

БАЗА ХРОМОВОГО СЫРЬЯ СИБИРИ (В ПРЕДЕЛАХ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА)

С. С. Долгушин, В. В. Жабин, И. Ю. Лоскутов, О. Г. Садур

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

В связи с распадом СССР и потерей Кемпирсайского месторождения в РФ образовался дефицит хрома, удовлетворяемый за счет импорта. Это и привело к необходимости укрепления собственной базы хромового сырья, в том числе и за счет Сибири. Однако в Сибири специализированных работ на хромиты не проводилось, а имевшиеся сведения о них были получены в основном при проведении геологических съемок. Это не позволяло обоснованно оценить ресурсный потенциал региона. В начале 2000-х гг. производственными организациями и научными учреждениями выполнялись работы по изучению хромовой минерализации. В частности, в СНИИГГиМС проведены анализ и обобщение предыдущих работ, а также математическое моделирование данных грави- и магнитных полей по ряду хромитоносных массивов. В результате установлено, что на выявление месторождений с промышленно значимым оруденением перспективны 13 массивов с суммарными прогнозными ресурсами 185,07 млн т. Однако в связи со слабой изученностью в Сибири пока не обнаружено ни одного месторождения, хотя имеются предпосылки, что в результате целенаправленных работ возможно открытие мелких и даже средних месторождений, способных обеспечить потребности сибирской металлургической промышленности.

Ключевые слова: месторождения, хромит, ресурсы, хромитовое сырье, гипербазиты.

CHROME RESOURCE BASE OF SIBERIA (WITHIN THE SIBERIAN FEDERAL DISTRICT)

S. S. Dolgushin, V. V. Zhabin, I. Yu. Loskutov, O. G. Sadur

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

Due to the break up of the Soviet Union and the loss of the Kempirsayskoye deposit, the Russian Federation has suffered from a deficit of chrome, which was compensated by import. This caused the need for reinforcement of own chrome resource base at the expense of Siberia as well. Although, there has never been any special exploration for chromites in Siberia, and available data on them have been obtained from geological survey. This fact made it impossible to soundly appraise the resource potential of the region. Early in 2000s, producers and research institutions studied chrome mineralisation. In particular, SNIIGGiMS analysed and summarised previous works, as well as carried out mathematical modelling of data on gravity and magnetic fields from a number of chromite-bearing massifs. As a result, it was established that there are some prospects for discovering commercial deposits with total predicted resources of 185.07 mln t in 13 massifs. However, due to poor exploration maturity of Siberia, not a single deposit has been discovered yet, but dedicated works may result in discovery of small and even medium deposits that could meet the demands of the Siberian metallurgical industry.

Keywords: deposits, chromite, resources, chromite raw materials, ultrabasic.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6с-127-138

Общие положения

Хром относится к группе черных металлов и по промышленной значимости стоит в одном ряду с железом, титаном и алюминием. Основная область его применения – это металлургическая промышленность, где он используется для получения высококачественных сталей и антикоррозионных покрытий. В бывшем СССР потребности промышленности полностью удовлетворялись хромитовыми рудами двух действовавших месторождений – Сарановского в Пермской области и Кемпирсайского на Южном Урале (с прилегающими мелкими месторождениями). После распада СССР последнее месторождение осталось в Казахстане. Это и определило более чем 80 %-ную зависимость промышленности от импорта хромового сырья. В начале 2000-х гг. было доразведано и введено в эксплуатацию Центральное месторождение в Райизском гипербазитовом массиве на Полярном Урале. Ситуация с хромовым сырьем несколько улучшилась, но все равно больше поло-

вины сырья оставалось привозным, что недопустимо для такого важного стратегического сырья. Остро встал вопрос о необходимости резкого расширения собственной базы хромового сырья. С этой целью были расширены геолого-поисковые и тематические работы на хром, например, под патронажем ВИМС осуществлены ревизионно-поисковые работы по оценке хромитоносности ультраосновных массивов Сибири, Дальнего Востока, Южного и Среднего Урала. Территория Сибири оценивалась сотрудниками СНИИГГиМС. В настоящей статье изложены результаты работ института по оценке хромитоносности Сибири в пределах Сибирского федерального округа за 1998–2010 гг.

Изученность хромовой минерализации Сибири

В СССР гигантское Кемпирсайское месторождение хромитов обеспечивало потребности страны в хромовом сырье, потому и не было необходимости вести поиски новых его источников, тем более



в Сибири, в связи с чем и сформировалось соответствующее отношение к этой проблеме.

В Сибири при проведении государственных геологических съемок м-ба 1:200 000 было выявлено несколько сотен рудопоявлений хромитов, которые в большинстве случаев изучались лишь попутно без каких-либо специальных работ. В те времена ориентировались на открытие в Сибири лишь крупных месторождений, а перспектив этого, судя по предварительным данным геолого-съемочных работ, не имелось. Перспективы известных рудопоявлений оценивались визуальным экспертным путем, в связи с чем разные эксперты получали результаты, отличающиеся друг от друга в разы, даже на порядок (например, для Успенского рудопоявления на Салаире оценка составила от 1,0 до 15,0 млн т). В среднем ресурсы хромитовых руд Сибири тогда определялись суммарно не менее чем в 400 млн т, а ориентировочные ресурсы конкретных объектов – в среднем в 10 млн т. Для постановки разведочных работ тогда не было подготовлено ни одного проявления. В начале 2000-х гг. в СНИИГГиМС для отдельных хромитовых массивов, покрытых крупномасштабными (1:10 000–1:50 000) гравитационными и магнитными съемками, выполнено математическое моделирование, позволившее определить параметры рудоносных зон и уточнить перспективы хромитовой минерализации.

Работы по оценке хромитового сырья на огромной территории Сибири проводились в разное время разными организациями по разным методикам, видам и объемам, не было ни обобщения, ни составления единых сводок, потому общие перспективы хромитовосности Сибири представлялись весьма неоднозначными. Это отражено в Госбалансе: в разные годы ресурсы то ставили на баланс, то много раз корректировали, то вовсе снимали. В итоге в Госбалансе ресурсов по Сибирскому региону нет ни одного хромитовосного объекта.

Геологическая позиция хромитовосных гипербазитовых массивов

В Сибири хромовая минерализация промышленного типа связана только с гипербазитовыми массивами. Она представлена хромитом (Cr_2O_3) – порообразующим минералом ультраосновных пород из группы хромшпинелидов. В том или ином количестве хромиты всегда присутствуют в гипербазитовых массивах. Однако на практике хромитовосными считаются только те массивы, где минерал содержится в виде густой вкрапленности, штокерковых зон, жил или отдельных рудных тел и может представлять промышленный интерес.

Гипербазитовые массивы, в том числе и хромитовосные, – продукт мантийного магматизма. Они располагаются в региональных структурах цепочками вдоль глубинных (мантийных) разломов, образуя своеобразные гипербазитовые пояса протяженностью десятки или даже многие сотни километров.

Эти пояса содержат хромитовосные массивы, количество которых разное – от единиц до нескольких сотен, а размеры от мелких (первые квадратные километры) до крупных (сотни квадратных километров). Хромитовосны в поясе обычно лишь несколько массивов. В Сибири известно почти два десятка гипербазитовых поясов, но лишь в шести отмечены хромитовосные массивы.

Особенностью строения сибирских гипербазитовых поясов в сравнении с уральскими является то, что в Сибири в них содержится большое количество (в некоторых до сотни и более) массивов, но мелких, площадью не более 100 км² (на Урале площади отдельных массивов достигают 900 км²). А главное то, что даже самые крупные сибирские массивы менее продуктивны на хромитовую минерализацию. Вероятно, это связано с особенностями строения материнского мантийного слоя Земли, содержащего в разных районах разное количество хромшпинелидов, включая хромит как порообразующий минерал.

В ассоциациях ультраосновных пород выделяется несколько структурно-вещественных комплексов (СВК): лерцолитовый, гарцбургитовый, верлит-дунитовый и дунит-гарцбургитовый [7]. Не касаясь характеристики состава и строения СВК, достаточно полно описанных в многочисленных публикациях, отметим, что наиболее хромитовосным и промышленно значимым является дунит-гарцбургитовый тип, в составе которого преобладают дуниты, как главные рудоносные породы гипербазитов. Именно с дунитовой составляющей в Сибири и связаны наиболее значимые и перспективные рудопоявления хромитов (рис. 1).

Хромитовая минерализация Сибирского региона

Хромитовая минерализация в гипербазитовых массивах отмечена в Алтайском и Красноярском краях, Кемеровской и Читинской областях и Республике Тыва.

Алтайский край

Здесь находится Северо-Алтайско-Салаирский (Салаирский) гипербазитовый пояс, вмещающий пять хромитовосных гипербазитовых массивов, в пределах которых находится не менее 100 мелких (от 0,5–1,0 до 10–15 км²), только один Шалапско-Белинский крупнее (около 50 км²); из них хромитовосны только пять (Успенский, Тогул-Сунгайский, Шалапско-Белинский, Верх-Аламбайский и Уксунайский) [3, 4]. Массивы приурочены к зоне влияния глубинного разлома и в пределах Салаира образуют три различных ареала: Тогул-Сунгайский, Уксунайский и Мартыново-Шалапский (рис. 2). Все массивы этих ареалов залегают в метаморфизованных вулканогенно-осадочных рифей-нижнекембрийских толщах и имеют рифей-нижнекембрийский возраст [1, 6, 8]. Подавляющая часть массивов при резко выраженной акмолитообразной форме и крутом, вплоть до вертикального, залегании имеет тектонические контакты и представляет собой протрузии.

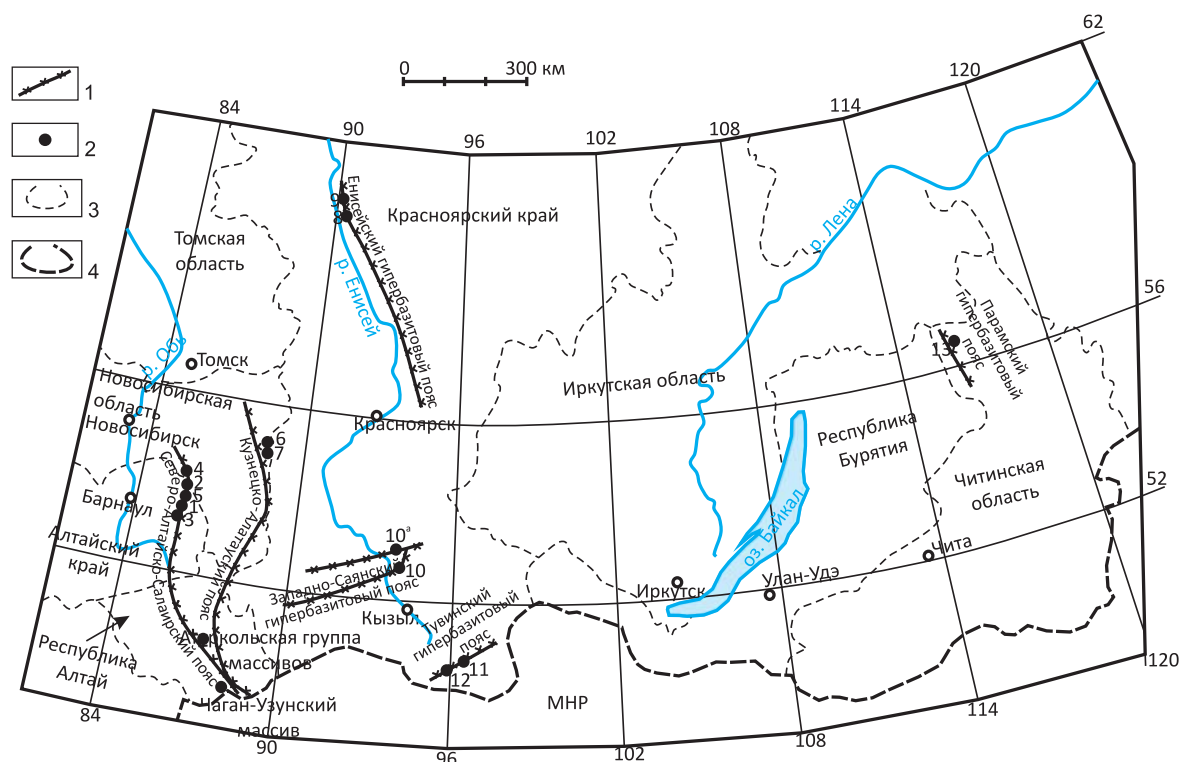


Рис. 1. Схема размещения хромитоносных гипербазитовых поясов Сибири в Сибирском федеральном округе
1 – гипербазитовые пояса; 2 – хромитоносные массивы дунит-гарцбургитовой формации: 1 – Успенский, 2 – Тогул-Сунгайский, 3 – Шалапско-Белининский, 4 – Верх-Аламбайский, 5 – Уксунайский, 6 – горы Бархатной, 7 – Среднетерсинский, 8 – Глубокинский, 9 – Березовский, 10 – Эргакский, 10^а – Калнинский, 11 – Агардагский, 12 – Улорский, 13 – Шаманский; границы: 3 – административная, 4 – государственная

В потенциальных полях мелкомасштабных съемок гипербазитовые массивы выражены по-разному. Так, в гравитационных полях они практически не проявляются, вероятно, из-за серпентинизации, понижающей их плотность до уровня вмещающих толщ. Однако в гравитационных полях крупномасштабных съемок в ряде массивов все же выделяются небольшие аномалии силы тяжести, используемые как критерии поисков дунитов – носителей хромитового оруденения.

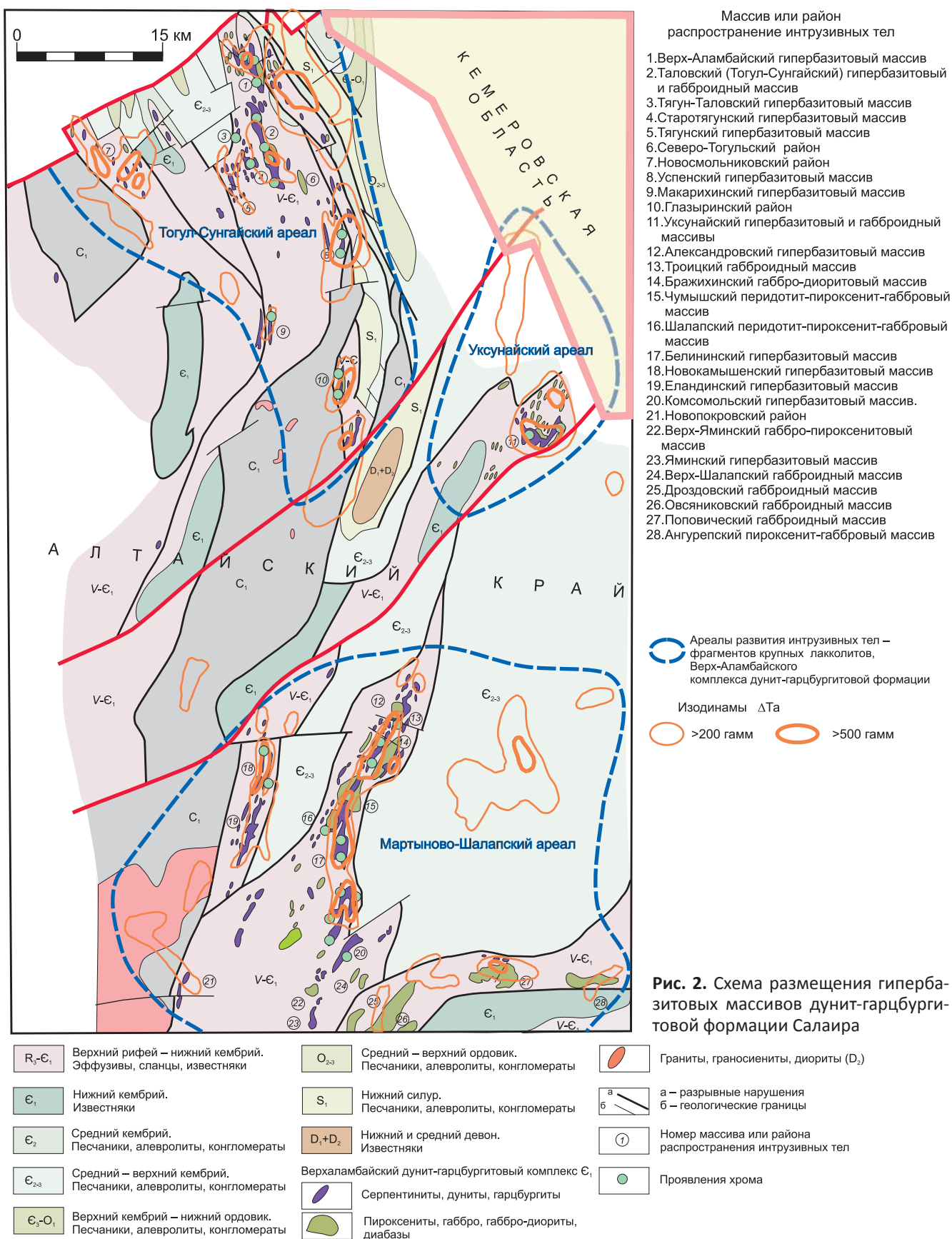
Хромитовая минерализация известна во многих, даже очень мелких массивах, но практическое значение она имеет только в указанных пяти. В результате проведенных разными организациями поисковых работ, а также выполненного в СНИИГГиМС математического моделирования гравитационных и магнитных полей, на них были определены ресурсы хромовых руд (22,62 млн т по категориям P_2 и P_3 и 0,11 млн т по категории P_1), но месторождений не выявлено.

Успенский гипербазитовый массив самый маленький (площадь 3 км², длина 6 км, ширина 0,5 км), но самый известный, так как именно в нем находится жила сливных хромитов (мощность 1–2 м, протяженность с перерывами до 200 м), вскрытая горными выработками. В нескольких скважинах на глубине 10–56 м в разных местах отмечено ее выклинивание. Тем не менее, несмотря на незначительный масштаб, на фоне других, более мелких, это рудопроявление кажется весьма привлекательным [1].

Успенский массив представляет собой типичную протрузию с крутыми тектоническими контактами. В его геологическом строении принимают участие в основном серпентиниты неопределимого состава, к которым и тяготеет хромитовое оруденение. По набору ультраосновных пород и характеру их распределения по массиву он относится к разряду дифференцированных объектов дунит-гарцбургитового СВК.

В результате работ (более 300 шурфов и 25 буровых скважин) в пределах массива выявлено пять хромитовых рудопроявлений. Оруденение представлено линейными (лентовидными) зонами, линзами мощностью не более 1 м, гнездами и шширообразными скоплениями густо- и средневкрапленных руд на площадях в первые квадратные метры. Реже встречаются сплошные руды в виде маломощных (первые сантиметры) прожилков и отдельных жил, наиболее мощная из которых (до 2 м, в раздувах до 3 м) создает известность этому рудопроявлению. В сплошных и густовкрапленных рудах содержание Cr_2O_3 изменяется от 47,63 до 51,55% ($Cr_2O_3/FeO = 2,6–2,7$ [1]), что по существующим требованиям позволяет отнести их к металлургическому типу.

Тогул-Сунгайский гипербазитовый массив также представляет собой типичную протрузию с крутыми контактами, имеет резко выраженную акмолитообразную форму. Его длина 12,5 км, ширина 0,5–1,7 км, площадь 12,5 км². По данным математического моделирования магнитного поля массив вы-



клинивается на глубине 1,5–2,0 км. Сложен аподунитовыми (40%), апогарцбургитовыми (50%) и аподиопсидовыми (10%) серпентинитами, по периферии распространены мелкие тела пироксеновых габбро. В пределах этого массива известно 28 проявлений

хромита в коренном залегании и свалах, концентрирующихся в полосе протяженностью 7 км и шириной 200–1000 м. Руды массивные и полосчато-вкрапленные, по содержанию хрома от убогих до богатых. Они слагают линзо- и жилообразные будинирован-



ные тела мощностью 0,15–1,5 м, их прослеженная протяженность до 80 м. Содержание Cr_2O_3 в массивных рудах составляет 45,8–54,6 %, во вкрапленных – 20,4–56,61 %, $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 2,5\text{--}3,3$, что определяет их принадлежность к металлургическому типу.

Существует кондиционная геологическая карта м-ба 1:10 000. Поскольку массив почти полностью задернован, она базируется на скважинных и горных выработках. Через массив проходят четыре картировочные линии из 69 буровых скважин с расстоянием между ними по линиям 20–50 м. Вне этих линий пробурены 12 скважин. Кроме того, через каждые 500 м массив пересечен 25 картировочными линиями шурфов и канав с расстоянием между выработками 40 м. На четырех детализационных участках дополнительно к основным картировочным линиям пройдено по 10 новых линий со сгущенными до 10 м выработками по ним, например, в пределах главного участка на г. Веселой, где, несмотря на столь плотную сеть горных выработок, руды в коренном залегании так и не были обнаружены, хотя в свалах они есть. Лишь в одном шурфе вскрыта жила хромитов мощностью 0,2 м и длиной 1,5 м. Только одна скважина на глубине 400 м вскрыла линзу хромитов мощностью 0,2–0,4 м (сплошные и густовкрапленные руды с содержанием окиси хрома 22,3–43,0 %), никак не выраженную на поверхности.

На всех рудопроявлениях руды в коренном залегании вкрапленного типа (от мало- до густовкрапленных), в жилах – сливные. В делювиальных свалах преобладают сливные руды. По данным горных выработок мощность вкрапленных зон до 1–2 м, редко больше, протяженность первые метры (с перерывами – первые десятки). Все рудопроявления (за исключением двух) находятся в южной половине массива, которая и считается наиболее перспективной.

Для этого массива имеются данные магнитной (1:10 000) и гравитационной съемок, которые до 2000-х гг. при его изучении не использовались, лишь в 2000–2010 гг. в СНИИГГиМС по ним выполнено математическое моделирование для наиболее перспективной южной части массива (19 расчетных профилей через 200 м). Это позволило уточнить параметры известных зон, выделить новые и показать, что рудные зоны вкрапленного типа, как и отдельные маломощные жильные тела, на глубину (100 м) не прослеживаются. С использованием материалов предыдущих геолого-поисковых работ и данных математического моделирования ресурсы хромовых руд этой части массива определены в 4,02 млн т.

Шалапско-Белининский гипербазитовый массив является самым крупным на Салаире (около 50 км² вместе с телами габброидов). Он вытянут, как и все массивы Салаира, в околомеридиональном направлении на 25 км и имеет ширину от 0,8 до 4,0 км, пережимом разделен на две части – северную белининскую и южную шалапскую. Массив полностью перекрыт рыхлыми отложениями, под которыми на большей части массива развита кора

выветривания мощностью до 50 м, представленная охристо-глинистыми образованиями, содержащими небольшое по масштабу кобальт-никелевое месторождение.

Массив сложен серпентинизированными гипербазитами дунит-гарцбургитового СВК, среди которых наиболее развиты аподунитовые, апогарцбургитовые серпентиниты при подчиненном количестве вебстеритов, энстатитов, лерцолитов, клинопироксенитов и некоторых других разновидностей пород, соответствующих этому СВК. Широко распространены габброиды, которые в шалапской части слагают небольшие тела внутри гипербазитов, а в белининской развиты значительно шире и в количественном отношении даже преобладают над гипербазитами, слагая отдельные крупные тела.

Если другие массивы Салаира имеют вид вертикальных клиньев (протрузий), то Шалапско-Белининский по данным моделирования потенциальных полей имеет вид лополита толщиной 1,0–1,5 км, едва начавшего вскрываться эрозионным срезом. Весь массив перекрыт рыхлыми отложениями мощностью до 10 м, под которыми на большей его части развита кора химического выветривания с кобальт-никелевым оруденением, известным как Белининское месторождение. На глубине она постепенно переходит в серпентиниты массива.

В белининской части массива известно единственное коренное проявление хромитов на поверхности, представленное двумя разобщенными на 500 м выходами хромитовых руд с содержанием Cr_2O_3 по четырем пробам от 29,42 до 58,46 % при мощности рудных тел до 1,5 м. Считается, что оба выхода рудных тел принадлежат единой рудной зоне, однако скважинами, пробуренными под нее, это не подтверждено.

Шалапско-Белининский массив специально на хромитовую минерализацию не изучался, поскольку для этого не было особых предпосылок, и все сведения о его хромитоносности получены попутно при изучении развитой на нем коры химического выветривания. При разведке коры выветривания в пределах массива было пробурено 2186 скважин 50–70 м (единичные до 200–300 м, одна даже 600 м) общим объемом 221162 пог. м. Все скважины проходили сквозь кору выветривания и углублялись в серпентиниты массива. Вкрапленность хромита по керну колеблется в пределах 0,01–4,0 %, только в единичных скважинах повышается до 5–10 и даже 30 %. Оценивая вкрапленность хромита в кернах скважин, следует учесть следующее. Лишь в нескольких десятках из 2186 скважин отмечается редкая (5–10 %) вкрапленность хромита, которая может представлять лишь минералогический интерес, а в 32 скважинах – «заметная» (по словам производителей) (10–30 %), что частично может соответствовать убогим рудам. Рудная зона вскрыта в единственной скв. 742 (мощность в скважине 12 м, вкрапленность хромита до 30–50 %). Несмо-



тря на казалось бы отрицательные результаты проведенных работ, хромитовый потенциал этого массива оценивался достаточно высоко – в 36 млн т до глубины 100 м, поскольку вкрапленность хромита в среднем 10–12 % (убогие руды), установленная в 32 скважинах, распространена на площади 12 км².

В СНИИГГиМС на базе ранее проведенных гравиметрических съемок м-ба 1:10 000–1:25 000 было выполнено математическое моделирование по ранее выделенным перспективным площадям по 20 расчетным профилям на всем массиве. Ресурсы убогих руд составили 10,46 млн т.

Верх-Аламбайский гипербазитовый массив представляет собой линейное тело длиной 7 км, шириной от 0,75 до 2,0 км, общей площадью 3,5 км². Он сильно задернован, мощности четвертичных отложений до 10 м. Однако по бортам пересекающей его р. Степной Аламбай в центральной и северной частях он хорошо обнажен. Выявлен магнитометрической съемкой, изучался в 1962 г. только скважинами (398,7 пог. м) и шурфами (всего 109). Сотрудниками СНИИГГиМС на основании данных моделирования по потенциальным полям установлено, что массив имеет клинообразную форму и выклинивается на глубине 1,0–1,5 км. В его строении принимают участие серпентиниты и в резко подчиненном количестве пироксениты, слагающие небольшие участки. Среди серпентинитов выделяются аподунитовые, апогарцбургитовые и серпентиниты неопределимого состава. В коренных обнажениях видно, что южная его часть, вмещающая рудопроявления хромита, сложена полосчатым дунит-гарцбургитовым серпентинизированным комплексом. Проявления хромитовой минерализации отмечаются в коренном залегании в нескольких точках в центральной и южной частях массива. Так, в левом борту долины р. Степной Аламбай в обнажениях среди аподунитовых серпентинитов встречены полосчато-вкрапленные бедные руды. Видимая мощность хромитоносных зон от 40–70 см до 1,5–2 м. Внутреннее их строение характеризуется чередованием полос (мощностью 5–10 см) густой и редкой вкрапленности хромита с полосами безрудного серпентинита (мощностью до 30 см). В одном шурфе вскрыты густовкрапленные полосчатые руды мощностью 0,3 м, в них содержится 55,33 % Cr₂O₃, 10,6 % FeO и 18 % Fe₂O₃. В южной оконечности массива в двух скважинах в интервалах 46,9–47,0 и 42,1–42,2 м среди аподунитовых серпентинитов встречены полосчатые руды. Экспертная оценка ресурсов массива менялась от 1 до 5 млн т, а наиболее приемлемая – 2,0 млн т.

Уксунайский гипербазитовый массив расположен на северо-восточном окончании Салаирского гипербазитового пояса и представлен четырьмя сближенными телами общей протяженностью 7,0 км, шириной 1–2 км. Наиболее крупное тело (3,0×1,0 км) слагает северо-западную часть массива и считается наиболее перспективным на хромитовое оруденение. С поверхности массив сложен

серпентинитами неясной природы, среди которых в виде небольших участков устанавливаются аподунитовые и апогарцбургитовые разности. Массив изучался лишь на силикатные руды никеля в коре выветривания, для чего были пройдены 142 шурфа.

На массиве обнаружены серпентиниты с вкрапленностью хромшпинелидов (Cr₂O₃ до 26,95 %), редко линзы и гнезда сплошных и густовкрапленных руд (Cr₂O₃ до 53,17 %). На площади массива известны самые высокие среди хромитоносных массивов Салаира шлиховые ореолы (0,3–1,0 % хромшпинелидов), что подтверждает его потенциальную рудность. Кроме того, все исследователи подчеркивают, что Уксунайский массив отличается наличием высоких магнитной (1500 нТл) и гравитационной (12 мГл) аномалий, при этом последняя – одна из самых крупных на Салаире, ее ширина 500 м, а амплитуда Δg локальной аномалии составляет 3 мГл, в то время как на Успенском хромитоносном массиве – всего 0,45 мГл. Анализируя эти данные, А. Ф. Быч [1] с соавторами пришли к выводу, что эта аномалия вызвана значительными концентрациями хромитовых руд, однако ее природа далеко не ясна и она может быть связана с титаномагнетитовыми или железными рудами. Тем не менее ее наличие стало решающим в положительной оценке перспектив хромитоносности массива. Экспертным путем ресурсы массива на хромиты оценены в 5,0 млн т.

Кемеровская область

Здесь находится Кузнецко-Алатауский гипербазитовый пояс, являющийся восточной ветвью Северо-Алтайско-Салаирского пояса [6]. В его пределах известно несколько гипербазитовых массивов, из которых хромитоносны два наиболее крупных – Бархатный и Среднетерсинский, расположенные в крайней северной части.

Бархатный гипербазитовый массив – акмолитообразное тело меридионального (согласного с вмещающим его глубинным разломом) простирания протяженностью 28 км, шириной 2–3 км, площадью 34 км² [5]. Это типичная протрузия с крутыми тектоническими контактами. Для всего массива, особенно приконтактных его частей, характерна интенсивная брекчированность, местами рассланцевание. Вмещающие породы – метаморфические сланцы и известняки верхнепротерозойско-нижнекембрийского возраста, а в северо-западной части – красноцветные девонские породы.

В северной половине массив преимущественно сложен в разной степени серпентинизированными дунитами, в южной – гарцбургитами [8]. Для массива характерно полосчатое строение с ориентировкой полос согласно удлинению массива. Специально на хромитовую минерализацию массив не изучался. При геологической съемке м-ба 1:200 000 были выявлены три коренных рудопроявления хромита, в нескольких местах – обломки хромитовых руд. Все рудопроявления приурочены к центральной и южной

частям массива, а в их пределах – к дунитовым и дунит-гарцбургитовым ядрам. Рудопроявления представлены зонами вкрапленности (в том числе густой):

- рудопроявление № 1 – мощность 0,3–1,4 м, содержание Cr_2O_3 35–52 %;
- рудопроявление № 2 – сближенные жилки мощностью 5–15 см, образующие общую зону мощностью до 40 см, содержание Cr_2O_3 16,42–23,82 %;
- рудопроявление № 3 – зона вкрапленных руд протяженностью 7 м, мощностью 1,5 м, содержание Cr_2O_3 от 16,78 до 48,3 %.

М. Я. Галушко определил прогнозные ресурсы в 110 млн т, В. С. Мурзин и Д. П. Николаев – в 30 млн т; в Госбалансе было зафиксировано 15 млн т по категориям P_2 и P_3 –5 и 10 млн т соответственно; по оценке СНИИГГиМС – 33,5 млн т (по категориям P_2 и P_3 2,3 и 31,2 млн т соответственно).

Среднетерсинский гипербазитовый массив – самый крупный в регионе (50 км²). В плане он имеет форму серпа шириной от 0,2 до 4,5 км с общей длиной дуги 35 км (рис. 3) [5]. По данным моделирования потенциальных полей на глубине 0,5–1,0 км его серповидная форма замыкается и он приобретает овальную форму, удлинённую согласно региональной структуре. Массив сложен дунитами и оливинитами, оливин-антигоритовыми породами, гарцбургитами, разнообразными серпентинитами и принадлежит к дунит-гарцбургитовому СВК. Дуниты и оливиниты слагают многочисленные ядра, самое крупное имеет площадь около 8,0 км². Вскрыт скважиной глубиной 700 м и речной сетью на ту же глубину. В совокупности с данными моделирования это позволяет определить его глубину в 1400 м.

При геологических и поисковых работах в пределах массива как в коренном залегании, так и свалах установлено почти два десятка рудопроявлений, большая часть из которых тяготеет к полям развития дунитов и их серпентинизированных разновидностей. Наиболее интересные рудопроявления были определены как перспективные участки. В коренном залегании оруденение представлено прожилково-вкрапленным типом в зонах мощностью 1–2 м, редко жилками хромита протяженностью от 1 до 10–15 м среди полос его вкрапленности. Концентрация хромита от убогой (первые проценты Cr_2O_3) до высокой (до 50–55 %), в жилках еще выше. В рудопроявлениях, представленных свалами, кроме вкрапленных руд присутствуют обломки сливных. Наиболее крупное и перспективное рудопроявление находится на участке Становом [5], где с целью его оценки проводились горные и буровые работы. Расчисткой была вскрыта рудная зона прожилково-вкрапленных руд мощностью 9 м, прослеживаемая на 20 м, с содержанием Cr_2O_3 по 9 пробам 16,26 %; в ней, кроме бедных вкрапленных руд, имеются сливные прожилки хромитов и одна жила мощностью 1,0 м. Пробуренная здесь скважина вскрыла в нескольких интервалах (последний – 483,0–503,0 м) полосчатые, густовкраплен-

ные и прожилково-вкрапленные руды. В. С. Мурзин и А. П. Николаев в 1998 г. оценили прогнозные ресурсы всего Среднетерсинского массива в 50 млн т (в том числе участка Станового 10,0 млн т); сотрудники СНИИГГиМС в 2010 г. – в 28,8 млн т.

Красноярский край

Хромитоносные массивы известны на Енисейском кряже и Западном Саяне.

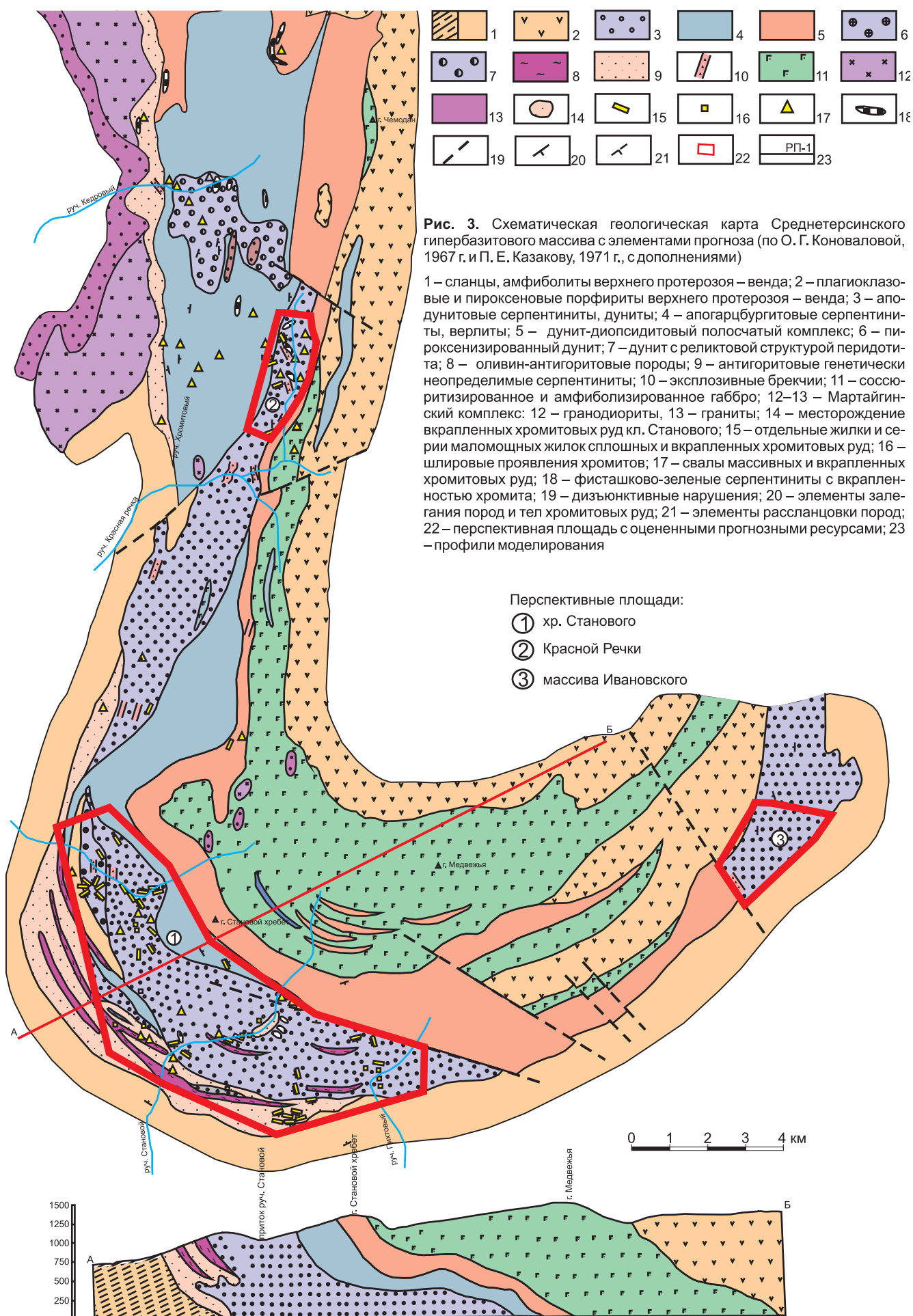
В пределах северо-западной части **Енисейско-го кряжа** В. А. Кузнецовым [6] был выделен *Енисейский гипербазитовый пояс* протяженностью 200 км, содержащий около 30 мелких (протяженностью 1–3 км) гипербазитовых массива и два наиболее крупных хромитоносных массива: Березовский и Глубокинский. Контакты гипербазитовых массивов с вмещающими вулканогенно-осадочными породами тектонические. По данным Т. Я. Корнева, оба хромитоносных массива относятся к дунит-гарцбургитовому СВК, представленному сильно серпентинизированными гарцбургитами, лерцолитами, верлитами и дунитами.

Глубокинский гипербазитовый массив геологически является южным продолжением Березовского и располагается вдоль правобережья р. Енисей, образуя параллелограмм (длиной 10 км, шириной около 5 км), обрезанный разломами северо-западного направления. Он, так же как и Березовский, представлен различными ультрабазитовыми породами с разнообразной хромитовой минерализацией (преобладает вкрапленная, но встречаются и участки сливных руд).

Наиболее детально этот массив, как и Березовский, изучался Т. Я. Корневым, который в его составе выделил три наиболее перспективных участка (Западный, Центральный и Восточный) и оценил их суммарные прогнозные ресурсы в 3,1 млн т. По оценке СНИИГГиМС с привлечением дополнительных данных по математическому моделированию потенциальных полей ресурсы составили 8,48 млн т.

В целом, по указанным массивам прогнозные ресурсы хромитовых руд металлургического типа могут быть увеличены за счет Березовского, большая часть которого уходит под русло р. Енисей. Оба массива остались недоразведанными, хотя и характеризуются отдельными проявлениями и обломками богатых массивных хромитовых руд.

Березовский гипербазитовый массив длиной более 10 км находится в северной части гипербазитового пояса. По геофизическим данным большая его часть располагается под руслом р. Енисей, лишь частично (на площади 7 км²) – в его правобережной части, где он обнажается в бортах ручьев, впадающих в Енисей. В строении массива принимают участие породы апогарцбургитового состава. В них отмечены полосы аподунитов шириной 3–5 м, судя по данным бурения, с глубиной расширяющиеся до 20 м и более. К ним приурочено хромитовое оруде-



нение. Хромитоносность Березовского массива характеризуется шестью рудопроявлениями – тремя в коренном залегании и тремя в свалах. Коренные рудопроявления представлены линзами вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд хромитов небольших размеров (0,4×1,5; 1,0×1,2 и 0,4×3,2 м) с содержанием Cr_2O_3 от 36,6 до 47,5 %. Т. Я. Корневым объединил их в одну рудоносную зону с прогнозными ресурсами 13,76 млн т по категории P_3 .

В **Западном Саяне** находится Западно-Саянский гипербазитовый пояс, представленный двумя сходящимися ветвями – северной Северо-Саянской (280 км) и южной Куртушибинской (250 км). По данным Г. В. Пинуса и Ю. Н. Колесника [8], пояс содержит около 80 гипербазитовых массивов мелких (первые квадратные километры) и несколько крупных (до 150 км²). Слабая хромитоносность свойственна многим массивам, особенно крупным, где она представлена зонами вкрапленности, шлирами, гнездами, жилками и прожилками, не представляющими промышленного интереса. Промышленно значимая минерализация установлена только в двух хромитоносных массивах – Эргакском и Калининском, где она изучалась с применением горно-буровых работ.

Эргакский массив имеет овальную форму, размер его 14×8 км, площадь 85 км². Относительно протяженности массива на глубину и, следовательно, его объемной формы, однозначных данных нет.

Так, по мнению С. Г. Катанова, занимавшегося его изучением, массив имеет вид пологой (почти горизонтальной) чешуи мощностью 1–2 км, а по данным сотрудников СНИИГГиМС, полученных по материалам математического моделирования гравитационного поля, – грибообразную форму с подводящим каналом в центральной части массива, уходящим на глубину более 5 км (рис. 4). Эти разногласия прямо влияют на оценку его перспектив. Если его форма грибообразная, то на оруденение перспективна центральная часть (над подводящим каналом, где и находится большинство известных рудопроявлений), а если чешуйчатая, то перспективна практически вся его площадь, в том числе и периферийная, где известны единичные рудопроявления. Особенностью этого массива является развитие вдоль его краевой части серпетинитового меланжа, местами шириной до 300 м, что и послужило основанием для определения формы массива как пологой чешуи.

Строение массива четко выраженное концентрически-зональное, поскольку от периферии к центру он последовательно сложен полосами (зонами) гарцбургитов (600–800 м), дунитов (350–600 м), снова гарцбургитов (400–450 м) с линзами дунитов, ритмичным переслаиванием дунитов и апоперидотитов (70–130 м) и гарцбургитов (230–420 м). По сравнительно однородному дунит-гарцбургитовому составу массив относится к соответствующему СВК с дунитовыми хромитоносными горизонтами.

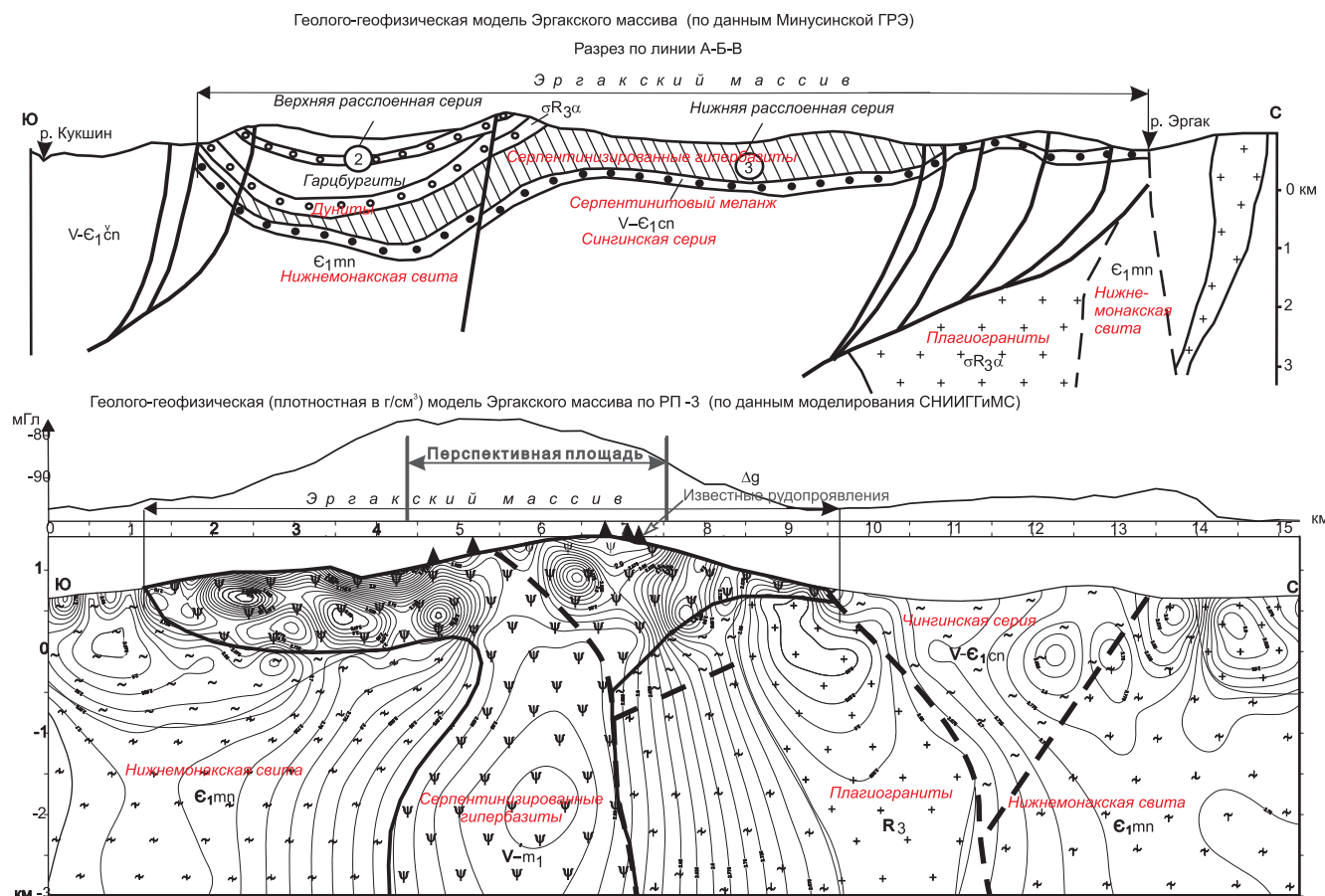


Рис. 4. Геолого-геофизические модели Эргакского массива по данным Минусинской ГРЭ и СНИИГГиМС



В пределах Эргакского массива выявлено пять проявлений и 17 пунктов хромитовой минерализации с прожилково-вкрапленными рудами (Cr_2O_3 59,22–60,0%). Массив оценивался по результатам горных работ и крупномасштабных магнитных и гравиметрических съемок, по материалам которых выполнено моделирование потенциальных полей.

Для руд в коренном залегании ресурсы по категориям P_2+P_3 в составляют 7,03 млн т, а для валунчатых по категории P_1 – 6,0 тыс т.

Калнинский гипербазитовый массив имеет слабо вытянутую в широтном направлении форму. Его протяженность 17 км, ширина до 6,5 км, площадь 80 км². Массив сложен серпентинизированными гарцбургитами (45–50%), дунитами (15–20%) и апоперидотитовыми серпентинитами (30–35%) антигоритового и хризотил-антигоритового состава. В его пределах выделено восемь рудопроявлений в коренном залегании и около 10 точек минерализации. Рудные тела имеют жило- и линзообразные формы, протяженность до 5, редко 10 м; они, как правило, сближены и группируются в зоны шириной 5–10 м и протяженностью 50–150 м. Массив оценивался по материалам горно-буровых работ: 0,39 млн т по категории P_1 , 4,32 млн т по категории P_2 .

Республика Тыва

Здесь имеется несколько гипербазитовых по- ясов, среди которых в настоящее время перспек- тивным на хромитовое оруденение промышленного типа считается только один – **Южно-Тувинский**, который протягивается в виде полосы шириной 20–25 км на расстояние около 100 км, продолжа- ясь в МНР. В нем насчитывается 26 гипербазитовых массивов площадью от 1,0 до 40,0 км², имеющих резко вытянутые формы и крутые тектонические контакты. Хромитовая минерализация известна во всех крупных массивах, представленных шлировид- ными гнездами и единичными (1,5–10 см) жилками хромита. Наиболее полно она проявлена в Агардаг- ском и Улорском хромитоносных массивах.

Агардагский гипербазитовый массив имеет клиновидную форму, его длина 20 км, максималь- ная ширина 4 км, площадь 31 км² [2]. В строении массива принимают участие перидотиты (доми- нируют), дуниты и гарцбургиты обычно в разной степени серпентинизированные, пироксениты, листвениты и родингиты. Дуниты распространены достаточно широко – до 30% площади массива. Ду- ниты и гарцбургиты присутствуют совместно, об- разую полосчатый дунит-гарцбургитовый комплекс в виде полос шириной до нескольких метров, обычно с повышенной вкрапленностью хромита. Родингиты и листвениты также развиты достаточно широко, особенно в зонах дробления, где слагают тела мощностью десятки или даже сотни метров. Это тяжелые породы, которые определяют грави- тационные аномалии, по интенсивности неотличи- мые от аномалий хромитовых тел, что значительно

затрудняет поиски последних на глубине. Так, по данным бурения все глубинные (до 300 м) грави- тационные аномалии связаны с родингитами или лиственитами.

Хромитоносность массива изучалась в не- сколько этапов в 1976–2010 гг. с применением горно-буровых работ. Как следует из результатов работ, основными рудовмещающими породами являются дуниты или аподунитовые серпентиниты, входящие в состав полосчатого дунит-гарцбургито- вого СВК. При северо-восточной ориентировке зон часто отмечается несогласная, поперечная ориен- тировка в них отдельных тел, определяемая резко выраженными поперечными зонами тектонических брекчий. Ю.С. Александровский [2], изучавший этот массив, выделил три пересекающие его субпа- раллельные тектонические рудоконтролирующие зоны. Из них наиболее перспективна центральная, вмещающая основную часть известных рудопроя- влений. В пределах Агардагского массива извест- но 120 рудопроявлений хромита (74 в коренных породах и 46 в свалах). Из коренных рудопрояв- лений только 15 достигают в длину 10 м и более (до 90 м, в одном случае – 160 м); протяженность всех остальных от 2 до 10 м. На глубину буровыми скважинами изучались лишь единичные рудопроя- вления, на которых, наряду с пустыми, есть под- сечения рудных тел на глубинах до 80 м. Хроми- товая минерализация прослеживается не только в скважинах, но и в рельефе (во врезанных логах) в вертикальном направлении до 100 м. Орудене- ние прожилково-вкрапленного типа представлено гнездами и шлирами хромита с содержанием Cr_2O_3 от 10 до 30–35%, а при наличии среди вкрапленных зон жилок хромита (1,0–2,0 м) – до 50–55%. Рудо- проявления массива изучались по материалам гор- но-буровых работ и крупномасштабных магнитных и гравитационных съемок.

В результате в основном в центральной рудо- контролирующей зоне выделено несколько пер- спективных участков, сделаны рекомендации по их доизучению. Каждый этап изучения хромитонос- ности массива заканчивался оценкой прогнозных ресурсов, весьма разной у разных исследователей. Первоначально они определялись в 30 млн т; до глубины 300 м в 1961 г. – 63,0 млн т и в 1965 г. – 20,0 млн т; до глубины 20 м – 0,14. Министерством геологии в 1993 г. учтены ресурсы в 5,0 млн т, но через пять лет они были сняты с учета. Последняя оценка проведена Красноярским геологическим управлением до глубины 20 м (1,272 млн т по ка- тегории P_1) и 200 м (17,315 млн т по категории P_2).

Читинская область

Парамский гипербазитовый пояс включает три хромитоносных гипербазитовых массива – Ша- манский (110 км²), Парамский (80 км²) и Келянский (14 км²). Наиболее перспективен и наиболее изучен Шаманский.



Прогнозные ресурсы хромовых руд Сибири (по данным СНИИГГИМС, 2010 г.)

Массив	Площадь массива	Глубина оценки, м	Содержание Cr ₂ O ₃	Главный тип руд	Ресурсы по категориям, млн т			
					P ₁	P ₂	P ₃	P ₁ +P ₂ +P ₃
Алтайский край								
Успенский	3,0	300	39—59	Металлург.	0,11	1,63	—	1,74
Тогул-Сунгайский	12,5	300	23—54	—	—	4,02	—	4,02
Шалапско-Белининский	50,0	300	12,0	—	—	10,46	—	10,46
Верх-Аламбайский	3,5	300	8,57	—	—	2,0	—	2,0
Уксунайский	3,0	300	27,53	—	—	—	5,0	5,0
Кемеровская область								
г. Бархатной	34,0	300	17—46		—	2,3	31,2	33,5
Среднетерсинский	50,0	300	38—51		—	15,23	13,57	28,8
Красноярский край								
Глубокинский	35,0	300	13—30	Металлург.	—	—	15,53	15,53
Березовский	30,0	300	49,0	—	—	—	13,76	13,76
Западный Саян								
Эргакский	100,0	300	13,53	Металлург.	0,006	1,21	2,85	4,07
Калнинский	80,0	300	12—40	—	0,39	4,22	—	4,6
Республика Тыва								
Агардагский	31,0	300	27—53	Металлург.	1,27	17,32	2,88	4,32
Читинская область								
Шаманский	110,0	300	38,5	Металлург.	—	3,0	40,0	43,0
Всего					1,78	61,39	121,91	185,07

Примечание. Данные приведены без учета Калнинского массива Западного Саяна, который находится в стадии изучения; его ресурсы оценивались до глубины 300 м по категории P_1 в 392,0 тыс т с перспективой увеличения до 10 млн т.

Шаманский гипербазитовый массив имеет овальную форму, его длина 26 км, ширина до 6 км, площадь 110 км². В рельефе он представляет собой обособленный хребет с превышениями более 1800 м над уровнем р. Витим. Сложен главным образом гарцбургитами, серпентинизированными в различной степени (до 70%) с участками развития аподунитовых серпентинитов, образующих с гарцбургитами полосчатый дунит-гарцбургитовый комплекс. Форма массива на глубине клиновидная, он ограничен крупными тектоническими контактами с падением под массив. В северной и южной частях выделены два перспективных участка, поскольку там отмечены рудопроявления хромита в коренном залегании и свалах. На северном участке в поле развития полосчатого дунит-гарцбургитового комплекса установлено 10 рудопоявлений хромита, представленных прожилками, линзами, жилами и гнездами хромита мощностью до 20 см. Наиболее крупное рудопоявление имеет протяженность до 500 м, среднюю мощность 2,0 м; оно насыщено хромитовыми жилами. Руды массивные с содержанием Cr_2O_3 по 12 шурфовым пробам от 23,8 до 49,5%, в среднем 38,5%, $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,8$. Южный участок представлен одной зоной хромитовой вкрапленности (до 10 м), которая прослежена на 1500 м. Другие рудопоявления представлены как вкрапленными, так и массивными рудами, часто с глобулярной текстурой.

Прогнозные ресурсы хромитовых руд определяются по-разному, однако наиболее приемлемы-

ми оценками представляются 3,0 млн т по категории P_2 и 40,0 млн т по категории P_3 .

Сводка по ресурсам хромовых руд Сибири в пределах СФО приведена в таблице.

Выводы

В Сибирском федеральном округе находится более 15 гипербазитовых поясов, вмещающих несколько сотен (не менее 700) гипербазитовых массивов. Подавляющая часть массивов мелкие, протяженностью 2–10 км, площадью 5–10 км² и лишь единичные массивы имеют площадь до 100 км².

1. Хромитовая минерализация в Сибири связана с альпинотипными гипербазитами дунит-гарцбургитовой формации, а внутри нее – в основном с дунит-гарцбургитовым СВК. Минерализация, представляющая лишь минералогический интерес, известна во многих массивах, однако хромитоносны и перспективны на выявление хромитовой минерализации промышленного типа только 13, на которых в основном и были сосредоточены геолого-поисковые работы.

2. Изученность даже этих 13 массивов на хромитовую минерализацию, за исключением единичных случаев, низкая. Так, из более чем 400 рудопоявлений хромитов практически ни одно в должной мере не изучено, не разведано; не подготовлено ни одного объекта для постановки геолого-разведочных работ и, как следствие, не выявлено ни одного месторождения, хотя для этого есть предпосылки.



Рудные ресурсы из-за слабой изученности объектов определялись в основном методом экспертных оценок и поэтому значительно (в разы) различаются, что не позволяет оценить практическую значимость объекта и определяет весьма осторожный подход к этим оценкам.

3. Выполненная нами оценка ресурсов хромовых руд Сибири на основе обобщения и анализа предыдущих геолого-разведочных работ с использованием математического моделирования, значительно отличается от существующей; мы считаем, что ресурсов меньше в 2 раза и более: не 400 млн т (по данным геолкомов), а до 185 млн т, к тому же значительная их часть из более высокой категории P_2 переведена в более низкую P_3 . Наибольшие изменения в наших оценках ресурсов связаны с использованием математического моделирования гравитационных и магнитных полей, как, например, для Успенского, Шалапско-Белининского и Тогул-Сунгайского массивов.

4. Хромитовая минерализация в гипербазитовых массивах представлена шлирами, зонами вкрапленности (от редко- до густовкрапленных) и жилами сливных руд. Размер шлиров исчисляется первыми десятками сантиметров, редко первыми метрами, мощности зон вкрапленности – от десятков сантиметров до первых метров, протяженность – метры, иногда первые десятки метров, лишь в единичных случаях первые сотни метров. При этом чем больше мощность и протяженность зон вкрапленности, тем беднее в них руды. Так, в зонах вкрапленности мощностью десятки сантиметров и протяженностью в первые метры руды могут быть от бедно- до густовкрапленных, а в зонах мощностью 2–3 м и протяженностью до 10 м – только бедно- или средневкрапленные с содержанием Cr_2O_3 до 5–10, участками 25–30%. Жильный тип, представленный сплошными богатыми рудами с содержанием Cr_2O_3 до 45–50%, распространен широко и присутствует почти на всех рудопроявлениях в виде прожилков, жилок и жил мощностью от первых сантиметров до 0,5–1,0 м, редко 1,5 м и лишь в единичных раздувах жил до 2,5 м, а протяженностью – от первых метров, с перерывами – до первых десятков метров.

5. На всех изученных 13 массивах рудные тела представлены как густовкрапленными богатыми, так и средне- и убоговкрапленными рудами мощностью не выше 1,5–2,0 м при протяженности в первые десятки метров, а с перерывами – до 250 м. Ресурсы по категории P_1 оценены только на четырех массивах: Успенском (0,11 млн т), Калнинском (0,39 млн т), Эргакском (0,006 млн т), Агардагском (1,27 млн т), суммарно 1,78 млн т, а ресурсы по категории P_2 – 61,39 млн т. По категории P_3 , отражающей не столько реальные ресурсы, сколько возможные масштабы оруденения, они оценены в 121,91 млн т.

6. По существующей классификации месторождений хромовых руд в Сибири можно ожидать выявление мелких или средних месторождений с запасами 0,1–0,5 млн т, возможно до 1–2 млн т, в первую очередь в пределах уже известных хромитовых массивов. Обнаружение мелких месторождений хромовых руд возможно практически на всех хромитовых массивах, однако наиболее перспективны Эргакский, Калнинский в Западном Саяне, Среднетерсинский в Кузнецком Алатау, Успенский и Тогул-Сунгайский на Салаире, Агардагский в Тыве.

7. Учитывая недостаточную изученность хромитовой минерализации Сибири, необходимо продолжить исследование всех известных массивов, в первую очередь наиболее перспективных, на Салаире, Западном Саяне и в Республике Тыва с обязательным применением моделирования потенциальных полей, обеспечивающего прогнозирование на глубину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быч А.Ф., Тараканов К. В., Кизилев Е. И. Хромитовосность гипербазитов Салаира // Руды и металлы. – 1998. – № 2. – С. 16–22.
2. Государственная геологическая карта РФ, лист М-46; 1:1000 000; серия Алтае-Саянская / под ред. Б.А. Блюмана, Ю.С. Глухова. – Красноярск: Красноярскгеолсъемка, 2008.
3. Долгушин С. С., Садур О. Г., Марков В. В. Перспективы создания базы хромового сырья в Сибири // Междунар. науч. конф. «Офиолиты: геология, петрология, металлогения и геофизика». – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. – С. 265–268.
4. Долгушин С. С., Садур О. Г., Марков В. В. Строение Салаирского гипербазитового пояса по данным моделирования потенциальных полей и перспективы хромитовой минерализации // Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока Сибири. Т. II. – Томск, 2000. – С. 81–82.
5. Коновалова О. Г., Прусевиц Н. А. Дунит-гарцбургитовые массивы Кузнецкого Алатау и Салаира. – Новосибирск: Наука, 1977. – 166 с.
6. Кузнецов В. А. Гипербазитовые пояса Алтае-Саянской горной системы // Докл. АН СССР. – 1948. – Т. 60 – С. 269–272.
7. Перевозчиков Б. В. Закономерности локализации хромитового оруденения в альпинотипных гипербазитах (на примере Урала) // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений твердых полезных ископаемых: обзорная информация. – 1995. – № 7. – С. 1–46.
8. Пинус Г.В., Колесник Ю. Н. Альпинотипные гипербазиты юга Сибири. – М.: Наука, 1966. – 211 с.

© С. С. Долгушин, В. В. Жабин,
И. Ю. Лоскутов, О. Г. Садур, 2017