

Опоискованность Норильского района и возможности открытия в нём новых Pt-Cu-Ni месторождений

А.П.ЛИХАЧЕВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

После обнаружения в 1960 г. Талнахской, а затем Хараелахской интрузий с уникальными по количеству и качеству Pt-Cu-Ni рудами в Норильском районе не были выявлены промышленные объекты подобного типа, несмотря на активное и обширное выполнение поисковых работ. Возможные причины этого и перспективы открытия новых месторождений рассматриваются в данной статье.

Ключевые слова: Норильский район, рудоносные интрузии, поиски и открытия Pt-Cu-Ni месторождений.

Лихачев Александр Петрович
доктор геолого-минералогических наук



alexanderlikhachev@rambler.ru

Searches-exploratory knowledge of the Norilsk region and the possibility of discovering new Pt-Cu-Ni deposits in it

A.P.LIKHACHEV (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

After the Talnakh and then Kharaelakh intrusions were discovered in 1960 with unique Pt-Cu-Ni ores in terms of quantity and quality, industrial facilities of this type were not detected in the Norilsk region, despite the extensive and wide search operations. Possible reasons for this and the prospects for discovering new deposits are discussed in this article.
Key words: Norilsk region, ore-bearing intrusions, searches and discoveries of Pt-Cu-Ni deposits.

Известные в Норильском районе рудоносные интрузии и связанные с ними Pt-Cu-Ni месторождения (рис. 1) практически все (за исключением Хараелахской) имели выход на дневную поверхность и были обнаружены в обнажениях. Хараелахская интрузия находится в тесной ассоциации с Талнахской, и потому её открытие тоже является результатом изначально маршрутных поисков. Другие (слаборудоносные и безрудные) известные в районе интрузивные тела также в основном были выявлены по их выходам на дневную поверхность или под четвертичные отложения.

Практика показала, что с открытием Талнахского и Хараелахского (Октябрьского) месторождений исчерпались возможности обнаружения новых рудных объектов поверхностными поисками. К этому времени большая часть территории района была достаточно полно исследована маршрутными работами и сравнительно неглубоким бурением скважин.

В дальнейших поисках стало выполняться бурение более глубоких скважин. На рис. 2 в качестве примера приведена уменьшенная копия геологической карты масштаба 1:50 000 с пробуренными и намеченными к бурению скважинами. Она была приложена к «Проекту детальных поисков сульфидных медно-никелевых руд в центральной части Норильской мульды (Междуречье Чибичете–Южный Ергалах) на 1981–1984 гг.».

На карте видно, что одна часть пробуренных и намечаемых к бурению скважин находится около и в пределах известных рудоносных интрузий (Норильск I, Черногорская и Норильск II), другая привязана к гравитационным и магнитным аномалиям, третья размещена произвольно, а четвертая распределена по профилям, частично располагаясь в пределах и на продолжении профилей более раннего бурения. Аномальные площади относительно небольшие, в основном имеют округлые очертания. Проектируемые на них

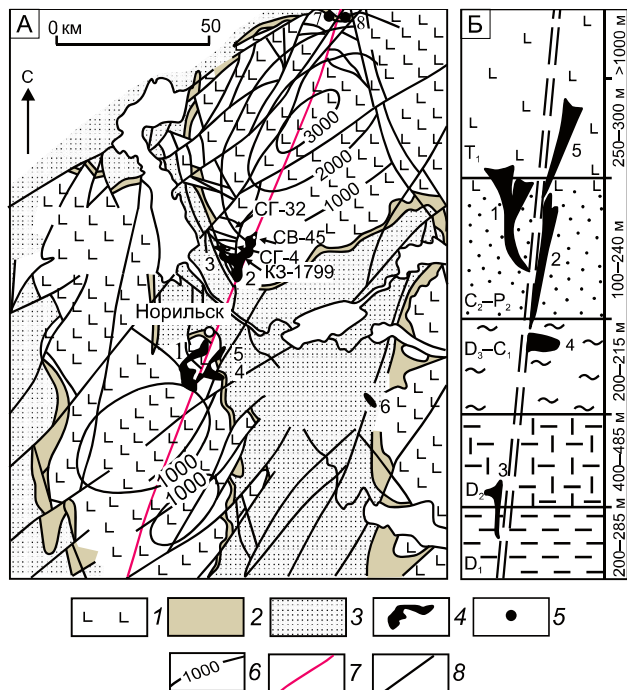


Рис. 1. Геологическая схема Норильского района и размещение в нём рудоносных и некоторых сульфидоносных интрузий (А) и уровни локализации основных рудоносных интрузий (Б):

1 – платобазальты; 2–3 – осадочные породы: 2 – тунгусской серии, C_2 – P_2 , 3 – верхнего девона–нижнего карбона; 4 – рудоносные интрузии (1 – Норильск I, 2 – Талнахская, 3 – Хараелахская, 4 – Черногорская, 5 – Норильск II, 6 – Имангдинская); 5 – сульфидоносные интрузии (7 – Тальминская, 8 – Клюквенная); 6 – изопакиты базальтов, м; 7 – Норильско-Хараелахский разлом; 8 – локальные и региональные разломы; СГ-32, СГ-4, КЗ-1799, СВ-45 – обозначения скважин

скважины преимущественно одиночные, размещаются в разных местах.

Проектирование и выполнение поисковых работ в большей части Норильского района базируются на двух главных закономерностях: приуроченности известных промышленно рудоносных интрузий и месторождений к глубинному Норильско-Хараелахскому (Н-Х) разлому и нахождении их в низах лавовой толщи и под ней в терригенных отложениях тунгусской серии (C_2 – P_2) и терригенно-карбонатных образованиях раннего карбона и девона (см. рис. 1).

Отображённые на рис. 2 проектные скважины в большинстве своём соответствуют этим закономерностям. В плане они находятся в сфере влияния Н-Х разлома на окружающую среду, а по глубине пересекают перспективные горизонты.

Однако ни одна из пробуренных по данному и более поздним проектам скважин не вскрыла интрузива, содержащего значительное количество руд. Причин может быть несколько: 1) пропущены рудоносные массивы из-за слишком больших интервалов между скважинами, 2) не опознана принадлежность пересечённых скважинами интрузивных тел к перспективно рудоносным образованиям и 3) отсутствие на данной площади рудных объектов промышленной значимости.

Заключение об отсутствии промышленно рудоносных интрузий может быть сделано только после выяснения вопросов, касающихся двух первых причин.

Наличие первой причины (большие интервалы между пробуренными скважинами) не исключается. Однако простое уменьшение интервалов практически невозможно. Для этого надо иметь определённые предпосылки. Иначе придётся разбуривать всю площадь по сетке, приближающейся к поисково-разведочной сети известных рудоносных интрузий и связанных с ними Pt-Cu-Ni месторождений (см. рис. 2).

Неопознанность принадлежности к перспективно рудоносным интрузиям пересекаемых скважинами магматических тел (ошибочное отнесение их к безрудным) может быть связана с неполным учётом свойственных рудным интрузивам особенностей и закономерностей в их проявлении.

Дело в том, что в многолетней практике геологических работ в Норильском районе доминировал поиск без «посредников». Главная задача состояла в прямом (непосредственном) обнаружении рудной Pt-Cu-Ni минерализации с последующим разбуриванием содержащих её интрузивных массивов. Однако такие действия не всегда приводили (и чаще не приводили) к открытию промышленных залежей руд.

Связано это с тем, что наличие рудной минерализации не является гарантией её промышленных скоплений в магматическом теле. Для их образования требуются определённые условия внедрения и становления сульфидоносных магм, которые, в свою очередь, проявляются в специфических особенностях и закономерностях в строении, морфологии и составе формируемых ими интрузий. Именно эти «побочные» сведения позволяют выделять наиболее перспективные (промышленно рудоносные) интрузивные массивы и тем самым снимать отмеченную выше необходимость уменьшать интервалы между скважинами, ориентируясь только на прямое открытие рудных залежей [8].

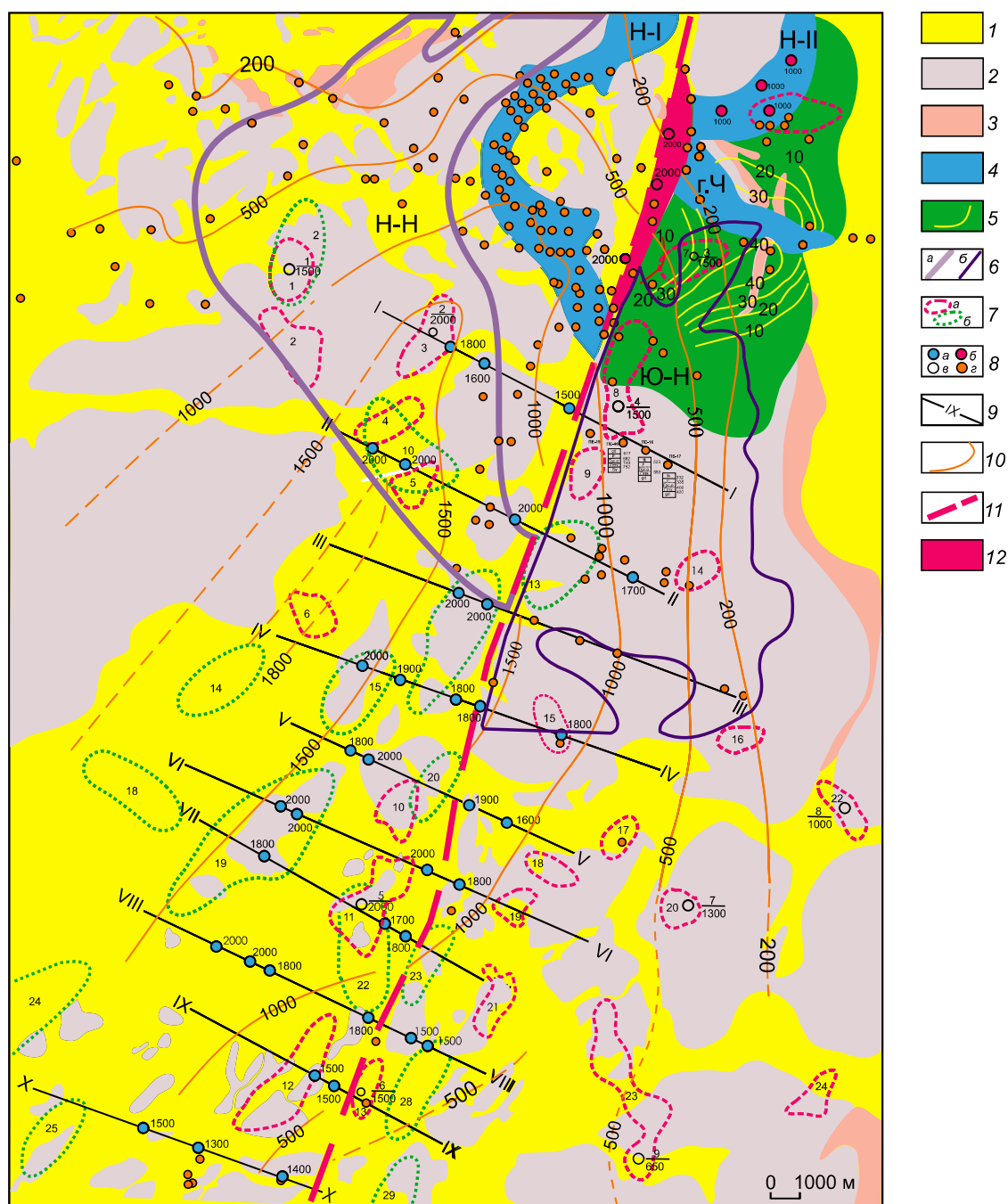


Рис. 2. Норильская площадь с проектными и пробуренными скважинами. По данным Норильской геологоразведочной экспедиции (НКГРЭ), с дополнениями:

1 – четвертичные отложения; 2 – траппы; 3 – осадочные образования перми, карбона и девона; 4 – рудоносные интрузии с частично прилегающими площадями: Норильск I (Н-I), Норильск II (Н-II), Черногорская (г. Ч); 5 – силл лейкократового габбро и его изопакиты, м [13]; 6 – контуры интрузий [13]: а – Нижненорильской (Н-Н), б – Южнонорильской (Ю-Н); 7 – контуры аномалий и их номера: а – магнитных, б – гравитационных; 8 – буровые скважины: а – проектные, б – намечаемые к бурению в 1982 г., в – места заложения поисковых скважин, рекомендуемых по геофизическим данным, г – пробуренные (цифры у проектируемых скважин – их глубина, м, над чертой – порядковые номера скважин, намечаемых по геофизическим данным); 9 – поисковые профили и их номера; 10 – изогипсы подтошвы образований тунгусской серии, м; 11 – Норильско-Хараелахский разлом; 12 – площадь грабена Норильско-Хараелахского разлома

К специфическим относятся следующие особенности и закономерности: 1) двучленное строение рудоносных интрузий; 2) вытянутость рудоносной части в одном направлении на расстоянии до 15 км и более при ширине от 500 до 2000 м; 3) «вставленность» рудоносных массивов во вмещающую среду без признаков существенного её нарушения и «бесследного» исчезновения материала, занятого интрузивами пространства; 4) аномальные объёмы, мощности и массы метаморфических образований рудоносных интрузий, резко отличающиеся от близких по составу слаборудоносных и безрудных интрузивов; 5) «импульсивное» изменение площади поперечного сечения, мощности и массы интрузий по их длине; 6) неравномерное распределение рудного вещества по длине интрузивов. Подробно эти закономерности рассмотрены в работе [8]. В настоящей статье приведена лишь сокращённая их характеристика.

Двучленное строение рудоносных интрузий. Рудоносные интрузии Норильского района состоят из двух частей (рис. 3, А): периферической силлообразной, слабосульфидной (лейкократовой, существенно габбровой) и внутренней, вытянутой в одном направлении хонолитообразной, собственно рудоносной (меланократовой, габбро-долеритовой) [4, 5, 7, 8, 14].

Периферический силл изменяется в мощности от первых метров до 50–70 м, а по протяжённости от десятков метров до 2 км. Состоит он из преобладающего по количеству лейкократового габбро («внешнего» габбро) вверху и более меланократового таксито-пойкилоофитового (до пикритового) и контактового габбро-долеритов внизу (см. рис. 3, Б).

Лейкократовое габбро [4, 5] представляет собой крупнозернистую породу светло-серого цвета с изменяющейся от габбровой до офитовой структурой (см. рис. 3, В, Г). Большую его часть составляет резко зональный плагиоклаз состава An_{45-100} (60–90%). Присутствуют пироксены, преимущественно авгит (5–30%), оливин (0–10%), рудные, в том числе медно-никелевые сульфиды (1–3%), вторичные и акцессорные минералы. В межзерновых участках встречаются округлые выделения слабораскристаллизованного стекла, обычно замещённого хлоритообразным материалом. Стекло образовано из-за быстрого охлаждения габбрового силла.

По своей структуре, химическому и минералогическому составам лейкократовое габбро – типично магматическая порода протокумуля-

тивного происхождения. Генетическая сущность пород этого вида (скопление интрателлурических протокристаллов плагиоклаза) раскрыта В.С.Соболевым в 1936 г. на примере крупнозернистого анортитового габбро (порфириовидных анортитовых диабазов) скалы Амо (см. рис. 3, Д, Е), образцов Норильска (коллекция И.Ф.Григорьева) и литературных данных по другим районам мира [12].

Массовые скопления протокристаллов основного плагиоклаза могут осуществляться как при кристаллизации практически бессульфидных мафических (толеитовых) магм ($MgO \leq 8$ мас.%), так и сульфидоносных мезомафических (для Норильска MgO 8–12 мас.%), формирующих платино-медно-никелевые месторождения. В последних обычно присутствует небольшое количество сульфидных выделений, что позволяет отличать их от первых.

В Норильском районе наличие лейкократового габбро свидетельствует о проявлении глубинной (на пути внедрения) кристаллизации и дифференциации магмы с накоплением кристаллов основного протоплагиоклаза в головной части магматической колонны и вероятном скоплении рудного вещества в виде сульфидной жидкости в тыловой (последующей) части [7].

Глубинная кристаллизация плагиоклаза с его всплытием и отделением от оставшейся (основной) части магматического расплава увеличивает в последнем количество сульфидной фракции из-за уменьшения объёма силикатной составляющей. И именно за счёт неё формируются Pt-Cu-Ni месторождения. Поэтому чем больше образуется лейкократового габбро, тем больше скапливается рудного вещества в магматической колонне, и, соответственно, образуются более богатые месторождения. То есть количество рудного вещества в месторождениях находится в прямой («комплементарной») зависимости от объёма лейкократового габбро в рудоносных интрузиях. Следовательно, проявления больших скоплений крупнозернистого лейкократового габбро являются указанием на возможность нахождения в магматическом теле промышленных залежей Pt-Cu-Ni руд.

Таким образом, в вопросах прогноза и поисков месторождений лейкократовое габбро периферии интрузий имеет исключительно важное значение, так как представляет собой легко опознаваемую головную (наиболее приближающуюся к земной поверхности и нередко обнажающуюся

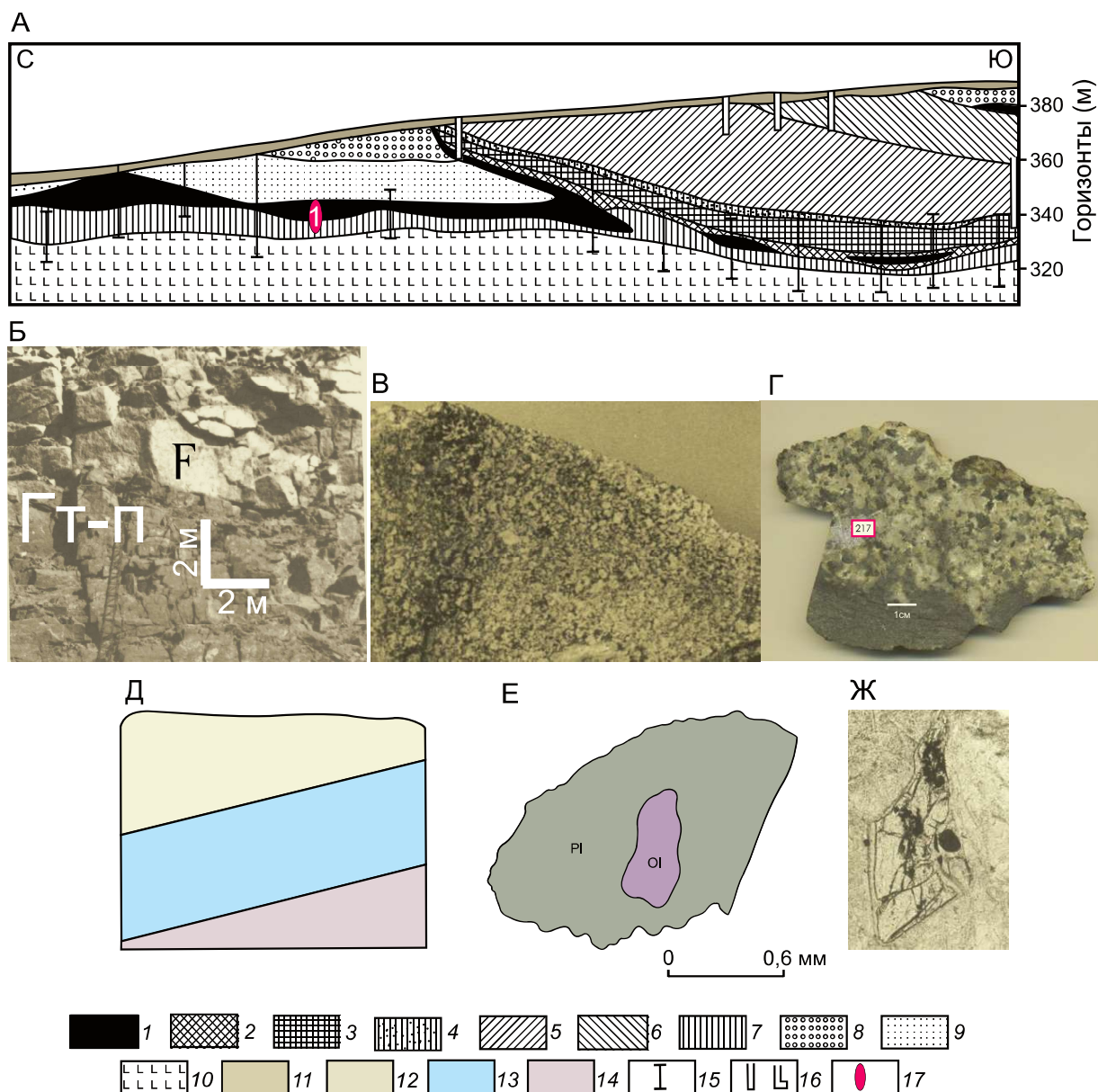


Рис. 3. Проявления лейкократового габбро:

А – разрез северной части западной ветви интрузии Норильск I (горизонтальный масштаб равен вертикальному); Б – sill лейкократового габбро, дифференцированный на лейкократовую часть сверху (F) и меланократовую (Гт-п) внизу (место 1 на рис. А); В – «внешнее» габбро, ум. 3; Г – «внутреннее» габбро в контакте с пикритовым габбро-долеритом внизу, интрузия Норильск I; Д – зарисовка «слоистой интрузии порфиroidного анортитового диабаз» скалы Амо [12] (значки заменены цветом); Е – включение оливина (ОI) в центре плагиоклаза (PI) первой генерации анортитового диабаз скалы Амо [12]; Ж – ромбообразное зерно магнeзиального протооливина в ассоциации с хромитом (чёрное округлое выделение) и сульфидами (тёмные более мелкие проявления), включённые в среднюю часть крупного кристалла протоплагиоклаза лейкократового габбро интрузии Норильск I, ув. 20 (свидетельство наличия и кристаллизации в магме протооливина, хромита и рудных составляющих); 1 – лейкократовое габбро; 2–7 – габбро-долериты: 2 – такситовый, 3 – пикритовый, 4 – оливин-биотитовый, 5 – безоливиновый и оливинсодержащий, 6 – безоливиновый призматически зернистый (+ габбро-диорит), 7 – контактовый и таксито-пойкилофитовый; 8–10 – базальты: 8 – толеитовый, 9 – плагиоклазовый, 10 – андезитовый; 11 – четвертичные отложения; 12–14 – диабазы: 12 – мелкозернистый миндалекаменный, 13 – порфиroidный, 14 – среднезернистый; 15 – буровые скважины; 16 – разведочные колодцы; 17 – место рис. 3, Б

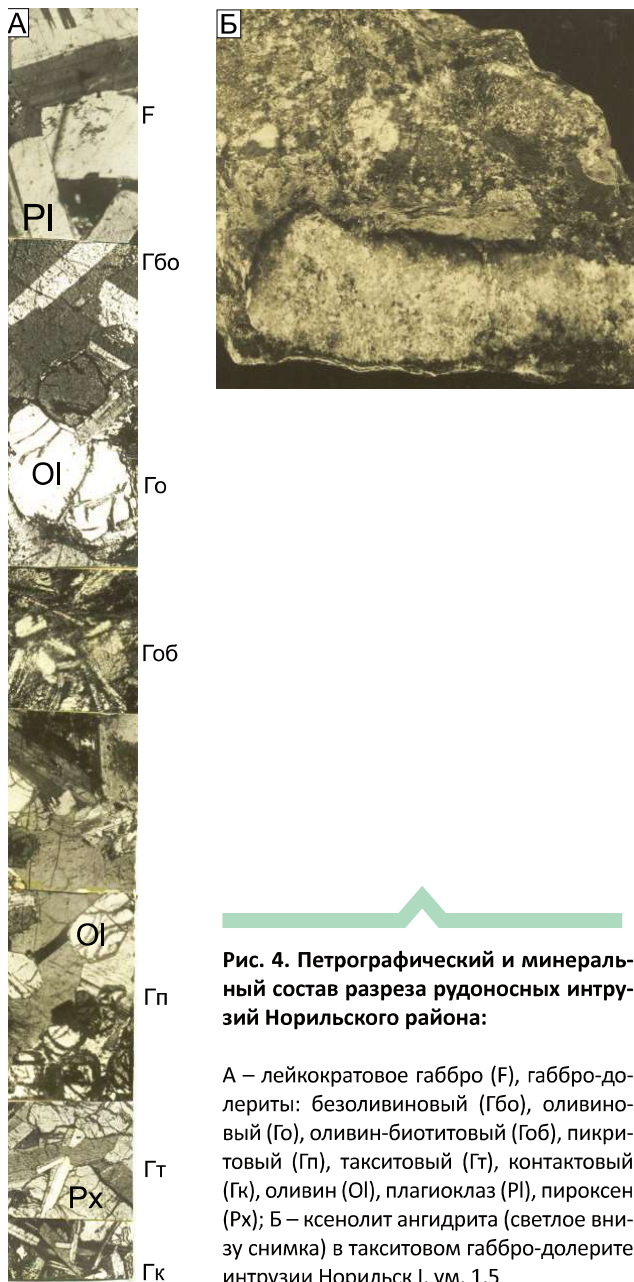


Рис. 4. Петрографический и минеральный состав разреза рудоносных интрузий Норильского района:

А – лейкократовое габбро (F), габбро-долериты: безоливиновый (Гбо), оливиновый (Го), оливин-биотитовый (Гоб), пикритовый (Гп), такситовый (Гт), контактовый (Гк), оливин (Ol), плагиоклаз (Pl), пироксен (Px); Б – ксенолит ангидрита (светлое внизу снимка) в такситовом габбро-долерите интрузии Норильск I, ум. 1,5

на ней) часть рудоносной магматической колонны, распространяющуюся на большую площадь.

Рудоносная часть является основным объектом поиска. Она находится на продолжении головной (габбровой) части магматической колонны (см. рис. 3, А). При мощности 50–300 м дифференцирована от оруденелых контактового (Гк), такситового (Гт) и пикритового (Гп) габбро-долеритов внизу, через сульфидоносный оливин-биотитовый (Гоб) и слабосульфидоносные оливиновый (Го), оливинсодержащий (Гос) и безоливиновый (Гбо)

габбро-долериты до практически бессульфидного габбро-диорита (рис. 4, А). В верхнем эндоконтакте находятся фрагментарные тела лейкократового габбро («внутреннее» габбро), верхних контактового (Гвк), такситового (Гвт), пикритового (Гвп) и троктолитового (Гвтр) габбро-долеритов, которые по своему составу и структуре аналогичны породам периферического габбрового силла и являются его реликтами. Они подвержены вторичным изменениям, и в них проявлена наложенная вкрапленная минерализация халькопирит-пентландит-пирротинового состава, нередко отличающаяся относительно высоким содержанием металлов платиновой группы [10].

При отсутствии в интрузиях массовых скопленных интрателлурического плагиоклаза и, соответственно, условий для накопления рудного вещества на пути подъема магм они содержат в основном бедную вкрапленную минерализацию первичных сульфидов. Поэтому такие интрузии бесперспективны на обнаружение в них богатых платино-медно-никелевых руд. В Норильском районе к ним относятся все известные интрузивы, не содержащие значительных скопленных лейкократового габбро, в том числе и имеющие Pt-Cu-Ni минерализацию.

Это связано с тем, что мантийные источники мафит-ультрамафитовых магм содержат небольшое (≤ 1 мас.%) количество сульфидного вещества, которое способно удерживаться в мантии (избегать погружения в более глубокие горизонты) при общей дифференциации расплава исходного материала планеты [5, 7]. Плавление такого вещества при зарождении магм и быстрое их поступление в земную кору не могут приводить к существенной концентрации сульфидов.

Нередко допускаемое образование Pt-Cu-Ni сульфидов месторождений Норильского района вследствие ассимиляции магмой ангидрита вмещающих толщ [1, 2, 9] практически невозможно из-за более высокой температуры его плавления (1450°C) по сравнению с температурой внедряющейся магмы ($1200^\circ\text{--}1350^\circ\text{C}$) и слабой растворимости в ней. В наблюдаемых рудоносных интрузиях Норильска ангидрит не усваивается магмой (см. рис. 4, Б).

Итак, лейкократовое габбро является непременным продуктом кристаллизации сульфидоносных магм, комплементарным рудному веществу формирующих ими Pt-Cu-Ni месторождений. Поэтому его присутствие в значительном количестве представляет собой исключительно

надёжный фактор в выявлении промышленно рудоносных интрузий. Эта закономерность является главной в оценке перспективности как отдельных магматических тел, так и различных по размеру площадей.

Что касается повышенного содержания тяжёлого изотопа серы (^{34}S) в сульфидных рудах месторождений Норильского района, то оно вполне может быть обусловлено закономерностями изотопного фракционирования мантийных сульфидов на стадиях зарождения магм, их подъёма в земную кору и становления в конечных камерах внедрения [6, 7].

Вытянутость рудоносной части в одном направлении на расстоянии до 15 км и более при ширине от 500 до 2000 м. Эта особенность свойственна только рудоносным интрузивам. Безрудные (трапповые) интрузии имеют площадное, силлообразное распространение, а слаборудоносные (Нижнеталнахско-Нижненорильского типа) – в основном плитообразное (см. рис. 2).

Её возможная причина связывается с различием в плотности внедряемых магм и вмещаемых пород [5, 8]: наиболее тяжёлые сульфидоносные магмы, существенно преобладая над плотностью вмещающих пород, «вдавливались» в подстилающие толщи и тем самым профилировали своё движение в одном направлении. Другая, сочетающаяся с первой причина может состоять в однонаправленном плавлении высокотемпературной (до $\sim 1300^\circ\text{C}$) сульфидоносной магмой вмещающих пород на фронте внедряющейся магматической колонны, в месте замыкания конвектирующего потока магмы с образованием однонаправленного канала [8].

Практическое значение этой особенности заключается в возможности отличать перспективно рудоносные магматические тела от безрудных тел и выделять их с помощью геофизических методов на ранней стадии поисковых работ.

«Вставленность» рудоносных массивов во вмещающую среду без признаков существенного её нарушения и «бесследного» исчезновения материала, занятого интрузивами пространства. Пространство, требуемое для размещения внедряемой магмы в земной коре, может создаваться несколькими процессами: 1) раздвижением под напором магмы слоёв в разные стороны с оставлением при этом следов и признаков проявления процесса в виде смещения исходных границ; 2) уплотнением (также под давлением магмы) вмещающей среды со смещением и без смещения ис-

ходных границ; 3) вытеснением магмой материала коры с оставлением следов и признаков происшедшего; 4) «вымыванием» потоком магмы с разрушением вмещающего материала плавлением, растворением и механическим воздействием и выносом разрушенного материала за пределы магматического тела. В образовании рассматриваемых рудоносных интрузий наиболее вероятен последний вариант, так как для других не имеется существенных признаков их проявления.

Видимость «вставленности» интрузий свойственна как богатым, так и обеднённым рудным веществом интервалам рудоносных интрузий. Поэтому выявление её наличия при пересечении скважинами сравнительно бедного рудой тела может указывать на возможную его принадлежность к рудоносным массивам и нахождение более богатых руд в продолжении этого тела.

Как показано в [8], требуемое для рудоносных интрузий пространство могло «вымываться» внедряющейся магмой вследствие её продольной циркуляции от тыловых, наиболее высокотемпературных частей магматической колонны (вплоть до питающего магматического очага) к фронтальным, существенно охлаждённым и обратно. При этом проявляется та же конвекция магм, которая наблюдается в каналах современных вулканов и в их лавовых озёрах. Вынос разрушенного материала мог осуществляться обратным потоком магмы, возвращающимся по наклонному каналу (до 30° в наблюдаемой части интрузий) на глубинные уровни и формирующим свободное пространство, подобное по конфигурации лавовым трубам.

Таким образом, «вставленный» вид является характерной особенностью рудоносных интрузий Норильского района, которая может использоваться в поисковой практике. Она обусловлена повышенной плотностью, высокой температурой и субгоризонтальным проникновением магмы, обеспечивающими её однонаправленное внедрение, продольную конвекцию расплава, плавление и удаление материала вмещающих пород, скопление рудного вещества.

Аномальные объёмы, мощности и массы метаморфических образований рудоносных интрузий, резко отличающиеся от близких по составу слаборудоносных и безрудных интрузивов. Рудоносным интрузиям свойственно превышение объёма, мощности и массы экзоконтактовых образований по отношению к магматическому телу, а слаборудоносным и безрудным – наоборот,

что особо важно в поисковом деле. Так, например, у рудоносной Хараелахской интрузии в участках её мощности от 50 до 100 м мощность только роговиков верхнего экзоконтакта составляет 150–200 м. А у расположенного здесь же (в этих же вмещающих толщах) слаборудоносного Нижнеталнахского интрузива при его мощности до 400 м общая мощность экзоконтактовых метаморфитов не превышает 40 м [8, 13]. В Талнахском интрузиве при его общей массе ~5,3 млрд. т суммарная масса роговиков верхнего и нижнего экзоконтактов составляет ~9,8 млрд. т [5].

Наблюдается явное превышение энергетических затрат на преобразование вмещающей среды в случае рудоносных интрузий по сравнению со слаборудоносными и безрудными.

Это было возможным при длительном поступлении во вмещающую среду стабильно высокотемпературного ($\geq 1000^\circ\text{C}$) теплового потока, постоянно поддерживающегося «свежей» магмой. В случае Норильских рудоносных интрузий – продольной конвекцией магмы. В них она постоянно доставляет «свежий» высокотемпературный расплав в головные части магматической колонны и тем самым обеспечивает длительный высокотемпературный нагрев вмещающей среды. При одноактном поступлении магмы в конечные камеры внедрения её конвекция ограничена и изменение вмещающей среды соответствует возможностям теплового запаса одноактной порции магматического расплава. Именно этот вариант свойственен слаборудоносным и безрудным интрузиям.

«Избыточные» преобразования вмещающих интрузии пород обнаруживаются как геофизическими методами, так и буровыми скважинами.

«Импульсивное» изменение площади поперечного сечения, мощности и массы интрузий по их длине. Изменение площади поперечного сечения по протяжённости рудоносной части интрузивов выражено в чередовании сравнительно коротких суженных участков («пережимов») с более протяжёнными расширенными, представляющими собой углубления с плоской кровлей и прогнутым дном. Они контролируют скопление рудных масс, приуроченных в основном к переходу суженного в расширенный участок. В поисковой практике эти углубления могут выявляться геофизическими методами и подтверждаться бурением скважин.

Например, в Талнахском интрузиве на расстоянии 17,2 км выделяется шесть пережимов протя-

жённой 100–400 м и семь расширений – камер длиной 800–1600 м [5, 8]. В пережимах площадь поперечного сечения меняется от 60 до 130 тыс. м², а в расширениях – от 84 до 204 тыс. м². Переход суженных участков в расширенные обычно совершается довольно резко, достигая двукратного и большего увеличения площади поперечного сечения на расстоянии порядка 400 м и 50 м уступа по высоте на 100 м длины. Соответственно, по длине интрузива изменяется его масса при общем её увеличении в направлении фронта интрузии (с севера на юг) и наибольшем скоплении в предфронтальной части.

Изменение площади поперечного сечения интрузива происходит в одних случаях за счёт изменения его ширины, во-вторых – мощности («высоты»), а в-третьих – и того, и другого. Увеличение сечения за счёт ширины приводит к рассредоточению массы и уменьшению мощности кумулятивного горизонта (Гп) и рудного вещества, тогда как увеличение за счёт мощности – к их большему концентрированию, размещению на меньшей площади по сравнению с увеличением сечения за счёт ширины интрузива.

Наблюдаемое изменение площади поперечного сечения по длине интрузива свидетельствует о неравномерном («импульсивном») и поэтапном поступлении магмы в конечную камеру её внедрения. Причиной тому могли быть чередование периодов накопления магмы в питающем очаге до критических значений по давлению и поэтапный подъём её в вышележащие толщи. Они приводят к прорыву фронтальной камеры и дальнейшему продвижению магматического расплава (подобные перерывы в поступлении магм и её прорывы во вмещающих толщах свойственны всем известным палео- и современным вулканам). И чем длительнее происходит накопление в питающем очаге критических величин, тем более объёмными становятся фронтальные камеры внедрения из-за более продолжительной (неостанавливающейся) циркуляции (конвекции) магмы и большего выноса из них материала вмещающих толщ обратным потоком.

Пережимы могут представлять собой участки прорыва магмы из расширенной камеры во время достижения в ней сверхкритических величин по давлению. После этого снова наступает спокойное состояние, когда продольно циркулирующая магма «вырабатывает» новое расширенное пространство. И так до следующего достижения критического давления и последующего нового

прорыва, пока не иссякнут «силы» магматического очага для обеспечения продвижения интрузива вперёд.

Пережимы и расширения магматического канала меняют скорость течения в них магмы, приводят к изменению мощности и массы дифференциатов интрузива и способствуют накоплению рудного вещества. При этом кумулятивные минералы (в основном оливин) и рудное вещество (частицы сульфидного расплава) оседают и накапливаются преимущественно в интервалах снижения скорости течения магмы, а именно, в переходах суженных в расширенные участки, как это наблюдается в реальности [5, 8].

Увеличение мощности рудоносных интрузий в основном осуществляется за счёт углубления их нижней границы, выраженного «исчезновением» подстилающих пород рамы. Эти углубления пунктирно трассируются в «фарватере» интрузива на фоне его практически повсеместной и непрерывной 100-метровой мощности.

Пунктирное распределение углублений по длине интрузива может соответствовать остановкам в продвижении магматической колонны, а их образование обуславливаться длительной конвекцией магмы на остановках (в одном месте), обеспечивающей значительный вынос корового материала и формирование пространства для ёмких магматических камер – расширенных участков интрузий.

Направленность и ориентация углублений отражают собой нахождение фарватера магматического потока. А наличие их свидетельствует о возможности накопления в интрузиве промышленных залежей руд. Именно к ним тяготеет наибольшее скопление руд в известных рудоносных интрузиях Норильского района [5, 8].

Отмеченные закономерности реально существуют и контролируют рудоносность магматических тел. Выявление и использование их в прогнозно-поисковых целях могут обеспечить полноту и надёжность оценки продуктивности перспективных площадей.

Неравномерное распределение рудного вещества по длине интрузивов. Рудоносным интрузиям Норильского района свойственно неравномерное, но вполне закономерное распределение и изменение количества и состава рудного вещества вдоль их протяжённости: наибольшее накопление его приурочено к фронтальным и предфронтальным частям интрузивов, а по длине интрузивных тел – к местам перехода суженных в расширенные участки. Изменение проявляется во всех

составляющих: в общей рудной (сульфидной) массе, в типах руд и в количестве рудных компонентов – в минеральном и химическом составах [5, 8].

Изменение количества сульфидного вещества в отношении к силикатной массе по длине Талнахского интрузива колеблется от $\leq 0,01$ (1,0 мас.%) до 0,12 (12,0 мас.%). Проявлено семь основных максимумов. Практически каждый из них расположен в переходе суженного в более расширенный участок интрузии по направлению внедрения и течения магмы.

В изменении по типам рудного вещества максимумы скопления массивных руд совпадают с максимумами вкрапленных сульфидов, и вместе они приурочены к переходам суженных в расширенные участки.

Распределение и изменение содержаний рудных компонентов (Ni, Cu Co, Pt, Pd, Rh и Au) по длине интрузий имеют осцилляционный характер с увеличением их содержаний от тыловых к фронтальным частям интрузий. Причём это увеличение коррелируется с увеличением в том же направлении общей массы рудного вещества и резким повышением в пиках (максимумах) содержания меди по отношению к никелю.

Так, в Талнахской интрузии проявлено семь основных пиков содержания меди и никеля, каждый из которых соответствует повышенному количеству рудного (сульфидного) вещества, приуроченному к местам перехода суженных в расширенные участки интрузива. Наиболее резкое увеличение содержания меди происходит в основном за счёт богатых Cu массивных руд.

Существует общая закономерность, свойственная Pt-Cu-Ni месторождениям. Сульфидное вещество практически во всех своих выделениях дифференцировано в направлении от бедных к богатым медью разновидностям. Это связано с большим температурным и временным интервалами кристаллизации исходного сульфидного расплава (от $\sim 1100^\circ$ до $\sim 850^\circ$ C), предкристаллизационным его разделением на относительно высокотемпературную, богатую железом («пирротинную») и низкотемпературную, богатую медью и МПГ («халькопиритовую») жидкости и более ранней (опережающей) кристаллизацией пирротина, позволяющей медистой фракции мигрировать на малые и большие расстояния [4].

В рудоносных интрузивах обогащение сульфидов медью всегда сопровождается увеличением в них содержания МПГ. Этот факт является исключительно важным поисковым признаком,

так как медистые сульфиды безрудных интрузий практически всегда бедны платиноидами.

Рассмотренные особенности и закономерности [8] позволяют сформулировать в упрощённом виде оптимальную последовательность выполнения геологоразведочных работ в ходе поисков Pt-Cu-Ni месторождений: 1) выделение магматического поля с проявлениями лейкократового габбро; 2) выявление в нём перспективного интрузивного тела, вытянутого в одном направлении; 3) выяснение наличия в этом теле неравномерного распределения магматических масс, выраженного в чередовании по длине интрузива суженных с расширенными (сравнительно мощными, углублёнными в подошве) участками; 4) детальное опоскование мест перехода суженных в расширенные участки; 5) нахождение в них наибольших скоплений рудных веществ.

При оценке перспективности конкретных площадей и поиске рудоносных интрузий в Норильском районе первоочередными и главными в применении являются первые две из перечисленных выше особенностей и закономерностей – наличие лейкократового габбро и признаки вытянутости магматических тел в одном направлении.

К настоящему времени на территории Норильского района они выявлены и известны в пределах Норильской, Талнахской и Имангдинской площадей.

В пределах Норильской площади (см. рис. 2) лейкократовое габбро проявлено в рудоносных интрузиях Норильск I, Норильск II и Черногорская. Первая из них находится в левом крыле Н-Х разлома, а две другие в правом, где сравнительно широко распространён силл лейкократового габбро. Его «избыточность» здесь может быть связана с наличием ещё не выявленных рудоносных массивов. А в тыловой части Черногорской интрузии, опущенной грабеном, возможно нахождение значительного скопления рудного вещества [7].

Находящийся южнее Южно-Норильский интрузив (см. рис. 2) характеризуется малоблагоприятными свойствами для накопления рудных веществ. У него нет силла лейкократового габбро. Внутреннее габбро встречается редко и в небольших количествах [13], как и вкрапленная медно-никелевая минерализация (скв. ПЕ-46 0, Ni 11% и Cu 0,25% на 2,7 м мощности; ПЕ-16, соответственно, 0,28 и 0,43 на 0,25 м; ПЕ-17 0, 56 и 0,75 на 0,25 м). Конфигурация интрузива

(большая «распластованность») тоже является неблагоприятной для рудонакопления.

В самой южной части восточного крыла Н-Х разлома имеется необычная магнитная аномалия № 23, вытянутая в одном направлении. Она может быть связана с нахождением здесь рудного массива, согласно одной из рассмотренных выше закономерностей (№ 2), свойственных рудоносным интрузиям.

Территория, находящаяся западнее Н-Х разлома и интрузии Норильск I, на изученных глубинах не имеет значительных проявлений лейкократового габбро и потому является малоперспективной для обнаружения промышленных скоплений Pt-Cu-Ni руд.

Талнахская площадь Норильского района (рис. 5) весьма насыщена лейкократовым габбро. Большая часть его ассоциирует с Талнахским и Хараелахским рудоносными интрузивами, размещаясь внутри интрузий («внутреннее» габбро) и являясь их периферией и фронтальной составляющей («внешнее» габбро).

Как видно из рис. 5, изопакиты тел внешнего габбро в большинстве своём свидетельствуют об уменьшении их мощности с удалением от рудоносного массива и тем самым указывают направление и отражают сложный характер внедрения этих тел. Во многих случаях они имеют вид несколько обособленных клинообразных ответвлений, сохраняя при этом общее поле распространения лейкогаббро вокруг Талнахского и Хараелахского рудоносных интрузивов.

Особыми являются изопакиты габбрового тела северо-восточной части Талнахского рудного поля (на рис. 5 жёлтого цвета). Они проявляют увеличение мощности лейкократового габбро с удалением от рудоносного массива. В существующих классификациях магматических образований района это тело относится к самостоятельному массиву [11, 13 и др.], именуемому Олорской интрузией, что и подтверждается данными изопакитами. Следовательно, здесь возможно продолжение лейкократового габбро с углублением и переходом в рудоносную часть интрузива.

На территории Имангдинского участка (см. рис. 1) существенные проявления лейкократового габбро имеются только в дифференцированной интрузии реки Имангды (рис. 6). Его количество составляет ~10% от общего объёма выявленного интрузива, и представлено оно только разновидностью «внутреннего» габбро. Тела лейкократового габбро в основном расположены в верхней

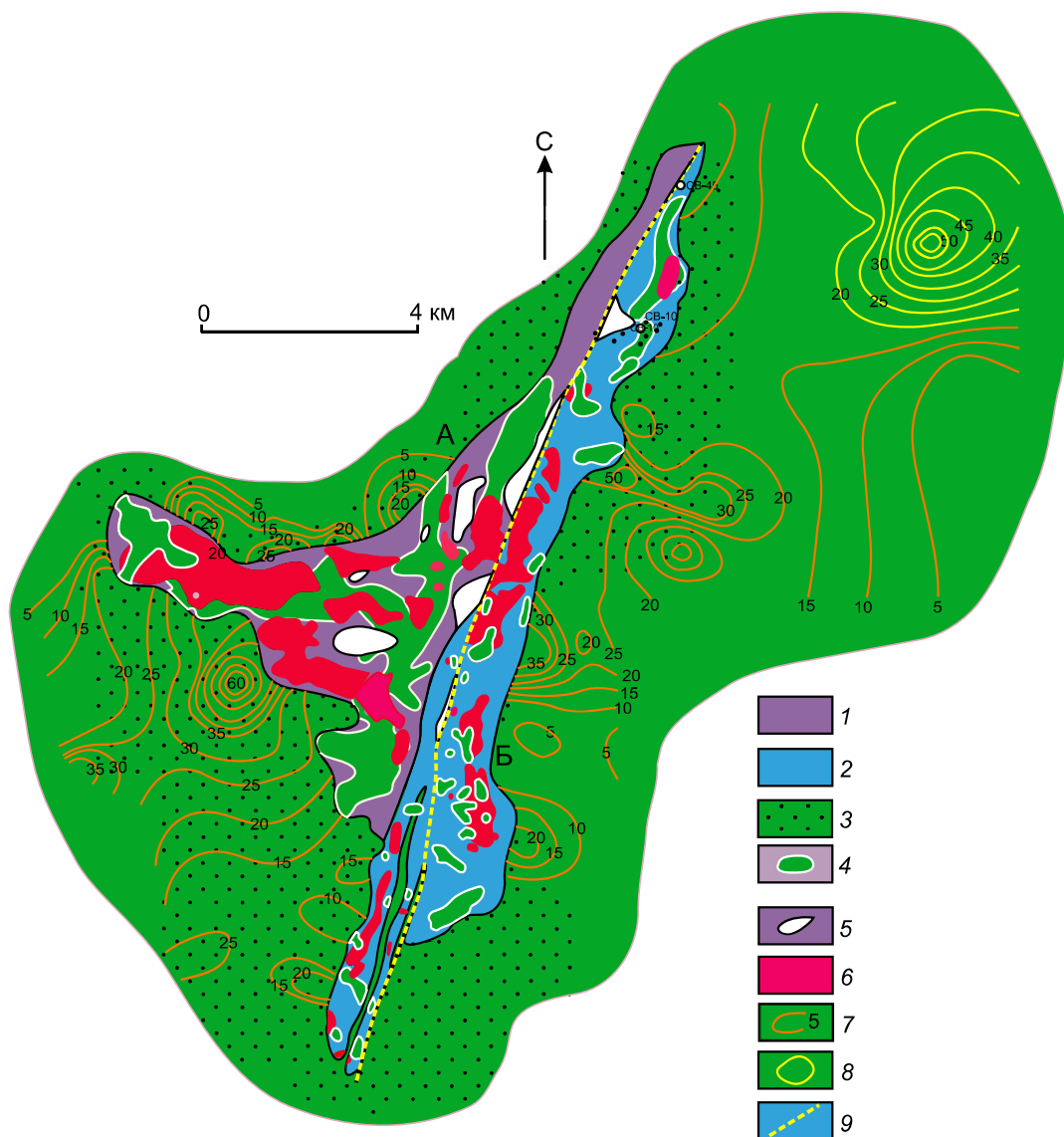


Рис. 5. Талнахская площадь:

интрузии, план: А – Хараелахская, Б – Талнахская; рудоносные части интрузий: 1 – Хараелахской, 2 – Талнахской; 3 – периферические части интрузий (силл лейкократового габбро, «внешнее» габбро в приблизительных границах); 4 – «внутреннее» габбро; 5 – участки без интрузивных тел; 6 – массивные залежи сульфидных руд; 7 – изопахиты силла лейкократового габбро Хараелахской и Талнахской интрузий, м [11]; 8 – изопахиты силла лейкократового габбро Олорской интрузии, м [11]; 9 – Норильско-Хараелахский разлом

эндоконтактной части интрузива. Нередко в их нижней части встречается меланократовая составляющая, представленная пикритовым габбро-долеритом, содержащим вкрапленную Pt-Cu-Ni минерализацию. Существуют пересечения скважин, где разрез интрузива состоит только из лейкократового габбро и пикритового габбро-долерита [3].

Перечисленные особенности лейкократового габбро Имангдинской интрузии указывают на то,

что оно, как и в других рудоносных интрузивах района, составляло головную часть магматической колонны, на которую полностью наложилась её последующая (тыловая) часть. Поэтому в ней нет ответвляющихся силлов лейкократового габбро, дифференцированных на лейкократовую и меланократовую части. Имеются лишь их фрагменты.

Сравнительно небольшому объёму лейкократового габбро в Имангдинской интрузии соответствует

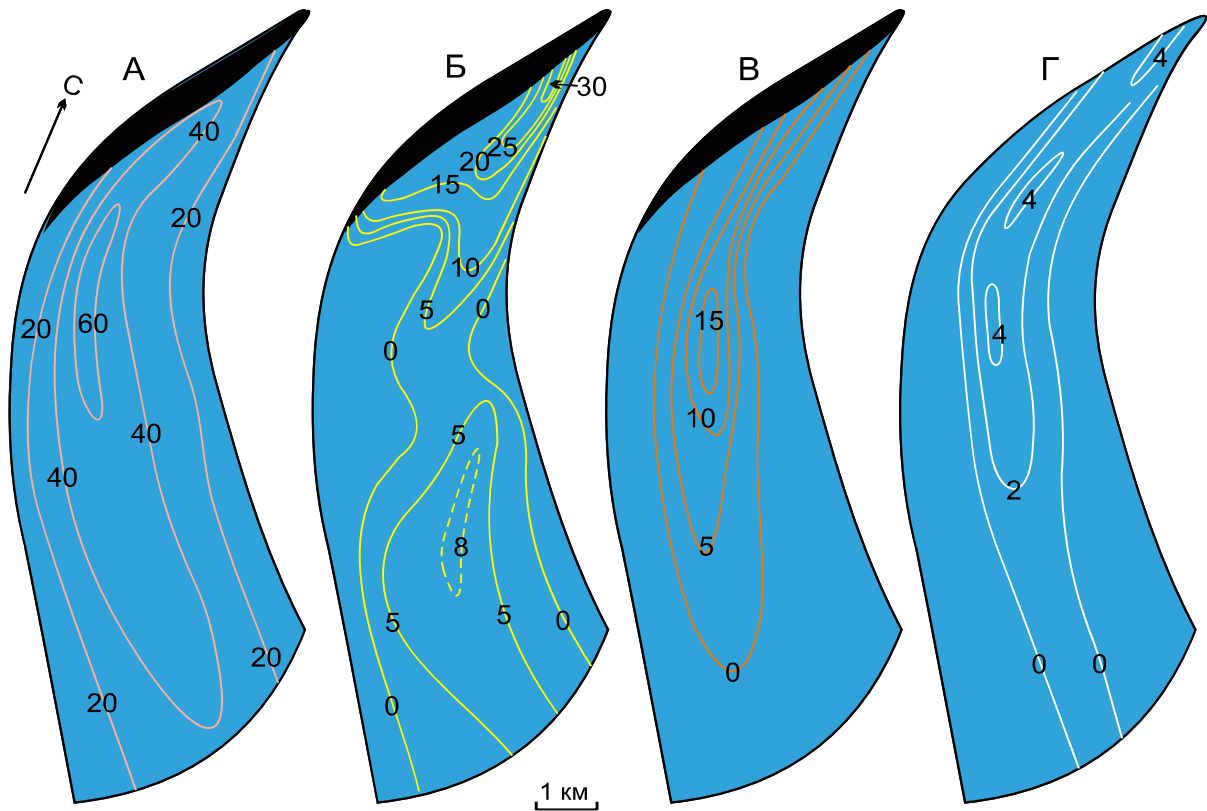


Рис. 6. Имангдинская интрузия, по работе [13]:

изопахиты, м: А – интрузии, Б – лейкократового габбро, В – пикритового габбро-долерита, Г – вкрапленных руд, м; чёрный участок – эрозионный срез интрузива

относительно малое количество в ней рудного вещества, проявленного только в виде вкрапленной минерализации (см. рис. 6, Г) с содержанием (в мас.%): Cu до 0,9 и Ni до 0,6; ЭПГ (в г/т): Pt 0,4–2 и Pd 1,6–4,6 [13].

Таким образом, в Норильском районе имеются (остаются) две перспективные площади, в пределах которых могут находиться существенные залежи платино-медно-никелевых руд: Черногорская в Норильском рудном поле (см. рис. 2) и Олорская в Талнахском (см. рис. 5).

Черногорская площадь включает опущенный участок (грабен) Н-Х разлома, в котором сходятся корневые (глубинные) части рудоносных интрузий горы Чёрная и Норильск II [7], а также территорию распространения силла лейкократового габбро, расположенную южнее интрузии горы Чёрная.

Олорская площадь находится в северо-восточной части Талнахского рудного поля. Здесь, как и в норильском грабене, перспективные тела могут размещаться в основном на больших глуби-

нах (до 2 км и более), что тоже осложняет обстановку выявления и использования новых рудных залежей.

Выводы состоят в следующем.

1. Современная опосредованность Норильского района соответствует его обследованию геологоразведочными работами, ориентированными на прямое (непосредственное) обнаружение рудных залежей. При этом могут оставаться «незамеченными» перспективные площади и интрузивные тела, для выявления которых требуется привлечение дополнительных («побочных») признаков перспективности, выраженных в виде специфических особенностей и закономерностей в строении, морфологии и составе рудоносных массивов.

2. Основополагающим «побочным» признаком и показателем возможного наличия и перспективности обнаружения Pt-Cu-Ni месторождений являются массовые скопления интрателлурического плагиоклаза анортит-битовнитового состава. Они представлены крупнозернистым лейкократовым габбро, проявленным в виде

периферических силлов («внешнее» габбро) и обособленных тел («внутреннее» габбро) в дифференцированных интрузиях габбро-долеритов.

3. Все выявленные в Норильском районе рудоносные интрузии и связанные с ними Pt-Cu-Ni месторождения (см. рисунки 2 и 5) содержат массовые скопления лейкократового габбро, как и большая часть известных проявлений лейкократового габбро связана именно с рудоносными интрузиями. Имеются некоторые «самостоятельные» участки и площади проявления лейкократового габбро, в которых могут быть рудные составляющие магматических комплексов. Именно они являются первоочередными в поисковом обследовании.

4. В пределах Норильской площади (см. рис. 2) к перспективным относятся участок «обрыва» Черногорской интрузии в грабене Н-Х разлома [7] и расположенная южнее этой интрузии территория распространения силла лейкократового габбро. На площади Талнахского рудного поля перспективным является продолжение Олорской интрузии.

5. Остальные сульфидоносные участки Норильского района, содержащие интрузии с вкрапленной минерализацией, – северное обрамление Талнахской мульды (см. рис. 1) и западная окраина Тунгусской синеклизы (Имангдинская и др.) – не содержат больших скоплений лейкократового габбро и потому не являются перспективными на обнаружение богатых залежей Pt-Cu-Ni руд. Некоторым исключением из этого является Имангдинская интрузия, содержащая в своём разрезе существенное количество лейкократового габбро. Однако оно представлено только «внутренней» разновидностью, которой оказалось недостаточно для образования массивных залежей руд.

6. В целом в Норильском районе сложилась сложная ситуация по выявлению новых платино-медно-никелевых месторождений: перспективных площадей мало при больших глубинах нахождения в них возможных рудных тел.

7. Нет оснований для допущения возможности обнаружения промышленных залежей Pt-Cu-Ni руд и на прилегающих к Норильскому району площадях.

8. Дальнейшая целесообразность геологоразведочных работ в Норильском районе сводится к обследованию глубоких горизонтов на территориях массового проявления лейкократового габбро с разработкой и применением новых геофи-

зических методов, позволяющих выявлять вытянутые в одном направлении магматические тела.

9. Представляется важным детальное исследование массовых проявлений лейкократового габбро в районе среднего течения р. Нижней Тунгуски.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гриненко Л.Н.* Изотопный состав серы сульфидов некоторых медно-никелевых месторождений и рудопроявлений Сибирской платформы // *Петрология траппов Сибирской платформы.* – Л.: Недра, 1967. – С. 221–229.
2. *Гриненко Л.Н.* Источники серы никеленосных и безрудных интрузий габбро-долеритов на северо-западе Сибирской платформы // *Геология рудных месторождений.* – 1985. – № 1. – С. 3–15.
3. *Дюжиков О.А., Дистлер В.В., Струнин Б.М.* и др. Геология и рудоносность Норильского района. – М.: Наука, 1988. – 279 с.
4. *Лихачев А.П.* Роль лейкократового габбро в формировании норильских дифференцированных интрузий // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* – 1965. – № 10. – С. 75–89.
5. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Изд-во Эслан, 2006. – 496 с.
6. *Лихачев А.П.* К вопросам образования, поведения и фракционирования химических элементов, их изотопов и минералов в природных процессах // *Отечественная геология.* – 2017. – № 6. – С. 80–93.
7. *Лихачев А.П.* Возможность самообогащения рудным веществом и тяжелым изотопом серы (^{34}S) мантийных магм, формирующих платино-медно-никелевые месторождения и перспективное место для локализации руд в Норильском районе // *Отечественная геология.* – 2019. – № 3. – С. 32–49.
8. *Лихачев А.П.* Специфические особенности норильских рудоносных интрузий, их природа и определяющее значение в открытии Pt-Cu-Ni месторождений // *Отечественная геология.* – 2019. – № 5. – С. 36–52.
9. *Надретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. – СПб.: СПбГУ, 2003. – 487 с.
10. *Служеникин С.Ф.* Малосульфидное платиновое оруденение в дифференцированных базит-гипербазитовых интрузивах Норильского района: автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. – М.: ИГЕМ РАН. – 26 с.
11. *Служеникин С.Ф., Малич К.Н., Григорьева А.В.* Базит-гипербазитовые дифференцированные интрузии круглогорского типа: петрология и рудоносность (Норильский район) // *Петрология.* – 2018. – Т. 26, № 3. – С. 282–316.
12. *Соболев В.С.* Петрология траппов Сибирской платформы // *Труды Всесоюзного Арктического института.* Т. XLIII. Геология. – Л.: Изд-во Главного управления Севморпути, 1936.
13. *Туровцев Д.М.* Контактный метаморфизм норильских интрузий. – М.: Научный мир, 2002. – 318 с.
14. *Likhachev A.P.* Ore-bearing intrusions of the Noril'sk region // *Proceedings of the Sudbery-Noril'sk symposium.* Ontario. – 1994. Special vol. 5. – P. 185–201.

REFERENCES

1. *Grinenko L.N.* Izotopnyi sostav sery sul'fidov nekotorykh medno-nikelevykh mestorozhdenii i rudoproyavlenii Sibirskoi platform [Isotopic composition of sulfur sulfides of some copper-Nickel deposits and ore occurrences of the Siberian platform]. *Petrologiya trappov Sibirskoi platformy*. Leningrad, Nedra Publ. 1967. P. 221–229.
2. *Grinenko L.N.* Istochniki sery nikelenosnykh i bezrudnykh intruzii gabbro-doleritov na severo-zapade Sibirskoi platformy [Sources of sulfur of Nickel-bearing and ore-free intrusions of gabbro-dolerites in the North-West of the Siberian platform]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 1985. No. 1. P. 3–15.
3. *Dyuzhikov O.A., Distler V.V., Strunin B.M. et al.* *Geologiya i rudonosnost' Noril'skogo raiona* [Geology and ore content of the Norilsk region]. Moscow, Nauka Publ. 1988. 279 p.
4. *Likhachev A.P.* Rol' leikokratovogo gabbro v formirovaniy noril'skikh differentsirovannykh intruzii [The role of leucocratic gabbro in the formation of Norilsk differentiated intrusions]. *Izv. AN SSSR. Ser. geol.* 1965. No. 10. P. 75–89.
5. *Likhachev A.P.* Platino-medno-nikelevye i platinovye mestorozhdeniya [Platinum-copper-Nickel and platinum deposits]. Moscow, Eslan Publ. 2006. 496 p.
6. *Likhachev A.P.* K voprosam obrazovaniya, povedeniya i fraktsionirovaniya khimicheskikh elementov, ikh izotopov i mineralov v prirodnykh protsessakh [On the formation, behavior, and fractionation of chemical elements, their isotopes, and minerals in natural processes]. *Otechestvennaya geologiya*. 2017. No. 6. P. 80–93.
7. *Likhachev A.P.* Vozmozhnost' samoobogashcheniya rudnym veshchestvom i tyazhelym izotopom sery (^{34}S) mantiinykh magm, formiruyushchikh platino-medno-nikelevye mestorozhdeniya i perspektivnoe mesto dlya lokalizatsii rud v Noril'skom raione [The possibility of self-enrichment with ore matter and a heavy sulfur isotope (^{34}S) of mantle magmas forming platinum-copper-Nickel deposits and a promising location for ore localization in the Norilsk district]. *Otechestvennaya geologiya*. 2019. No. 3. P. 32–49.
8. *Likhachev A.P.* Spetsificheskie osobennosti noril'skikh rudonosnykh intruzii, ikh priroda i opredelyayushchee znachenie v otkrytii Pt-Cu-Ni mestorozhdenii [Specific features of Norilsk ore-bearing intrusions, their nature and determining significance in the discovery of Pt-Cu-Ni deposits]. *Otechestvennaya geologiya*. 2019. No. 5. P. 36–52.
9. *Naldrett A.Dzh.* Magmaticheskie sul'fidnye mestorozhdeniya medno-nikelevykh i platinometal'nykh rud [Magmatic sulfide deposits of copper-nickel and platinum-metal ores]. Saint-Petersburg, SPbGU Publ. 2003. 487 p.
10. *Sluzhenikin S.F.* Malosul'fidnoe platinovoe orudenie v differentsirovannykh bazit-giperbazitovykh intruzivakh Noril'skogo raiona: Avtoref. diss. kand. geol.-miner. Nauk [Low-sulfide platinum mineralization in differentiated basic-ultrabasic intrusions of the Noril'sk district: author. Diss. Cand. geol.-miner. sciences]. Moscow, IGEM RAN Publ. 26 p.
11. *Sluzhenikin S.F., Malich K.N., Grigor'eva A.V.* Bazit-giperbazitovye differentsirovannye intruzii kruglogorskogo tipa: petrologiya i rudonosnost' (Noril'skii raion) [Basic-ultrabasic intrusions of differentiated kruglikovskogo type: Petrology and ore potential (Norilsk district)]. *Petrologiya*. 2018. Vol. 26, No. 3. P. 282–316.
12. *Sobolev V.S.* *Petrologiya trappov Sibirskoi platform* [Petrology of traps of the Siberian platform]. Tr. Vsesoyuznogo Arkticheskogo instituta. Vol. XLIII. Geologiya. Leningrad, Izd-vo Glavnogo upravleniya Sevmorputi Publ. 1936.
13. *Turovtsev D.M.* Kontaktovyi metamorfizm noril'skikh intruzii [Contact metamorphism of the Noril'sk intrusions]. Moscow, Nauchnyi mir Publ. 2002. 318 p.
14. *Likhachev A.P.* Ore-bearing intrusions of the Noril'sk region. Proceedings of the Sudbery-Noril'sk symposium. Ontario. 1994. Special vol. 5. P. 185–201.