

УДК 553.461

Руднев А.В., Пикалова В.С., Никольская Н.Е.,
Чепрасов И.В. (ФГУП «ВИМС»)**ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЯВЛЕНИЙ БЕДНЫХ ХРОМОВЫХ РУД НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ ХАБАРНИНСКОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

*Состав хромовых руд и рудообразующих хромшпинелидов, локализованных в породах ДВК комплекса, отличается повышенной железистостью по сравнению с другими структурно-вещественными комплексами. В результате технологических исследований бедных руд были получены кондиционные по выходу и извлечению хромитовые концентраты с содержанием Cr_2O_3 более 40 %, при этом была подтверждена целесообразность существенного снижения бортового содержания Cr_2O_3 при оценке ресурсов хромовых руд массива, что, в свою очередь, увеличило их ресурсный потенциал. Впервые проведенные опытные плавки продуктов обогащения показали возможность их использования как металлургического сырья. Геолого-экономическая оценка подтвердила эффективность вовлечения сверхбедных руд в обработку и обозначила государственный интерес в их изучении. **Ключевые слова:** Хабаровинский массив, хромовые руды, хромшпинелид, обогащение руд, ультрабазиты, ДВК комплекс, бедные руды, экономическая эффективность, бортовое содержание.*

Rudnev A.V., Pikalova V.S., Nikolskaya N.E., Cheprasov I.V. (VIMS)

THE GEOLOGICAL FEATURES AND PROSPECTS OF POOR ORE CHROME OCCURENCES AS EXAMPLIFIED IN KHABARNINSKY MASSIF OBJECTS (SOUTH URALS)

*The composition of chrome ores and ore-forming chrome spinels from rocks of DVK complex is characterized by higher iron content than other lithotectonic assemblages. Chromite concentrates which contain more than 40 % Cr_2O_3 and meet recovery and extraction requirements were obtained as the result of technological research of poor ores. This research also confirmed the expediency of significant reduction of Cr_2O_3 cut-off grade for the evaluation of chrome ore resources of the massif, which in turn increased their resource potential. For the first time the experimental melting of processed products was conducted and demonstrated the possibility of their use as metallurgical feedstock. Economic-geological evaluation confirmed the efficiency of inclusion of super-poor ores in processing and emphasized public interest in their study. **Key words:** Habarninsky massif, chrome ores, fromseriesid, enrichment of ores, ultrabazita, DVK complex, poor ores, economic efficiency, onboard contents.*

Геологическое строение Хабаровинского массива изучено в ходе проведенных поисковых работ — «Поисковые работы на хромитовые руды в пределах Верблюжьегогорского и Хабаровинского ультрабазитовых массивов (Южный Урал)». На Хабаровинском габбро-ультрабазитовом массиве объекты с бедными и убогими хромовы-

ми рудами распространены в восточной его части и приурочены к породам дунит-верлит-клинопироксенитового (ДВК) структурно-вещественного комплекса (СВК). При проведении работ изучено два рудопрооявления — 5/1 и 5/II, а также ряд хромитоносных зон — Северная, Дачная, Новоплакунская, Горюновская и Южная.

Массив сложен гарцбургитами, развитыми в его западной части, и дунитами с подчиненным количеством пироксенитов, верлитов и примыкающими к ним габброидами офиолитовой серии, слагающими восточную часть массива (рис. 1). Кроме того, на площади массива получили широкое развитие дайкообразные тела габброидов, мощностью от первых метров до 150 и более, секущие дуниты, пироксениты, верлиты и рудные тела. Ультрабазиты ДВК СВК залегают согласно, чередуясь в разрезе в виде полос и линзовидных тел, полого падая на юго-запад под углами 20–50°.

Все выявленные рудопрооявления Хабаровинского массива локализованы в дунитах и приурочены к зонам их чередования с верлитами и клинопироксенитами. При этом масштаб оруденения возрастает с увеличением мощности и протяженности этих зон. В крупных полях дунитов без существенного развития верлитов и пироксенитов масштабного оруденения не выявлено. Рудовмещающие дуниты контролируются как надрудными, так и подрудными зонами чередования клинопироксенитов и верлитов и пространственно приближены к первым. Верлиты и клинопироксениты, чередующиеся с дунитами в сходной геологической обстановке, развиты на многих массивах альпинотипных ультрабазитов. Они, как правило, выделяются в виде маломощных прожилков среди пород дунит-гарцбургитового комплекса с высокой дунитовой составляющей (50–80 %). По мере приближения к контакту с габброидами их роль в разрезе заметно возрастает — чаще всего они образуют густую сеть жил и мощных полосовидных тел. Вблизи контактов с габброидами среди верлитов и клинопироксенитов можно наблюдать лишь редкие блоки — реликты дунитов.

Дуниты массива представлены практически полностью серпентинизированными разностями с единичными реликтовыми зернами ксеноморфного и субидиоморфного оливина размером до 1 мм, замещенные петельчатым лизардитом с тонкой вкрапленностью зерен магнетита. Содержание аксессуарного хромшпинелида в виде отдельных идиоморфных зерен не превышает 1–2 %.

Хромовое оруденение восточной части массива представлено как отдельными жилами и линзами мощностью от 1 м и протяженностью до первых метров, так и рудными телами и залежами мощностью до тридцати метров и протяженностью до 600 м. Морфология рудных тел крайне разнообразна и сложна. Рудопрооявления, представленные кулисообразными линзовидно-жилными телами с крайне невыдержанными парамет-

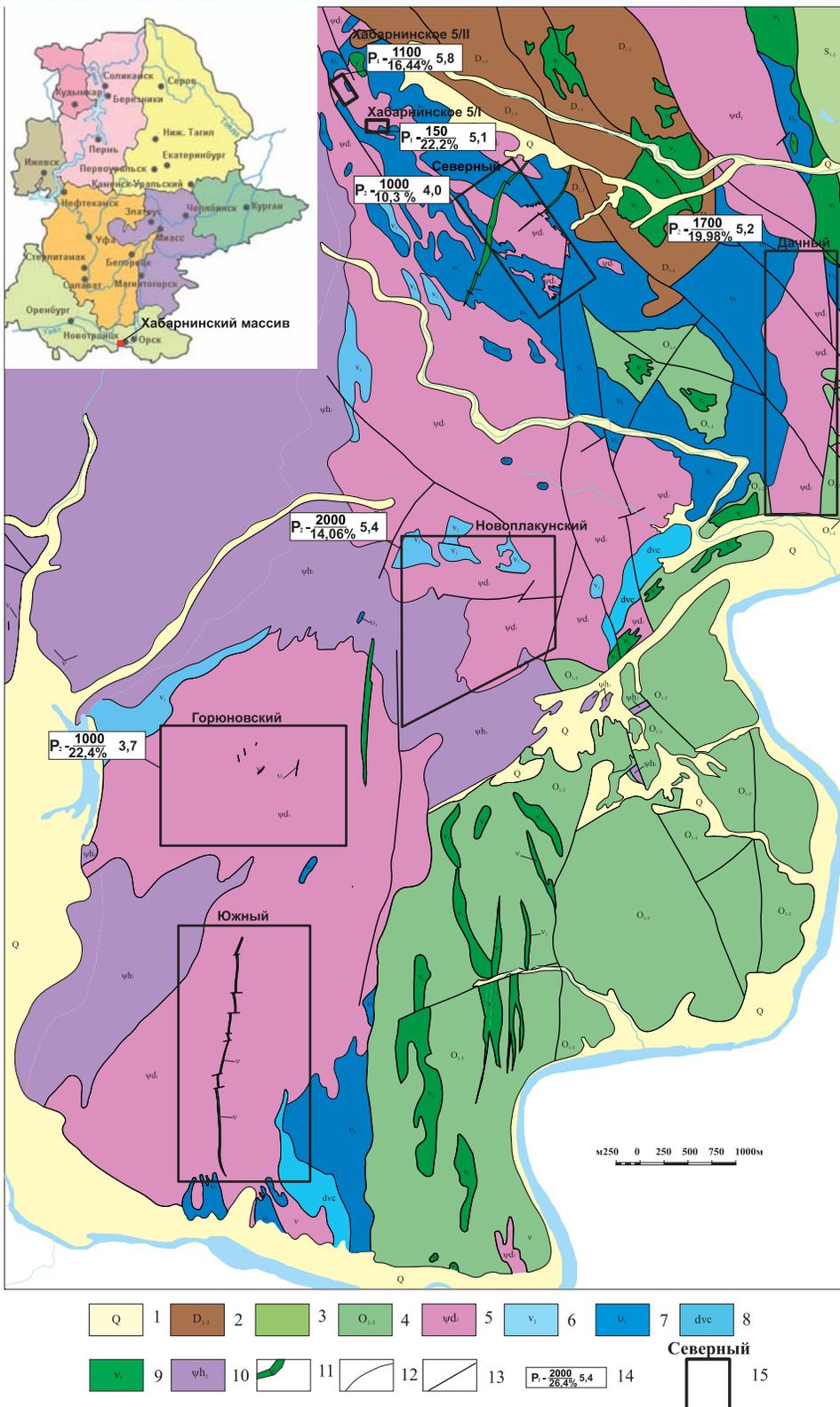


Рис. 1. Геолого-прогнозная карта Хабаровского массива: 1 — четвертичные отложения; 2 — девонская система, верхний-нижний отделы. Осадочные и метаморфические образования; 3 — силурийская система, верхний и нижний отделы. Метаморфические и вулканогенные образования; 4 — ордовикская система, верхний-нижний отделы. Вулканогенные, вулканогенно-осадочные и метаморфические образования. Хабаровинский массив: 5–9 — дунит-верлит-клинопироксенитовый структурно-вещественный комплекс: 5 — серпентиниты аподунитовые, 6 — верлиты, 7 — клинопироксениты, 8 — тонкое переслаивание дунитов, верлитов, клинопироксенитов, 9 — габбро, габбро-нориты; 10 — серпентиниты апогарцбургитовые; 11 — дайки габбро; 12 — геологические границы; 13 — разрывные нарушения; 14 — прогнозные ресурсы и их категория, в числителе — количество, тыс. т, в знаменателе — средневзвешенное содержание Cr_2O_3 в рудах, справа средняя мощность рудных тел, м; 15 — контуры хромитоносных участков и их названия

рами содержаний Cr_2O_3 и мощности, осложнены широко развитой пострудной тектоникой. Схожее строение имеют и выделенные в пределах массива хромитоносные зоны.

Текстурно-структурные особенности хромовых руд были изучены на основных рудопроявлениях Хабаровинского массива. Хромовые руды в большинстве своем представлены тонко-мелкозернистыми убоговкрапленными разновидностями с широким многообразием текстур. Основными текстурными типами руд являются: полосчатые; пятнистые; нодулярные; вкрапленные и массивные (рис. 2).

Массивные руды практически отсутствуют. Как правило, их строение дополнительно осложнено элементами пятнистой или полосчатой текстур. Также в рудах широко проявлена вторичная прожилковая текстура, представленная карбонатными (0,1–10 н мм до 100 мм и более), хлоритовыми и серпентинитовыми прожилками (0,1–1 н мм). Мелко- и тонкозернистая структура хромовых руд, выделенных текстурных разновидностей, окончательно сформировалась в результате довольно интенсивно проявленных процессов катаклаза (рис. 3а-м). Весьма характерно присутствие в руде одновременно мелких и сравнительно крупных зерен (рис. 3а-м).

Химизм хромшпинелида и вещественный состав руд был изучен для рудных тел, вскрытых горными выработками и скважинами в пределах Южного, Северного, Новоплакунского, Горюновского участков, а также проявлений 5/1 и 5/II (рис. 1). Всего было проведено 379 зондовых анализов рудообразующего хромшпинелида. Как следует из частотных гистограмм (рис. 4) содержание Cr_2O_3 и Fe_2O_3 меняются в более широком интервале (порядка 20 масс. %) по сравнению с содержаниями MgO и Al_2O_3 (около 10 масс. %). Такие компоненты как хром, алюми-

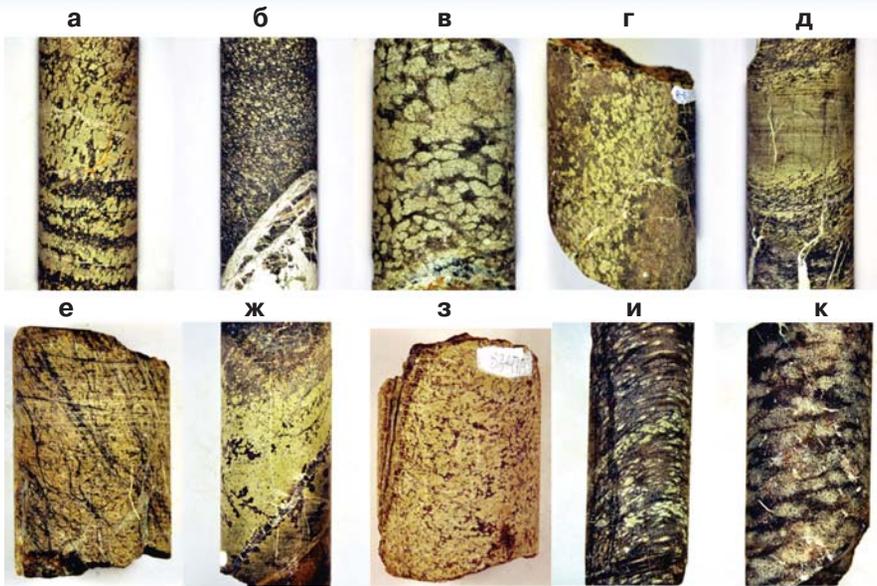


Рис. 2. Текстуры типов хромовых руд Хабаровского массива: а — пятипалая текстура; б — мелкопалая; в — среднепалая нодулярная; г — петельчато-пятипалая; д — полосчатая; е — полосчато-вкрапленная; ж — прожилково-вкрапленная; з — петельчатая убогая; и — ритмичная полосчато-ленточная; к — пятипалая

ний и магний характеризуются одномодальным распределением. Мода для хрома при шаге 2 % соответствует 54–56 %, для алюминия с тем же шагом — 10–14 %, для магния — 8–14 %. Распределение железа имеет более сложный полимодальный характер. Для окисного железа главная мода соответствует 6–8 %, а второстепенная — 10–12 %. Для закисного железа главная мода отвечает 20–22 %, наряду с ней выделяется растянутый платообразный участок от 14 до 18 %.

Разнознаковые показатели асимметрии для хрома и окисного железа, а также схожие по очертаниям, но зеркально отраженные гистограммы этих компонентов, свидетельствуют о замещении первого компонента вторым в процессе метаморфических преобразований хромовых руд.

Первичные составы хромшпинелидов Хабаровского массива занимают область сочленения хромита, субферрихромита, алюмохромита и субферриалюмохромита со сдвигом в железистые области [1] (рис. 5). Их составы отвечают следующим диапазонам содержания по основным компонентам, %: Al_2O_3 — 10–14;

Cr_2O_3 — 52–58; Fe_2O_3 — 4–8; FeO — 12–18; MgO — 8–14. Отличительной чертой первичных хабарнинских шпинелей является наличие значимой прямой связи между хромом и окисным железом, а также повышенные содержания титана и марганца — расчетные моды которых 0,57 и 0,33 % соответственно.

Составы метаморфизованных шпинелей слагают довольно сложную по конфигурации область, вытянутую под пологим углом к оси $Cr-Fe^{3+}$ в сторону более железистых областей. Внутри этой области можно выделить три тренда изменений состава первичных шпинелей при метаморфизме: два ориентированы параллельно оси $Cr-Fe^{3+}$, третий залегает между двумя первыми параллельно оси $Cr-Al$ (рис. 5). Метаморфизованные хромшпинелиды

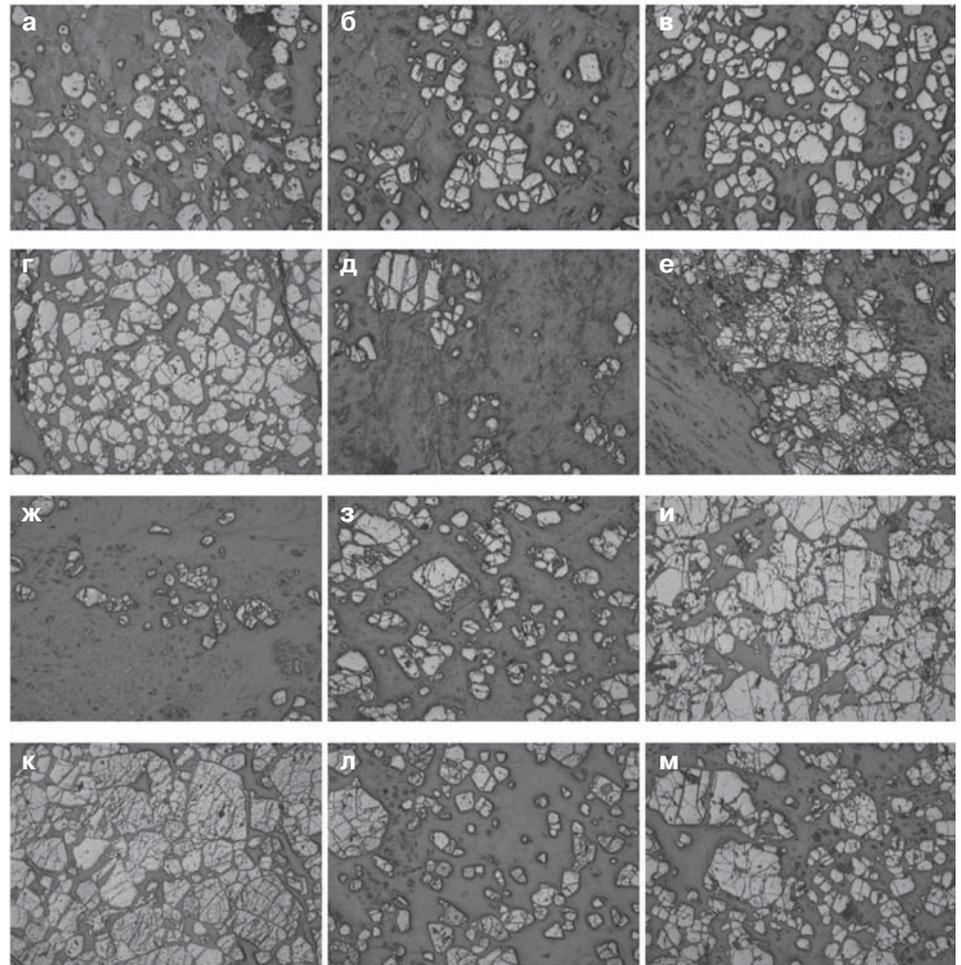


Рис. 3. Структурные особенности хромовых руд Хабаровского массива: слабокатаклазированные мелкозернистые руды (а–в); катаклазированные (г–д) и интенсивно катаклазированные руды (е); убогая струйчатая вкрапленность хромовой шпинели (ж); пятипалая текстура: тонкая бедная и убогая вкрапленность рудного минерала в силикатных обособлениях (з, л) и его средняя по густоте вкрапленность в основной массе руды (и, к); неравномернозернистая структура тонкополосчатой руды (м). Увеличение 50х, отраженный свет

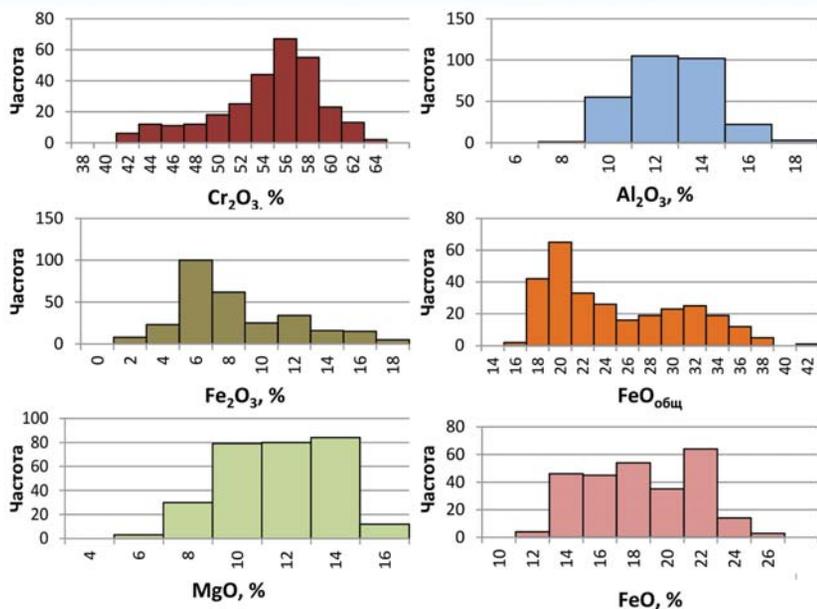


Рис. 4. Частотные гистограммы распределения основных компонентов в рудообразующих хромшпинелидах Хабаровинского массива (n = 278)

характеризуются широким разбросом содержаний хрома и железа, при этом коэффициент корреляции между ними составляет $-0,92$, т.е. основным агентом метаморфических преобразований хабарнинских шпинелей является железо, которое замещает преимущественно хром и частично алюминий и магний, при этом метаморфизованные железистые шпинели обогащаются марганцем и титаном.

Вышеописанные текстурно-структурные особенности хромовых руд и химизм рудного хромшпинелида определяют по содержанию полезного компонента состав самих руд, представленных бедными и убогими разновидностями. При оценке прогнозных ресурсов хромовых руд Хабаровинского массива с бортовым содержанием 10 % и минимальной мощностью рудного тела 1 м средневзвешенные содержания Cr_2O_3 составили 15–20 %. Наиболее часто встречающиеся значения Cr_2O_3 в борздовых и керновых пробах лежат в интервале 3–15 %, составляя 57 % от всех проанализированных проб (рис. 6). Таким образом, преобладающими разновидностями хромовых руд Хабаровинского массива являются их крайне убогие разновидности.

Следует отметить, что кондиционное орудование часто сопровождается более убогими рудами, минерализацией и повышенным аксессуаром, которые, как правило, не считаются орудением. Для установления экономически целесообразных границ рудных тел были произведены технологические исследования руд с различным содержанием Cr_2O_3 и сделаны геолого-экономические расчеты.

Технологические исследования хромовых руд Хабаровинского массива были проведены для руд рудопроявлений 5/1 и 5/II. В рамках настоящих исследований были изучены две малых технологических пробы весом около 300 кг: ХБ-3 и ХБ-4 с исходным содержанием Cr_2O_3 в пробе 10,1 и 17,95 % соответственно. Из результатов проведенных комплексных технологических испытаний следует, что руды имеют неблагоприятный

для проведения крупнокускового обогащения гранулометрический состав — выход «машинных классов крупности» (+25 мм) составляет около 50 %, руда низкоконтрастна, показатель контрастности $M = 0,3$. В связи с этим отсутствует возможность получения отвальных хвостов или кондиционного концентрата методами крупнокускового обогащения. Задачей дальнейших лабораторных исследований являлось изучение возможности глубокого обогащения исходной бедной хромовой руды. В предыдущих исследованиях были изучены технологические пробы ХБ-1 и ХБ-2 с исходным содержанием Cr_2O_3 в пробе 18,6 и 36,3 % соответственно. Из всех четырех технологических проб при их гравиметрическом обогащении и дальнейшей сухой магнитной сепарации были получены кондиционные по выходу и извлечению хромитовые концентраты с содержанием Cr_2O_3 более 40 %.

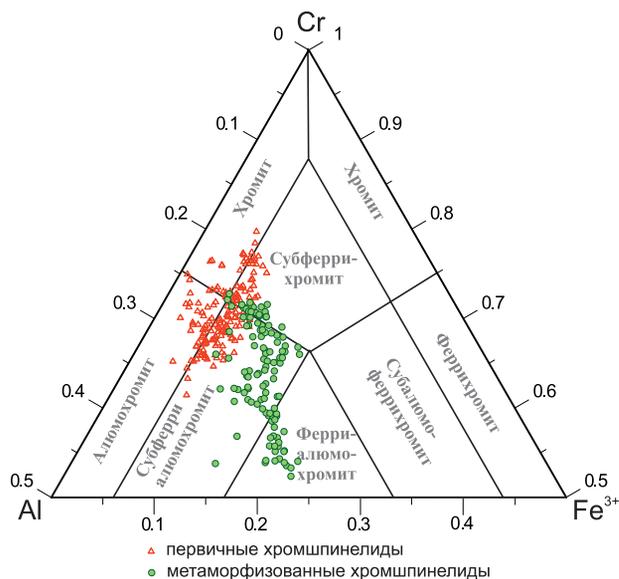


Рис. 5. Минеральные разновидности рудообразующих хромшпинелидов Хабаровинского массива на тройной диаграмме Н.В. Павлова [1968]

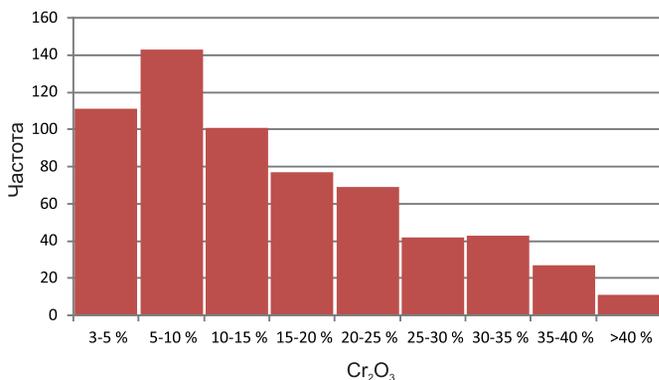


Рис. 6. Количественное распределение Cr_2O_3 в разных типах руд по результатам борздового и кернового опробования

Данные по обогащению руды технологической пробы ХБ-3 с наименьшим исходным содержанием полезного компонента — 10,1 % Cr_2O_3 определяют возможность вовлечения в отработку сверхбедных руд.

По результатам granulометрического анализа исходной руды крупностью $-2+0$ мм в пробе ХБ-3 были проведены исследования технологических свойств бедной хромовой руды на классе крупности $-0,2(0,16)+0$ мм методом магнитной сепарации и гравитационного обогащения, которые показали низкую эффективность метода магнитной сепарации.

В тоже время в результате гравитационного обогащения на концентрационном столе исходной пробы, измельченной до крупности $-0,2+0$ мм, выделен хромитовый концентрат с содержанием 46,51 % Cr_2O_3 при извлечении 64,75 % и содержанием 29,16 % Fe_2O_3 при извлечении 36,25 %.

Магнитная сепарация хромитового концентрата при напряженности магнитного поля 0,35 Тл позволила повысить качество Cr_2O_3 до 48,5 % с минимальными потерями в немагнитной фракции (2,1 %).

Полученные результаты технологических исследований послужили основой для разработки рациональной схемы обогащения, апробированной в условиях укрупненно-лабораторных испытаний в открытом цикле на пробе ХБ-3 исходной хромовой руды массой 20 кг. Анализ сводных показателей обогащения укрупненно-лабораторных испытаний по разработанной рациональной технологической схеме в открытом цикле позволил установить следующее:

получен хромовый концентрат с содержанием Cr_2O_3 — 48,9 % и Fe_2O_3 — 29,75 % при их извлечении от руды, соответственно, %: 73,2; 39,8 при отношении $\text{Cr}_2\text{O}_3 : \text{FeO}' = 1,83$;

выделенный промпродукт с содержанием Cr_2O_3 — 8,08 % и Fe_2O_3 — 10,63 % при извлечении 6,2 % Cr_2O_3 от руды представляет некоторый резерв для повышения извлечения на 1,8–2,2 % от руды в условиях замкнутого цикла;

потери Cr_2O_3 с отвальными хвостами и шламами составили в сумме 20,6 % при среднем содержании в них Cr_2O_3 — 2,6 %, что почти в четыре раза ниже, чем в исходной руде.

Для выделенных технологических продуктов обогащения были проведены опытные плавки с целью определения возможности получения лигатур, в ходе которых была определена возможность получения феррохрома марки ФХ050, «чардж-хрома», а также попутного чугуна. Результаты проведенных опытных плавки напрямую из хромитового концентрата показали, что он пригоден для выплавки феррохрома. Полученный металл по химическому составу можно отнести к «чардж-хрому». Однако высокое содержание оксидов железа в концентрате не позволило получить ферросплав с содержанием хрома свыше 65 % (по ГОСТу 4757-91 — не менее 65 %).

В лабораторных условиях изучены процессы разрушения хромшпинелидов в шлаковой системе, содержащей оксиды кальция. Твердофазное взаимодействие между ними при температурах 1150–1200 °С приводит к образованию конечного продукта в виде бихромата кальция (CaCr_2O_7). Происходит обменная реакция

между ионами хрома и железа с ионами кальция. В результате ионы железа и хрома мигрируют в известь, а ионы кальция в хромшпинелид. При их стехиометрическом соотношении в шихте в соответствии с диаграммой $\text{CaO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ образуется относительно легкоплавкая эвтектика. На основании проведенных лабораторных опытов показана возможность на стадии высокотемпературного обжига получить материал с высокой активностью оксидов железа и хрома. Введение углеродистого восстановителя в количестве, необходимом на перевод 50–60 % оксидов железа в металл, позволит получить рудно-известковый расплав с необходимым отношением $\text{Cr}_2\text{O}_3 : \text{FeO} : \text{CaO}$.

Показана принципиальная возможность получения низкоуглеродистого феррохрома методом смешения рудно-известкового расплава с кристаллическим кремнием. Некоторые нюансы технологии, связанные с разницей в плотностях рудно-известкового расплава и кремния, будут дорабатываться. На основании полученных данных проведенных лабораторных плавки выполнен материальный баланс. Установлено, что извлечение хрома в металл составляет 90–92 %. Феррохром чист по примесям (они все перешли в чугун). Расчеты энергозатрат при выплавке низкоуглеродистого феррохрома только за счет использования горячей шихты будут снижены с 1200–1300 до 900–1100 кВт*ч/т.

На основании комплекса проведенных исследований разработаны технологические схемы получения углеродистого феррохрома напрямую и низкоуглеродистого феррохрома методом смешения.

Из одной тонны хромитового концентрата можно получить по первому варианту (выплавка углеродистого феррохрома напрямую):

углеродистого феррохрома марки «чардж-хром» — 560 кг; *шлака* — 730 кг.

По второму варианту (метод смешения): *низкоуглеродистого феррохрома* марки ФХ006 — 460 кг; *чугуна* — 110 кг; *шлака* — 1500 кг.

Второй вариант предполагает получение качественного низкоуглеродистого феррохрома марки ФХ006 с проведением дополнительных технологических операций, связанных с обжигом рудно-известковой смеси,

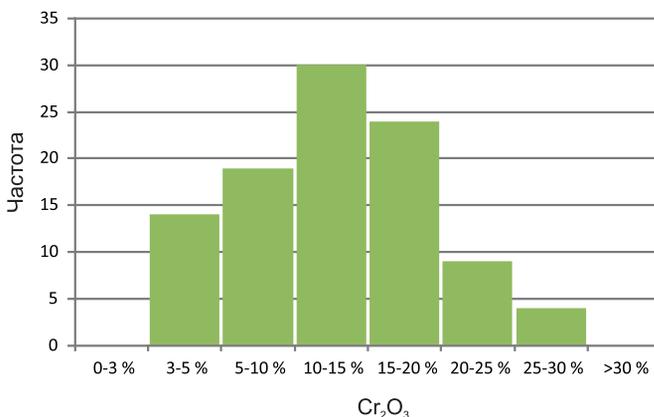


Рис. 7. Количественное распределение кусков хромовых руд из представительной выборки технологической пробы ХБ-3 по содержанию Cr_2O_3

плавкой рудно-известкового расплава и внепечного получения феррохрома.

Определяющим для оценки возможности использования свехубогих руд и снижения бортового содержания при оценке прогнозных ресурсов стало изучение содержаний Cr_2O_3 в представительной выборке из 100 кусков, для чего был проведен экспресс анализ по определению полезного компонента по классам (рис. 7).

Из данных гистограммы можно заключить, что куски с содержанием до 10 % Cr_2O_3 составляют значимое количество от всей пробы (больше трети). В то же время 14 % кусков, попадающих в интервал содержаний Cr_2O_3 — 3–5 %, дают основание принять нижний порог этих содержаний как бортовое. Таким образом, исходя из показателей результативности технологического обогащения пробы ХБ-3, **бортное содержание Cr_2O_3 равно 3 % может использоваться** для оценки ресурсов хромоворудных объектов Хабаровинского массива.

Оценка прогнозных ресурсов была проведена для рудопроявления 5/1 (рис. 8, 9) и 5/II. Подсчет проводился повариантно — по бортовому содержанию 10 % и 3 % Cr_2O_3 , обоснованному возможностью обогащения руд со средним содержанием 10,1 % в технологической пробе. При бортовом содержании 10 % на рудопроявлении 5/1 оконтуривается одно рудное тело № 1 со следующими параметрами, рассчитанными по четырем

буровым профилям: длина рудного тела по простиранию 230 м; средняя протяженность по падению 73 м; средняя мощность 2,7 м; средневзвешенное содержание Cr_2O_3 22,2 %; плотность руд 3,3 т/м³ (табл. 1). Прогнозные ресурсы рудного тела № 1 рудопроявления 5/1 составляют: $P_1 = 230 \times 72,5 \times 2,7 \times 3,3 = 148574 \text{ т} \approx 150 \text{ тыс. т}$ со средним содержанием Cr_2O_3 — 22,2 % до глубины 80 м.

При снижении бортового содержания до 3 % на рудопроявлении 5/1 оконтуриваются два рудных тела — № 1 и № 2 (рис. 8). Параметры рудного тела № 1 по четырем буровым профилям составили: длина по простиранию 270 м; средняя протяженность по падению 95 м; средняя мощность 2,9 м; средневзвешенное содержание Cr_2O_3 — 19,47 %; плотность руд 3,3 т/м³ (табл. 2).

Параметры рудного тела № 2 по двум буровым профилям составили: длина по простиранию 150 м; средняя протяженность по падению 100 м; средняя мощность 3,05 м; средневзвешенное содержание Cr_2O_3 — 5,73 %; плотность руд 3,0 т/м³ (рис. 9, табл. 2).

Таким образом, прогнозные ресурсы рудного тела № 1 рудопроявления 5/1 составляют: $P_1 = 270 \times 95 \times 2,9 \times 3,3 = 245470 \text{ т} \approx 245 \text{ тыс. т}$ со средним содержанием Cr_2O_3 — 19,47 % до глубины 80 м.

Прогнозные ресурсы рудного тела № 2 рудопроявления 5/1 составляют: $P_1 = 150 \times 100 \times 3,05 \times 3,0 = 137250 \text{ т} \approx 135 \text{ тыс. т}$ со средним содержанием Cr_2O_3 — 5,73 % до

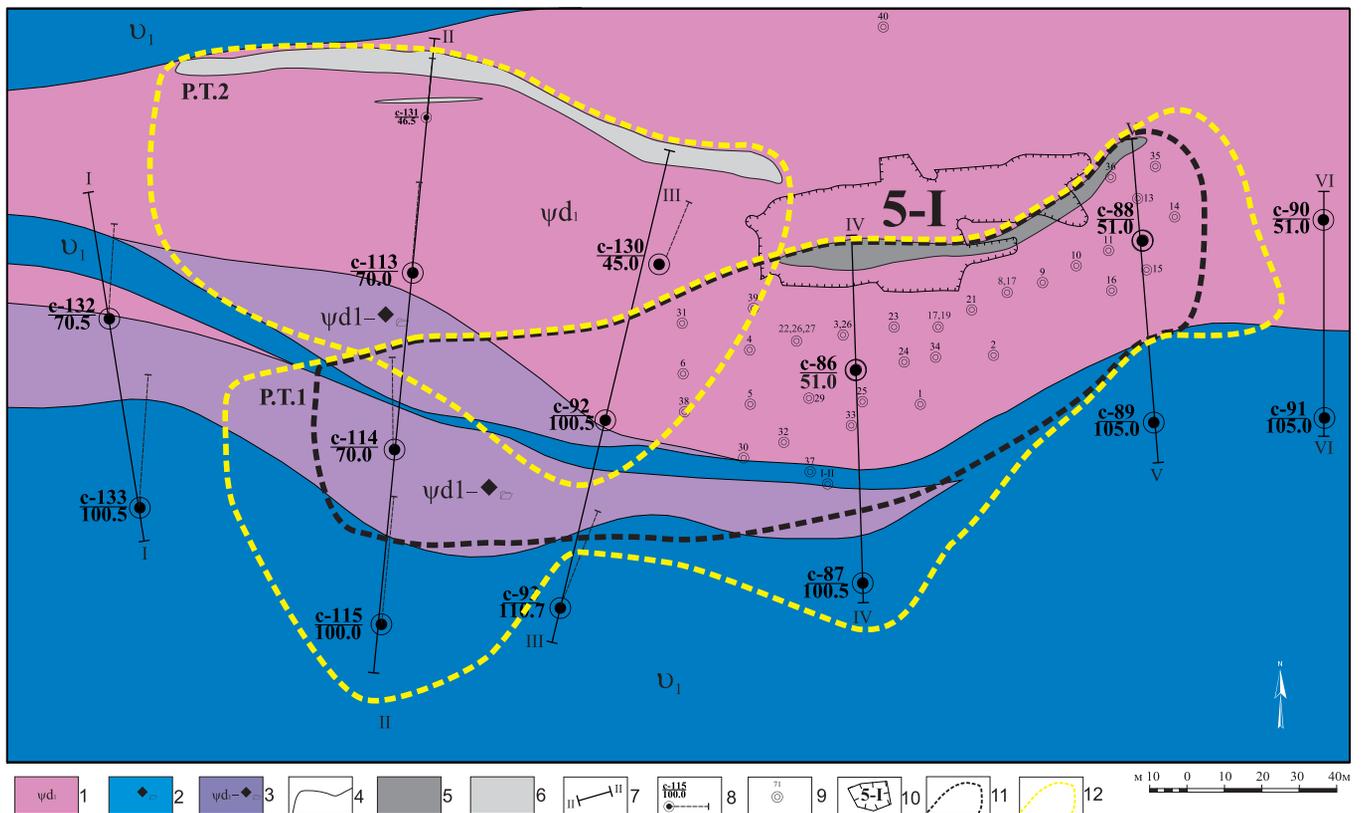


Рис. 8. Геолого-прогнозная карта рудопроявления 5/1: 1 — серпентиниты аподунитовые; 2 — пироксениты оливиновые; 3 — чередование серпентинитов аподунитовых и пироксенитов оливиновых; 4 — геологические границы; 5 — средне-редковкрапленные хромовые руды с содержанием Cr_2O_3 10–30 %; 6 — убоговкрапленные хромовые руды с содержанием Cr_2O_3 3–10 %; 7 — линии разрезов; 8 — скважины колонкового бурения, пройденные в 2014 г.; 9 — скважины колонкового бурения, пройденные в 1936 г.; 10 — опытный карьер и его номер; 11 — проекция рудного тела на дневную поверхность при подсчете прогнозных ресурсов с бортовым содержанием Cr_2O_3 10 %; 12 — проекция рудных тел на дневную поверхность при подсчете прогнозных ресурсов с бортовым содержанием Cr_2O_3 3 %

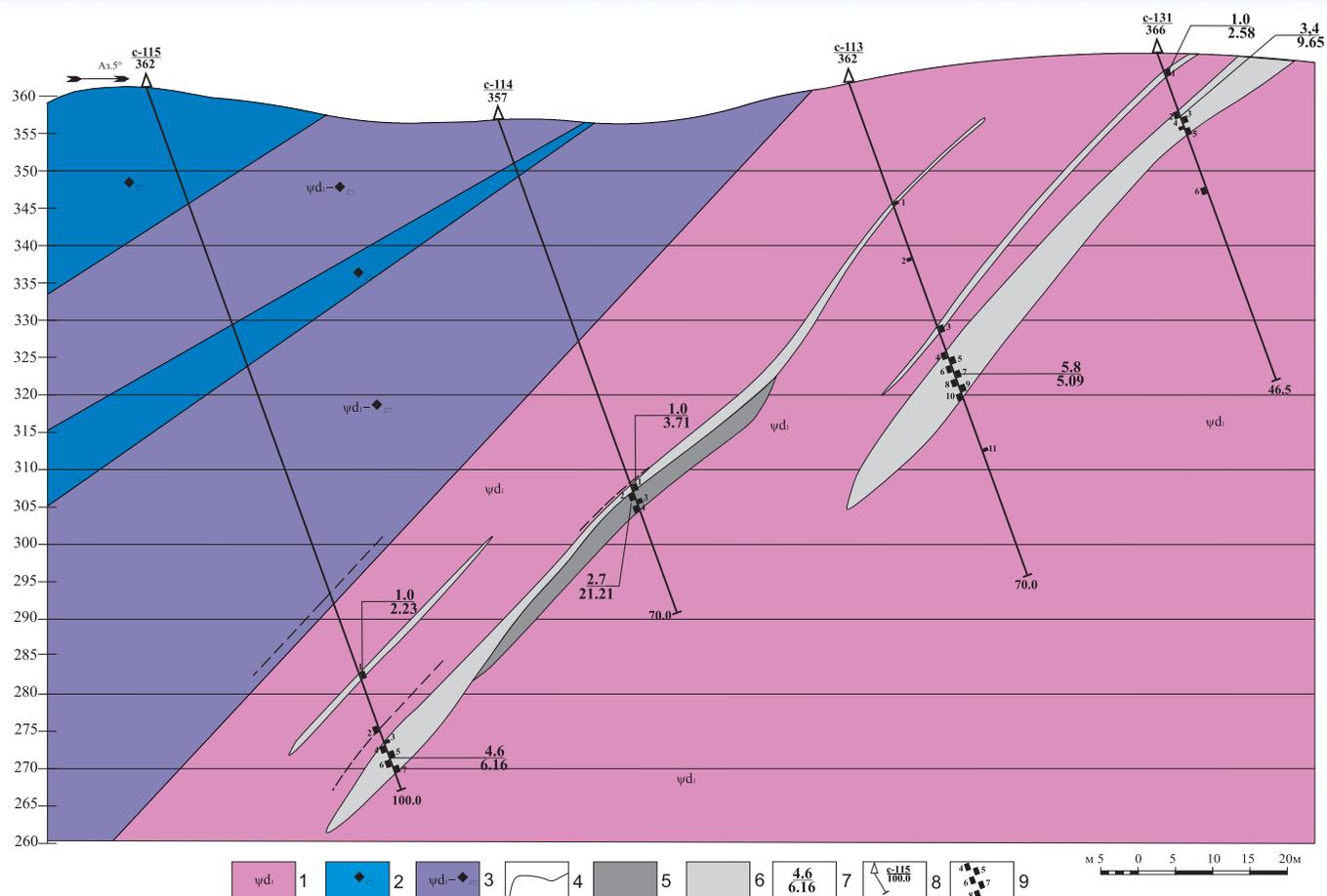


Рис 9. Геологический разрез по линии II—II рудопроявления 5/1: усл. обозначения 1–6 см. на рис. 8; 7 — пересеченная мощность рудных тел (в числителе) и содержание Cr_2O_3 (в знаменателе); 8 — скважины колонкового бурения, пройденные в 2014 г.; 9 — интервалы бортового опробования и их номер

Таблица 1
Расчет средних подсчетных параметров по рудным телам рудопроявления 5/1 при бортовом содержании 10 % Cr_2O_3 в пробе

№ скважины	Пересеченная мощность, м	Истинная мощность, м	Содержание Cr_2O_3 в пересечении, %	Длина по падению, м	Средняя мощность тела, м	Среднее содержание Cr_2O_3 , %
Профиль № II						
С-115	4,6	4,0	6,16	75	1,8	14,6
С-114	2,7	2,3	21,21			
С-113	0,5	0,4	9,49			
Профиль № III						
С-93	0	0	0	75	2,4	10,6
С-92	3,9	3,2	11,05			
С-130	3,0	2,6	5,7			
Профиль № IV						
С-87	0	0	0	80	5,8	27,5
С-25	6,4	6,0	27,0			
С-86	9,9	8,5	27,96			
С-26	9,35	8,0	27,9			
карьер	9,35	8,0	27,9			
Профиль № V						
С-89	0	0	0	60	1,1	32,3
С-88	1,5	1,2	32,52			
карьер	1,5	1,2	32,52			
Средневзвешенные значения				73	2,7	22,2

глубины 50 м. Суммарное количество прогнозных ресурсов по двум рудным телам рудопроявления 5/1 при бортовом содержании 3 % составило **380 тыс. т** со средним содержанием Cr_2O_3 — 15,29 %. При снижении бортового содержания Cr_2O_3 с 10 до 3 % количество прогнозных ресурсов на рудопроявлении 5/1 увеличилось на 153 % (со 150 тыс. т до 380 тыс. т), но среднее содержание в рудах упало на 31,1 % (с 22,2 до 15,29 % Cr_2O_3). В переводе ресурсов на содержание Cr_2O_3 их количество увеличилось на 74,4 %.

Учитывая аналогичное геологическое строение рудопроявлений 5/1 и 5/II, можно подсчитать количество прогнозных ресурсов при бортовом содержании Cr_2O_3 — 3 % на рудопроявле-

Таблица 2

Расчет средних подсчетных параметров по рудным телам рудопроявления 5/1 при бортовом содержании 3 % Cr_2O_3 в пробе

№ скважины	Пересеченная мощность, м	Истинная мощность, м	Содержание Cr_2O_3 в пересечении, %	Длина по падению, м	Средняя мощность тела, м	Среднее содержание Cr_2O_3 , %
Профиль № II						
Рудное тело №1						
С-115	4,6	4,2	6,16	115	2,3	10,56
С-114	3,7	3,3	16,4			
С-113	0,5	0,45	9,49			
Рудное тело №2						
С-113	5,8	5,2	5,09	85	3,8	6,02
С-131	3,4	3,0	9,65			
Профиль № III						
Рудное тело №1						
С-93	0	0	0	55	2,4	11,05
С-92	3,9	3,2	11,05			
С-130	0	0	0			
Рудное тело №2						
С-93	0	0	0	100	2,25	4,78
С-92	2,0	1,8	3,51			
С-130	3,0	2,7	5,7			
Профиль № IV						
Рудное тело №1						
С-87	2,8	2,5	6,39	150	5,8	24,1
С-25	6,4	6,0	27,0			
С-86	9,9	8,5	27,96			
С-26	9,35	8,0	27,9			
карьер	9,35	8,0	27,9			
Профиль № V						
Рудное тело №1						
С-89	0	0	0	60	1,1	32,3
С-88	1,5	1,2	32,52			
карьер	1,5	1,2	32,52			
Средневзвешенные значения рудного тела №1				95	2,9	19,47
Средневзвешенные значения рудного тела №2				100	3,05	5,73

нии 5/II путем применения процентов увеличения ресурсов и снижения в них содержаний Cr_2O_3 по аналогии с рудопроявлением 5/I. Так как в количественном отношении убогие руды рудопроявления 5/II получили более широкое распространение по сравнению с рудопроявлением 5/I, такая аналогия является достоверной.

Таким образом, при увеличении 1100 тыс. т на 153 % их количество составит **2783 тыс. т**, а при уменьшении содержания Cr_2O_3 в рудах на 31 % его средневзвешенное значение составит **11,34 %**. В переводе ресурсов на Cr_2O_3 их количество составит 328 тыс. т, что на 60 % больше предыдущих показателей.

Исходя из пересчетов прогнозных ресурсов двух рудопроявлений Хабаровинского массива при снижении бортового содержания Cr_2O_3 до 3 %, их суммарное количество составит **3163 тыс. т** со средним содержанием Cr_2O_3 в рудах **11,81 %**. Суммарное количество ресурсов в пересчете на Cr_2O_3 составит 373,5 тыс. т.

Технико-экономические расчеты были выполнены для локализованных ресурсов рудопроявлений 5/I и 5/II Хабаровинского массива. Для их проведения прогноз-

ные ресурсы кат. P_1 были переведены в условные запасы кат. C_2 с использованием коэффициента 0,7. Отработка объектов предусматривается открытым способом. Производственная мощность предприятия по добыче руды определялась по формуле Тейлора. В основу экономической оценки были заложены следующие показатели.

Вариант 1 (бортовое содержание Cr_2O_3 — 10 %). Производительность по добыче руд — 160 тыс. т/год, при которой срок существования предприятия составит 8 лет. Коэффициент вскрыши — 2,9 м³/т (рассчитан по разрезам графическим методом). Извлечение Cr_2O_3 в хромитовый концентрат, содержащий 42,89 % Cr_2O_3 — 82,57 % (по данным технологических исследований). Цена на концентрат — 6500 руб./т.

Вариант 2 (бортовое содержание Cr_2O_3 — 3 %). Производительность по добыче руд — 320 тыс. т/год, при которой срок существования предприятия составит 8 лет. Коэффициент вскрыши — 2 м³/т. Извлечение Cr_2O_3 в хромитовый концентрат, содержащий 48,9 % Cr_2O_3 — 73,2 % (по данным технологических исследований).

Цена на концентрат — 7100 руб./т.

Для определения величины эксплуатационных и капитальных затрат использовались как прямые расчеты, так и метод аналогии. Строительство горно-обогатительного предприятия осуществляется за 1 год, начало эксплуатации — в первый год с выходом на проектную мощность на второй год. Резльтирующими показателями экономической оценки являются: внутренняя норма прибыльности (ВНП), индекс доходности (ИД), срок окупаемости и бюджетная эффективность (табл. 3).

В целом геолого-экономическая оценка обоих вариантов дает положительные результаты, при этом 2 вариант характеризуется более низкими показателями коммерческой эффективности: ВНП — 7,9 %, ИД — 0,88. Это объясняется тем, что при снижении бортового содержания полезного компонента в рудах одновременно снижается извлекаемая ценность руд с 1939,4 руб./т до 1169,2 руб./т (табл. 3). При этом издержки производства растут, т.к. для производства аналогичного количества товарной продукции необходимо добыть и обогатить большее количество руд с более

Таблица 3
Сводные технико-экономические показатели освоения рудопроявлений Хабарнинского массива

№№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Значение показателей	
			первоначальное	с приростом
1	Способ отработки		открытый	
2	Срок существования предприятия	лет	8	8
3	Годовая производительность по добыче руды	тыс. т	160	320
4	Годовая стоимость товарной продукции, всего	млн. руб.	310,3	378,5
5	Извлекаемая ценность 1 т руды	руб./т	1939,4	1182,8
6	Годовые издержки производства, всего	млн. руб.	219,0	311,7
	в т.ч. А) Эксплуатационные затраты	млн. руб.	201,0	289,7
	в т.ч. амортизационные отчисления	млн. руб.	43,0	57,9
	Б) Отчисления и платежи, всего	млн. руб.	18,0	22,0
7	Полная себестоимость 1 т руды	руб./т	1368,9	974,0
8	Годовая балансовая прибыль	млн. руб.	91,3	66,9
9	Налог на имущество	млн. руб.	6,4	8,9
10	Прибыль для налогообложения	млн. руб.	84,9	57,9
11	Налог на прибыль	млн. руб.	17,0	11,6
12	Чистая прибыль в распоряжении предприятия	млн. руб.	68,0	46,3
13	Годовой доход — свободные средства предприятия	млн. руб.	110,9	104,3
14	Оценочные инвестиции, всего	млн. руб.	454,2	642,4
	в т.ч. рудник	млн. руб.	195,3	254,5
	ЦОФ	млн. руб.	95,2	152,3
	объекты вспомогательного и обслуживающего назначения	млн. руб.	58,1	81,4
	прочие объекты	млн. руб.	34,8	48,8
	затраты на охрану окружающей среды	млн. руб.	30,7	43,0
	оборотные средства	млн. руб.	40,2	62,3
15	Срок возврата инвестиций годовым доходом	лет	4,6	6,6
16	Внутренняя норма прибыльности	%	16,3	7,9
17	Индекс доходности (d = 10 %)	доли ед.	1,17	0,88
18	Бюджетная эффективность: — за год — за весь период существования предприятия	млн. руб.	55,0 380,0	65,5 500,0

низким содержанием. В тоже время, бюджетная эффективность второго варианта сильно превышает первый, в связи с чем заинтересованность государства в изучении и освоении объектов такого плана должна быть повышена.

Выводы

Проведенные исследования показали, что из бедных и убогих хромовых руд, характерных для дунитов ДВК комплекса, возможно получение кондиционных концентратов с высоким содержанием Cr_2O_3 . Опытные металлургические плавки, позволившие получить из этих концентратов товарные лигатуры, говорят о возможности применения таких руд и концентратов в качестве металлургического сырья [2]. Геолого-экономическая оценка показала возможность снижения бортового содержания для оконтуривания рудных тел, что приводит к увеличению ресурсов рудных объектов данного типа и более полному извлечению полезного компонента из недр. Экономические показатели рассчитанной бюджетной эффективности определяют государственный интерес к изучению и вовлечению объектов такого типа в отработку. В то же время, для достижения более эффективных экономических показателей и определения оптимальных показателей увеличения бюджетной эффективности и снижения индекса доходности необходимо вариативно подобрать более «выгодное» бортовое содержание Cr_2O_3 для количественной оценки руд.

В связи с широким развитием ДВК комплекса во многих альпинотипных ультрабазитах и возможностью оценки ресурсов по более низкому бортовому содержанию их перспективы могут быть значительно повышены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. Института геологических наук. Серия рудных месторождений. — 1949. — № 13. — Вып. 103. — 87 с.
2. Руднев А.В., Чепрасов И.В., Швецов В.А., Цымбалист С.И. Об инвестиционной привлекательности объектов хромовых руд нераспределенного фонда недр // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 7. — С. 49–54.

© Коллектив авторов, 2015

Руднев Алексей Вячеславович // rud-met@vims-geo.ru
 Пикалова Варвара Сергеевна // vsp_87@mail.ru
 Никольская Наталья Евгеньевна // vims_cr@mail.ru
 Чепрасов Игорь Владимирович // rmo-vims@mail.ru

УДК.553.495'411:553.54'576(480)

**Гребенкин Н.А.¹, Леденева Н.В.¹, Филиппов Н.Б.²,
 Житников В.А.³, Литвиненко В.И.² (1 — ФГУП «ВИМС»,
 2 — ГГУП «СФ «Минерал», 3 — ОАО «ПКГЭ»)**

ОСОБЕННОСТИ УРАН-ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГРУППЫ РОМПАС И ОБЪЕКТА ПАЛОКАС (СЕВЕРНАЯ ФИНЛЯДИЯ)

Уран-золоторудные проявления группы Ромпас и объект Палокас расположены в палеопротерозойском сланцевом поясе Перапохия на границе с крупным гранитоидным массивом. В результате посещения российскими геологами этих объектов был собран коллекционный каменный материал, который в последующем изучался оптическими и лабораторно-аналитическими методами. Установлено, что как урановое, так и золотое с теллуридами оруденение развито в метасоматитах амфибол-кварцевого состава и сопутствующих скарноидах, связанных, очевидно, с гранитоидным магматизмом. Выявленные особенно-