного Восточно-Липовеньковского месторождения методом полуколичественного спектрального анализа в 44,7% проб установлено содержание хрома более 1%. По данным химического анализа проб хромитовых руд, промышленные и близкие к ним содержания  $Cr_2O_3$  (не менее 5%) установлены в 22,1% из всех отобранных на месторождении проб, что свидетельствует о высокой рудоносности разведанной площади. При одинаковой плотности разведочной сети на Восточно-Липовеньковском участке доля проб богатых руд (содержанием  $Cr_2O_3$  более 35%) составила 18,5% проб, а на Западно-Липовеньковском месторождении 14,2% проб. Для сравнения, в пределах Пушкинской площади расположенной в 3-х км северней от Восточных Липовенек, содержание в коре выветривания ( $Cr_2O_3$  более 5%) установлено в 42% из всех проанализированных проб руд.

На исследуемых массивах, площадь распространения промышленно значимого хромитового оруденения (содержанием  $Cr_2O_3$  более 5%) различна. Наименьшая площадь распространения руд в коре выветривания установлена на Северо-Липовеньковском массиве (около 8% площади нонтронитовой коры выветривания), наибольшая (55%) – на Пушкинском массиве. В среднем, площадь хромитового оруденения составляет около 32% от всей площади никеленосной коры выветривания изученных массивов, без учета ореолов рассеивания руд, выходящих за контуры ультрабазитовых кор выветривания.

Исследования обогатимости серии проб руд на лабораторных концентрационных столах позволили установить, что количество относительно легко обогащаемых хромитовых руд (с исходным содержанием  $Cr_2O_3$  10-35%) в среднем не превышает 40%, а более 41% представлено убогими ( $Cr_2O_3$  менее 10%) мелкими фракциями труднообогащаемых руд. Так, для получения кондиционного концентрата с содержанием  $Cr_2O_3$  не менее 32% из убогих руд водным гравитационным способом, предложено подшихтовывать их более богатыми рудами. В противном случае, обогащение бедных руд требует других технологических приемов (многократная перемешка, электро-магнитная сепарация и др.), что в несколько раз усложняет и удорожает существующую технологию

обогащения бедных хромитовых руд [9]. В лабораторных условиях установлено, что черновые концентраты водного гравитационного обогащения могут быть незначительно дочищены высокоградиентным магнитным полем. Слабая эффективность электромагнитных методов обогащения руд вызвана тем, что при обогащении ожелезненные хромшпинелиды вместе с другими железосодержащими минералами коры выветривания накапливаются в магнитных фракциях [7] и дальнейшее их разделение затруднено.

На примере Восточно-Липовеньковского массива показано, что увеличение бортового содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с 1% до 10% ведет к повышению среднего содержания в руде  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  по месторождению (рис. 1). Так, при подсчете запасов руд с минимальным (бортовым) содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  от 1%, среднее валовое содержание в руде по коре выветривания не превышает 6%. Низкое валовое содержание руд обусловлено значительным преобладанием бедных руд (около 85%) в общей массе, вовлеченных в подсчет запасов или отработку, что приводит к значительному усреднению и занижению среднего содержания. При подсчете запасов с бортовым содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  от 10% среднее валовое содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в руде по массиву до глубины 20 м заметно возрастает и составляет примерно 26%.

Как видно из рисунка 1, наибольшие содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (до 50%) характерны до глубины 15 м от кровли коры выветривания. Это вызвано тем, что в результате выветривания и разрушения матрицы вмещающих серпентинитов рудные хромшпинелиды закономерно накапливаются в кровле коры выветривания, достигая на отдельных участках содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в «сырых» рудах более 50%. Максимальные концентрации руд приурочены к отрицательным эрозионным формам микроландшафта, формирование которых обусловлено особенностями эрозионно-денудационного режима образования коры выветривания [4, 6]. Как правило, верхний горизонт 1,5-2 м ультрабазитовой коры выветривания переотложен, и имеет сложный охристо-гидрослюдистый или охристо-глинистый состав, локально с дресвой ожелезненных пород, где сами хромитовые руды находятся в виде густой вкрапленности реже обломков массивных руд. В целом по массивам распределение тяжелой фракции в кровле коры выветривания неравномерное, что обусловлено морфологией поверхности и петрографическим составом вмещающих пород.

Хромитовые руды в коре выветривания различаются по содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , минеральному, гранулометрическому составу, степени окисленности, глинистости и кусковатости руд. По данным рентгено-структурного анализа основными хромсодержащими минералами в рудах являются хромпикотит 45-50%, алюмохромит 40-45% меньше хромгерцинит и другие хромсодержащие минералы, в том числе и хроммагнетит [3]. По содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  хромитовые руды кор выветривания можно разделить на три категории: 1) убогие или редковкрапленные с содержаниями  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  5-15% часто окисленные, требующие обогащения; 2) бедные или вкрапленные реже густовкрапленные  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  15-35% требующие обогащения; 3) богатые или сплошные с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  более 35% требующие частичного обогащения.

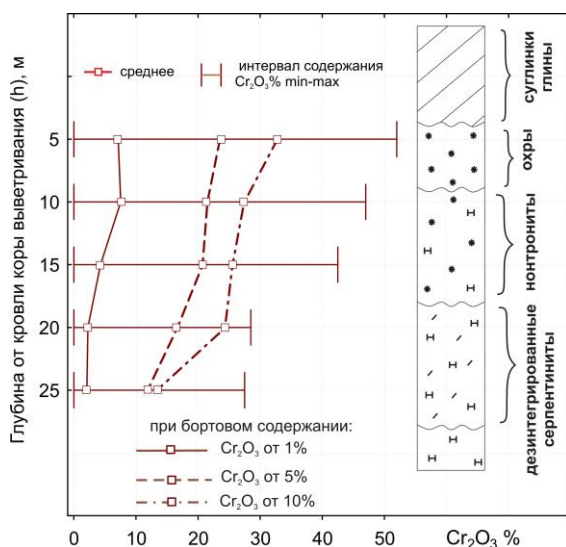


Рис. 1. Изменение среднего содержания  $Cr_2O_3$  с глубиной (h) при различном значении бортового содержания (Восточно-Липовеньковское месторождение)

На рисунке 2 приведены результаты сравнения содержаний основных элементов из богатых руд ( $Cr_2O_3$  более 35%) охристо-гидрослюдистых горизонтов коры выветривания Побужья и выветрелых руд Южного Урала Кемпирсайского массива. Содержание  $Cr_2O_3$  в концентратах изученных массивов изменяется от 43 до 52%, а для Уральских руд эта цифра составляет 50-61%. Это по-видимому, объясняется более интенсивным и длительным проявлением латеритного выветривания, способствовавшего выносу части железа и кремнезема. Как для Южноуральских, так и для Побужских руд, колебания химического состава незначительное и изменяется в довольно узких пределах (табл. 1).

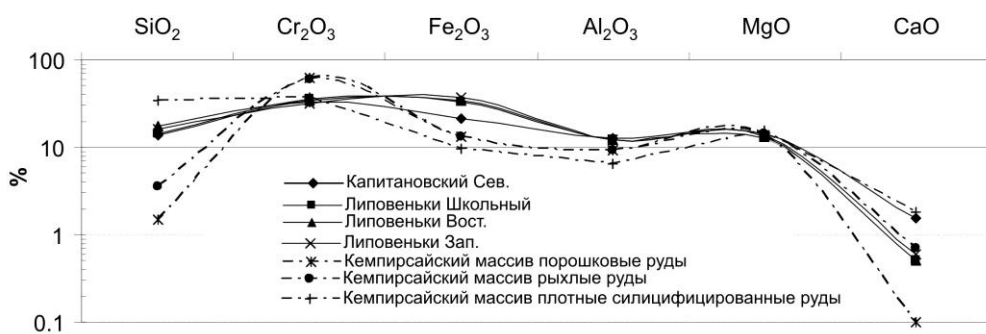


Рис. 2. Соотношение средневзвешенных содержаний элементов в рудах из нонтронитовых кор выветривания Побужья и выветрелых хромитовых руд Кемпирсайского месторождения Урала

Таблица 1

**Вариация химического состава рудообразующих хромшпинелидов**

Окислы	$Cr_2O_3$	$Al_2O_3$	FeO	$Fe_2O_3$	MgO
--------	-----------	-----------	-----	-----------	-----

Кемпирсайский массив * (масс.%)	61,7-63,8	8,9-10,7	12,3-13,4	0,8-2,2	13,5-15,5
Среднее Побужье (масс.%)	41,6-44,5	16,7-18,5	25,8-28,4	4,3-5,5	10,6-11,4

**Примечания:** \*- по данным [1]

Хромитовые руды Кемпирсайского массива из приповерхностных горизонтов по степени химического и физического преобразования разделяются на: порошкообразные, рыхлые и плотные слабосцементированные - силицифицированные [1]. Порошкообразные руды являются почти мономинеральными концентратами магнохромита и хромпикотита образованы в природных условиях с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  не менее 55%. Полный разрез выветрелых хромитовых тел характеризуется постепенными переходами от порошковых разностей к невыветрелым коренным, залегающих в площадных, реже линейных, охристо-нонтронитовых корках выветривания. Как отмечают предшествующие исследователи [8, 5], по содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (от 39 до 43,5%) и ряда качественных показателей (главным образом низких содержаний вредных примесей P, S, Ca, Si), коренные руды Капитановской группы месторождений не уступают рудам Донского ГОКа, в которых содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  варьирует от 45 до 51%. При этом, даже более низкое содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в Побужских хромитах позволяет получать качественный феррохром, не уступающий мировым аналогам [2].

Качественные показатели хромитов из коры выветривания по сравнению с коренными рудами несколько хуже, за счет частичного окисления руд и замещения хрома на железо, в следствии чего снижается содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с 39-43,5% до 34-28% и более. Окисленные руды пространственно приурочены к зонам тектонометасоматической активизации, формирующие «столбы» окремненных хромитов прослеживающихся по всей мощности коры выветривания. При последующем их разрушении эрозией они смешиваются с не окисленными рудами. Не окремненные окисленные руды, рыхлые, сажистые, темно бурой окраски, с глубиной постепенно переходят в не выветрелые разности.

Количественная оценка гранулометрического состава хромитовых руд по отдельно отобраным минералогическим пробам (рис. 3) показала преобладание мелких фракций. Так, для Восточно-Липовеньковского месторождения хромитовые руды представлены мелкими (0,1-0,315 мм) и тонкими (0,04-0,1 мм) классами крупности (около 80%) и в большинстве проб состоят из обломков зерен хромшпинелидов. До 6% руды сложено тонкодисперсным обломочным классом, который с учетом потерь в тонких шламах существующей технологии гравитационного обогащения может достигать 12-15%. Всего около 13% представлено изометричными зёрнами хромитов средних классов (рис. 3). Около третьей части руд (33%) представлено трудноизвлекаемыми классами крупности ожелезненных зерен хромитов (-0,1 мм). При этом, в ожелезненных типах руд (пробы 2, 6, 7) количество хромита данного класса превышает 40%. Доля тонкодисперсных гематизированных хромитов заметно возрастает в кровле рудных тел попадающих в зоны развития линейных кор выветривания (рис. 4) и достигает почти 50%. Около 3% руды представлено крупными фракциями +0,63 мм слабоожелезненных зерен с ярко выраженной формой октаэдров. Количество хорошо обогащаемых руд классов +0,16 мм для Западно-Липовеньковского

месторождения составляет 67% и около 63% для Восточно-Липовеньковского, при этом степень извлечения хромшпинелидов гравитационным способом может достигать 85-90%.

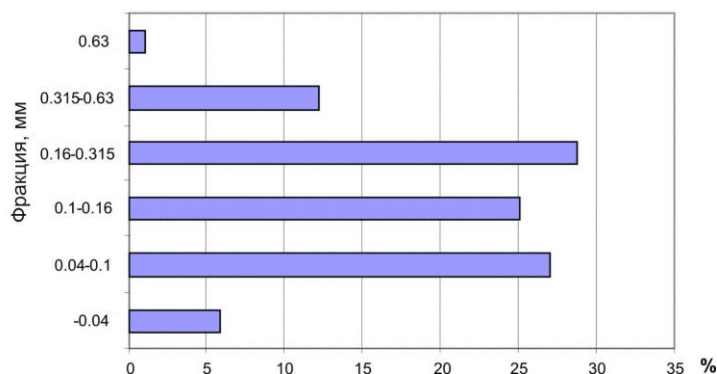


Рис. 3. Гистограмма гранулометрического состава рыхлых хромитовых руд из коры выветривания Восточно и Западно Липовеньковского месторождений

В общем, количество хромита тонких классов по Восточно-Липовеньковскому месторождению (пробы 1, 4) не превышает 16%, а по Западно-Липовеньковскому 23%, что указывает на относительно неоднородный гранулометрический состав руд месторождений. Это обусловлено, по-видимому, различными условиями формирования кор выветривания. Согласно рисунку 4 практически все хромитовые руды относятся к сильно глинистым, с содержанием илистой фракции от 21 до 52% при среднем по месторождению 37%.

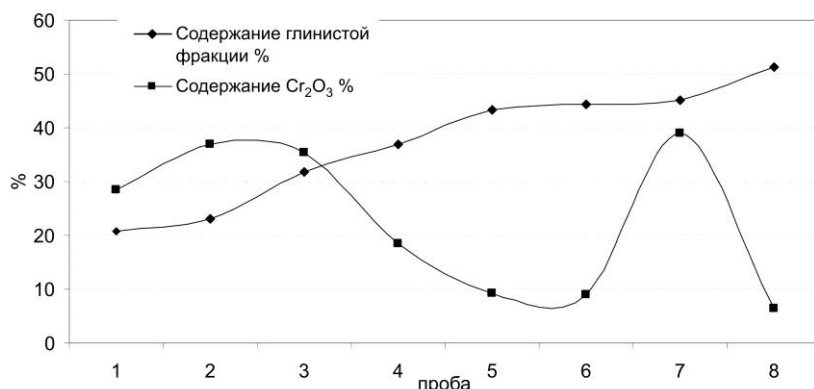


Рис. 4. Содержания Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в глинистой фракции (>0.005 мм) Восточно Липовеньковского месторождения

Исходя из анализа глинистой составляющей в двух пробах 1 и 4 выделяются руды, в которых этот показатель практически в 2 раза меньше, чем в остальных пробах руд и составляет 20-23%. Пониженная глинистость хромитовых руд может указывать на их близость к составу коренных пород. Также просматривается тенденция к увеличению глинистости руды с понижением в них содержания основного полезного компонента. В пробе 5 (содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6,3%) показатель глинистости имеет наибольшее значение (до 51%), он закономерно понижается в пробах 2 и 3, а в пробе 8 достигает средних значений при содержаниях Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 18,5% (рис. 4). Исключение составляют руды в пробах 6 и 7, что

связано с условиями их формирования и преобразования при корообразовании и условиями дальнейшего площадного размыва.

Качественной характеристикой хромитовых руд для их переработки является модуль валунности, который отражает количество крупноглыбового и щебнистого материала, требующего дробления и измельчения для извлечения из него хромита. Среднее количество щебнисто-глыбового материала до зоны дезинтеграции составляет 16-18%, а колебания этого показателя по массивам составляют от 3 до 23%, что видно на примере Восточно-Липовеньковского массива (табл. 3).

Таблица 3

**Количество щебне-глыбового материала в хромитовых рудах  
Восточно-Липовеньковского месторождения**

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	Среднее, %
Количество фракции, +5 мм, %	32,13	21,45	13,84	2,62	15,41	20,8	8,07	15,13	16,18

По результатам наблюдений в действующих карьерах и керне скважин отмечено, что по мере приближения руд к коренным породам количество щебнисто-глыбового материала увеличивается до 50-65%. Вторым фактором, повышающим этот показатель, является степень окисленности и окремнения руд, который определяется условиями корообразования в конкретной точке. В большинстве случаев окремнение приурочено к зонам повышенной проницаемости, формирующихся в узлах пересечения разноориентированных тектонически нарушенных зон. Степень окисленности хромитовых руд также влияет на увеличение кусковатости руд за счет их цементации гипергенным гематитом, гётитом и гидрогётитом. Данные процессы приводят к ухудшению качества руд, иногда полному замещению хромшпинелидов железистыми минералами по типу «железных шляп».

**Выводы.** По результатам исследований установлено широкое распространение хромитовой минерализации в никеленосных корах выветривания Капитановской группы ультрабазитов. Содержание  $Cr_2O_3$  по классам крупности неравномерное, основная доля сосредоточена в классе крупности 0,3-0,04 мм. Соответственно по фракционному составу (и распространению, %) выделены следующие разновидности руд: 1. Мелкозернистые 0,1-0,315 (50); 2. Тонкозернистые 0,1-0,04 (40); 3. Среднезернистые 0,5-0,25 (10); 4. Крупнозернистые 0,5-3 (до 5); 5. Пылеватые <0,04 (10). Невыдержанность гранулометрического состава по площади коры выветривания с наличием участков окисления руд вызвано различными условиями корообразования, и как следствие, возможно различным уровнем эрозионного среза.

По минеральному составу выделено шесть основных разновидностей руд:

1. Карбонат-кварц-нонtronитовые (серпентинитовые); 2. Кварц-карбонат-гидрослюдистые; 3. Кварц-гётит-гидрослюдистые; 4. Гидрослюдисто-кварц-гётитовые; 5. Гидрослюдисто-глинистые; 6. Кварцево-глинистые тонких и мелких фракций. Выделенные минералогические типы хромитовых руд являются отражением зонального строения коры выветривания, а соответственно разного качества и гипсометрического уровня оруденения.

Аналогічно коренним рудам, хромити в корі виветривання по содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  розділені на три види руд: бідні, середні і багаті; по текстурі: рідкокраплені (убогокраплені <70%); густокраплені (20%); сплошні (масивні >10%); шлірові (10%). На відомих масивах за рахунок зниження вимог промисловості і переоцінки запасів можливий приріст хромітових руд на 5-15%.

### Библиографические ссылки

1. Гриненко В.И. Хром Казахстана / В.И. Гриненко, О.И. Поляков, М.И. Гасик и др. – М.: Металлургия, 2001. – 416 с.
2. Гріншпуд В.О. Металургійні властивості хромітових руд Побужжя і розробка раціональних режимів отримання високовуглецевого ферохрому: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.16.02. – Дніпропетровськ, 2006. – 23 с.
3. Каневский А.Я. Аллюмохроммагнетиты Среднего Побужья (Украинский шит) / А.Я. Каневский, Т.Г. Возианова // Геологический журнал. – 2008. – № 4. – С. 39 – 42.
4. Коннов В.Г. Морфогенетические типы коры виветривання Деренюхского ультрабазитового массива на Среднем Побужье / В.Г. Коннов, В.Н. Лихов, Л.М. Тульчинская, А.Я. Каневский // Геологический журнал. – 1980. – Т. 40, № 1. – С. 122 – 127.
5. Лепігов Г.Д. Капітанівське родовище нікелевих і хромітових руд / Г.Д. Лепігов, А.П. Василенко // Мінеральні ресурси України. – 1996. – № 4. – С. 36 – 42.
6. Перков Е.С. Морфологические особенности хромитовой минерализации в корях виветривання ультрабазитов Среднего Побужья / Е.С. Перков, С.Е. Поповченко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 9–10. – С. 9 – 14.
7. Попов А.С. Исследование возможности обогащения хромовых руд Побужья / А.С. Попов, С.Н. Подгорный, Ю.А. Бубликов, А.И. Зубарев // Металургія / Наукові праці запорізької державної інженерної академії. – 2011. Випуск 24 С. 26-29.
8. Металлические и не металлические полезные ископаемые Украины. Т. 1. Металлические полезные ископаемые / [Гурский Д.С., Есипчук К.Е. и др.] – К.: Изд-во «Центр Европы» – 2005. – 785 с.
9. Пат. №90336 України, МПК В03В 9/06 Спосіб збагачення бідних хромітових руд / Поповченко С.Є. та інш.; власник Дніпропетровськ Національний гірничий університет; заявл. 25.09.2009 Бюл. №18; опубл. 26.04.2010 Бюл. №8.