

## Вилюй-Мархинское междуречье Якутии – перспективный район на Cu-Ni с платиноидами оруденение

Рассмотрены материалы, указывающие на аналогии в геологическом строении Норильского рудного района (НРР) и района Вилюй-Мархинского междуречья (ВММ), что является предпосылками перспективности последнего на медно-никелевое с платиноидами оруденение. Приведены данные по проявлениям Cu-Ni-Co-Zn минерализации в Ыгыаттинском алмазоносном районе, занимающем центральную часть ВММ. Геологические аналогии НРР и ВММ заключаются в следующем. Оба района расположены в области мезозойской тектоно-магматической активизации на краю крупных прогибов: НРР – в краевом прогибе Сибирской платформы, ВММ – на краю Вилюйской синеклизы. Месторождения НРР локализованы в центриклиналях крупных брахисинклиналей на склонах Пясинского купольного поднятия. В ВММ перспективные площади расположены на склонах Сюльдюкарского купольного поднятия в краевых частях крупных мульд. В НРР и ВММ наблюдаются палеозойские мергельно-сульфатно-карбонатные толщи, перекрытые угленосными карбон-пермскими отложениями, материал которых мог быть ассимилирован базальтоидной магмой в мезозое, что способствовало её рудной дифференциации. Аналогом Норильско-Хараелахской рудоносной интрузии в ВММ может быть Холомолохская судьфидоносная интрузия, от которой предполагаются протяжённые «рукава» рудоносных силлов. Наблюдается близость их состава и строения, включая наличие пегматоидов. Аналогом рудоконтролирующего Норильско-Хараелахского разлома может оказаться Хатырык-Холомолохский разлом, который по данным бурения прослежен на 24 км и является одним из швов кимберлитоконтролирующей Вилюйско-Мархинской зоны глубокого заложения. В зоне влияния этого разлома расположены концентрационные геохимические аномалии и Хомустахское рудопоявление Cu-Ni-Co-Zn с платиной, золотом и серебром. Это послужило основанием для выделения перспективных площадей на медно-никелевые месторождения Норильского типа в ранге потенциального рудного узла и трёх рудных полей.

*Ключевые слова:* Cu-Ni оруденение, Норильский рудный район, Вилюй-Мархинское междуречье, прогноз месторождений.

ИГНАТОВ ПЁТР АЛЕКСЕЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых<sup>1</sup>, академик РАН, petrignatov@gmail.com

ТОЛСТОВ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор<sup>2</sup>, TolstovAV@alrosa.ru

ПРОЦЕНКО ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая отделом<sup>2</sup>, ProtsenkoEV@alrosa.ru

КОЛЕСНИК АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ, научный сотрудник, заведующий лабораторией<sup>2</sup>, KolesnikAYu@alrosa.ru

МАЛЬЦЕВ МИХАИЛ ВИКТОРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, зам. главного геолога<sup>3</sup>, MaltsevMV@alrosa.ru

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва

<sup>2</sup> НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

<sup>3</sup> Вилюйская геологоразведочная экспедиция (ВГРЭ) АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

## Vilyui-Markha interfluve of Yakutia: a region prospective for Cu-Ni-PGM mineralization

P. A. IGNATOV<sup>1</sup>, A. V. TOLSTOV<sup>2</sup>, A. Yu. KOLESNIK<sup>2</sup>, E. V. PROTSENKO<sup>2</sup>, M. V. MALTSEV<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow

<sup>2</sup> NIGP AK «ALROSA» (PAO), Mirny

<sup>3</sup> Vilyuisk Geological Exploration Expedition (VGRE) of JSC ALROSA (PJSC), Mirny

Materials are discussed on geologically similar structure of Norilsk ore district (NOD) and Vilyui-Markha interstream area (VMIA), which implies the latter prospects for Cu-Ni-PGM mineralization. Data is provided on Cu-Ni-Co-Zn mineral occurrences within Ygyattinsky diamondiferous region centered on VMIA. Geological similarities of NOD and VMIA are summarized below.

Both regions are located in Mesozoic tectonomagmatic activation domain at the edge of large troughs: NOD is localized in the Siberian platform foredeep, and VMIA lies at Vilyui syncline margin. NOD deposits are hosted by centroclines of large brachysynclines at slopes of Pyasinskoye dome. Within VMIA, prospects are located at Syuldyukarskoye dome slopes in marginal parts of large troughs. NOD and VMIA comprise Paleozoic marl-carbonate strata overlain by carbonaceous Carboniferous-Permian overburden, which could be assimilated by basaltic magma in Mesozoic contributing to its ore differentiation. Norilsk-Kharaelakh ore-bearing intrusion in VMIA appears to be similar to Kholomolokh sulfide-rich intrusion with its inferred extensive ore-bearing sills. They have similar composition and structure including presence of pegmatites. Ore-controlling Norilsk-Kharaelakh fault is believed to be similar to Khatyryk-Kholomolokh fault, which was traced for 24 km by drilling and is one of sutures within deep-seated kimberlite-controlling Vilyui-Markha zone. This fault's impact zone host concentrated geochemical anomalies and Cu-Ni-Co-Zn-Pt-Au-Ag Khomustakh occurrence. Based on this, Norilsk-type Cu-Ni prospects ranked as a potential ore cluster and three ore fields were identified.

*Key words:* Cu-Ni mineralization, Norilsk ore district, Vilyui-Markha interfluves, deposit forecast.

Норильский рудный район, включающий уникальные по составу и масштабам комплексные медно-никелевые с платиноидами месторождения, находится в области мезозойской тектоно-магматической активизации и проявлений глубинного траппового магматизма Восточно-Сибирской платформы. Его геологическое строение и закономерности локализации месторождений хорошо изучены и отражены в трудах А. Е. Воронцова, А. Д. Генкина, М. Н. Годлевского, Д. А. Додина, В. В. Дистлера, О. А. Дюжинова, Е. С. Заскинда, В. В. Золотухина, П. Н. Кабанова,

А. А. Кордакова, В. К. Котульского, О. М. Конкиной, В. И. Кочнева-Первухова, Н. А. Криволицкой, В. Ф. Кравцова, А. П. Лихачева, В. А. Люлько, Г. М. Маслова, Л. К. Мирошниковой, Г. Г. Моора, А. В. Радько, Г. Б. Роговера, Б. Н. Рожкова, В. В. Рябова, В. М. Струнина, А. В. Тарасова, В. К. Степанова, Д. М. Туровцева, Н. Н. Урванцева, В. А. Федоренко и многих других исследователей.

В пределах Западной Якутии известны сопоставимые по масштабу с НРР районы, в которых также проявлен мезозойский трапповый магматизм

### 1. Соотношение рудовмещающих и потенциально рудоносных геологических формаций Норильского рудного района и Вилуй-Мархинского междуречья

Норильский рудный район		Вилуй-Мархинское междуречье	
Формации	Возраст	Формации	Возраст
Континентальная вулканогенная трапповая	Пермо-триасовый	Континентальная вулканогенная трапповая	Пермо-триасовый
Лимническая угленосная	Среднекарбонный-пермский	Лимническая угленосная	Среднекарбонный-пермский
Сульфатно-карбонатная, карбонатная	Средне-позднедевонский	Карбонатная	Раннеордовикский
Терригенно-карбонатная	Раннедевонский	Сульфатно-терригенно-карбонатная	Позднекембрийский

и глубинные образования, содержащие кимберлиты. Часть из них входит в хорошо изученные алмазоносные районы Западно-Якутской провинции. Эти обстоятельства послужили основой для оценки перспектив на Cu-Ni с EPG оруденение одного из таких районов – Виллюй-Мархинского междуречья (ВММ). В нём, как будет показано ниже, имеется наибольшее число аналогий с НРР и признаки таких месторождений.

Виллюй-Мархинское междуречье (ВММ) включает Ыгыаттинский кимберлитовый район с недавно открытым Сюльдюкарским алмазоносным полем. Он охватывает краевую часть Виллюйской синеклизы, что соответствует расположению НРР в крупном краевом прогибе Сибирской платформы, и считается прогнозным критерием [3, 9, 11]. Имеющиеся геолого-геофизические материалы включают результаты сейсмических и магнитометрических съёмок и поискового бурения на алмазы. Эти данные позволили выделить в ВММ разноранговые тектонические разрывные и пликативные структуры, в том числе проявленные во время мезозойской тектоно-магматической активизации.

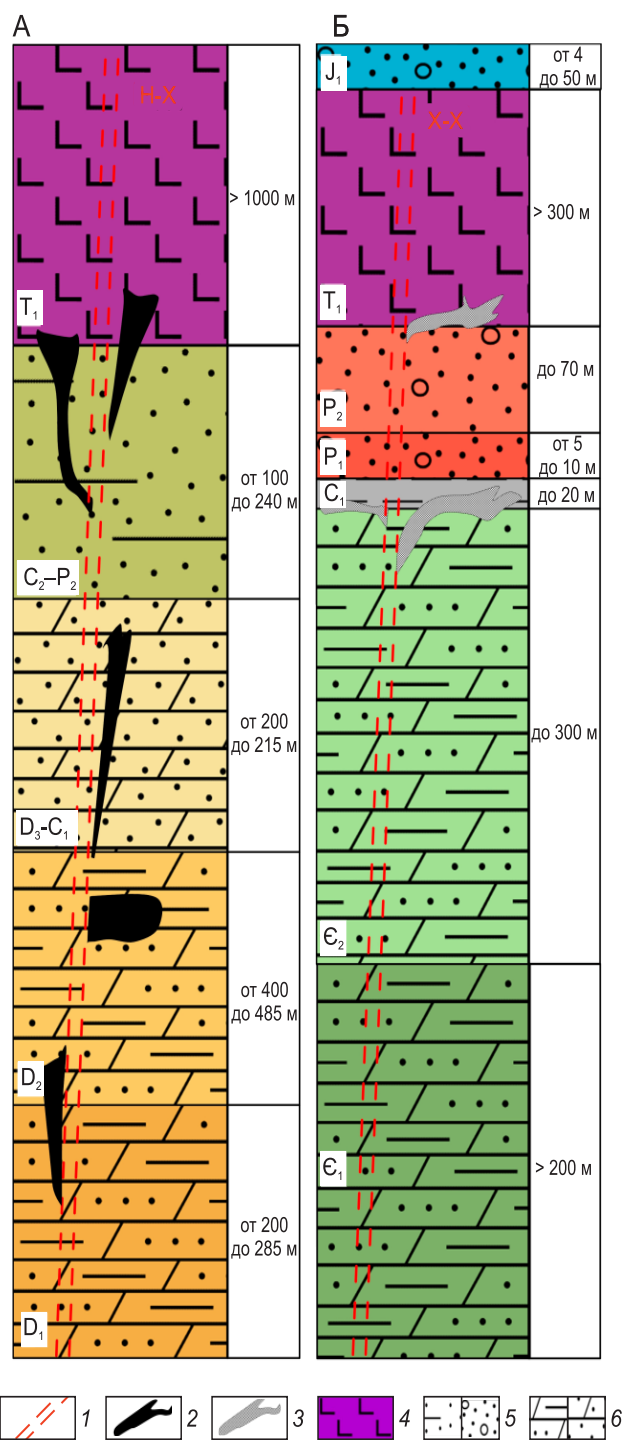
Предположение о перспективах медно-никелевого оруденения Виллюй-Мархинского междуречья базируется на ряде аналогий в его геологическом строении с Норильским районом и подтверждается имеющимися проявлениями Cu, Ni, Co и благородных металлов.

*Общие черты геологического строения НРР и ВММ и истории их развития* заключаются в ряде положений.

В Норильском рудном районе имеются палеозойские мергельно-сульфатно-карбонатные толщи (под угленосными карбон-пермскими отложениями), в целом перекрытые пермо-триасовыми траппами [3, 4, 9, 10, 11, 12–14, 18 и др.]. По мнению ряда исследователей, ассимиляция сульфатной серы и органического вещества мезозойской базальтоидной магмой предопределила формирование сульфидных рудных расплавов и в конечном счёте месторождений [2, 19, 24].

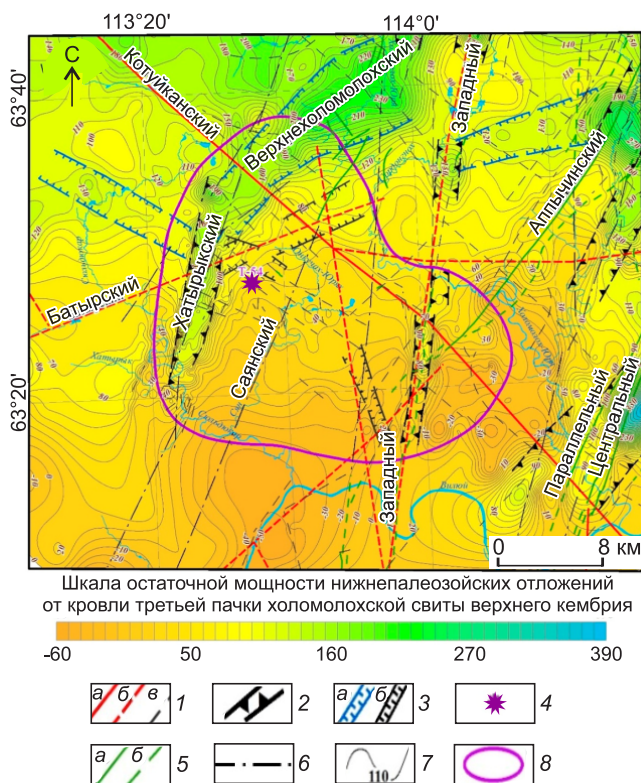
В Виллюй-Мархинском междуречье под траппами распространены кембрийские мергельно-сульфатно-карбонатные породы и карбон-пермские угленосные отложения, которые могли быть переработаны расплавами основного состава во время формирования триасовых траппов. Ряды геологических формаций двух районов приведены в табл. 1, позиция месторождений на рис. 1.

Уникальные Норильское, Октябрьское и Талнахское месторождения Cu, Ni, Pt и Pd с попутными Co и Au приурочены к центриклиналям крупных Норильской и Хараелахской брахисинклиналей,



**Рис. 1. Позиция рудоносных интрузий траппов в разрезах осадочного чехла: А – в Норильском районе, по [14], Б – в районе Холомолохской интрузии:**

1 – разломы (НХ – рудоносный Норильско-Хараелахский, ХХ – потенциально рудоносный Хатырык-Холомолохский); интрузии: 2 – рудоносные, 3 – предполагаемые рудоносные; 4 – платобазальты и туфы основного состава; 5 – угленосные терригенные отложения; 6 – карбонатные породы, содержащие гипс и ангидрит



**Рис. 2.** Палеотектоническая схема Сюдьюкарского кимберлитового поля по результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных [22]:

1 – разрывные нарушения платформенного чехла, выделенные геолого-геофизическими методами: *а* – глубинные, *б* – основные, *в* – предполагаемые; 2–3 – линейные прогибы в структуре нижнепалеозойских пород: 2 – грабены сложного строения ВМЗ, 3 – предполагаемые грабены Батырской ветви: *а* – среднепалеозойского и *б* – мезозойского возрастов; 4 – кимберлитовое тело; 5–6 – дайки долеритов среднепалеозойского возраста: 5 – выделяемые уверенно: *а* – выходящие на поверхность кимберлитовмещающих пород, *б* – «слепые», *б* – трассируемые по косвенным признакам; 7 – изопакиты нижнепалеозойских отложений от кровли третьей пачки холомоховской свиты верхнего кембрия, м; 8 – контур Сюдьюкарского кимберлитового поля

выполненных каменноугольно-пермскими угленосными отложениями и вулканитами перми–триаса.

Месторождения приурочены к местам осложнения мульды антиклиналями и располагаются на их крыльях [3, 4, 6, 9, 11, 13, 24 и др.]. Так, Норильский, Талнахский и Вологочанский рудные узлы находятся на склонах Пясинского куполовидного поднятия. В сульфатно-карбонатных толщах девона эти структуры выражены флексурами. Считается, что пликативные структуры сформировались в рифтогенном пермо-триасовом Норильско-Хараелахском

прогибе в результате последующего горизонтального сжатия [3, 4, 6, 11, 13, 26 и др.].

В Виллой-Мархинском междуречье сопоставимыми по размерам с двумя названными брахисинклиналиями являются Сунтарская впадина и серия сближенных мульд, включая Хатырьскую и Холомоховскую (Верхнехоломоховскую) впадины, выделенные геологами НИГП и ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) в Сюдьюкарском поле по структурным поверхностям кембрийской толщи (рис. 2). Имеется в этом районе и сопоставимый с Пясинским поднятием Сюдьюкарский купол [1].

Основные рудные залежи месторождений Норильского района сосредоточены в приосевой части, углублениях дна и фронтальных частях силлов [3, 9, 6, 14 и др.]. Они внедрялись как в угленосные породы карбона–перми, так и по межформационной границе между угленосными отложениями и подстилающей девонской карбонатной толщей.

Источником рудоносных силлов служила специализированная обогащённая сульфидами и летучими компонентами магма, которая поступала из интрузивных центров [3, 4, 10, 12, 13, 19 и др.].

В Виллой-Мархинском междуречье известна силлоподобная Холомоховская интрузия пермо-триасового возраста. На удалении от центра мощность этой вулcano-структуры достигает 280 м. В целом она имеет сходный с рудоносными интрузиями Норильского района состав и строение. По данным И. Г. Коробкова, В. Л. Масайтиса, Е. В. Тугановой, она сложена троктолитовыми долеритами, долеритами, обогащёнными оливином, габбродолеритами, пегматоидными долеритами и долерит-пегматитами. Важно подчеркнуть, что эта последовательность отмечается снизу вверх по разрезу интрузии [1]. В одном из разрезов в составе пегматоидных габбродолеритов определены (в %): плагиоклаз – 50, моноклинный пироксен – 25, магнетит – 5–8, мезостазис – 18–20 [1], что практически соответствует лейкократовым габбро НРР.

Вопросы сравнения петрохимического состава пород Холомоховской интрузии и силлов Норильского района требуют специального рассмотрения. Тем не менее имеется ряд близких характеристик Норильско-Хараелахского силла и Холомоховской интрузии (табл. 2.)

Важно отметить присутствие сульфидов в Холомоховской интрузии в отличие от большинства других крупных одновозрастных вулcano-структур региона [8]. Также надо подчеркнуть и отличия Холомоховской интрузии от Норильско-Хараелахской. Они заключаются в отсутствии пикритов и меньшей магнезиальности (MgO – около 6 %) пород Холомоховской интрузии. Кроме того в породах этого массива

2. Соотношение пород в разрезах Норильско-Хараелахского силла и Холомолохской интрузии (снизу вверх)

Норильско-Хараелахский силл [24]	Холомолохская интрузия [17, 27]
1. Пикриты	1. Троктолитовые долериты и долериты, обогащённые оливином
2. Такситовые габбродолериты	2. Среднезернистые долериты
3. Габбродолериты нормального ряда	3. Габбродолериты
4. Лейкогаббро	4. Пегматоидные габбродолериты и долерит-пегматиты
5. Габбродиориты и пегматоиды	5. Эндоконтактовые микродолериты и долеритовые порфириты

содержание никеля в два раза ниже кларка основных пород [1]. Возможно, это указывает на значительное перераспределение никеля, а магматические породы, обогащённые никелем и другими рудными элементами, сосредоточены в основании Холомолохской интрузии, которое практически не изучено.

Центральная часть этой интрузии намечена по ореолу прямого и обратного намагничивания, расположенному на водоразделе р. Кюельях и правого притока р. Холомолох-Юрях [8]. По представлениям И.Г. Коробкова [8] силлы этой интрузии распространяются вдоль палеодолин карбон-пермского возраста.

Силлы распространялись от центра Холомолохской интрузии, вероятно, в виде «лепёшек» и вытянутых «языков». Они внедрялись в разные стороны, в том числе на юг в сторону унаследованной в перм-триасе Холомолохской впадины (рис. 3). Отдельные силлы могли протягиваться вдоль разломов в юго-западном и южном направлениях. Юго-западное направление предопределяется дайками долеритов, выделенными по магнитометрии, южное устанавливается по резким литолого-фациальным границам, приведённым на картах по ботубобинской и ахтарандинской свитам угленосного карбона-перми [16].

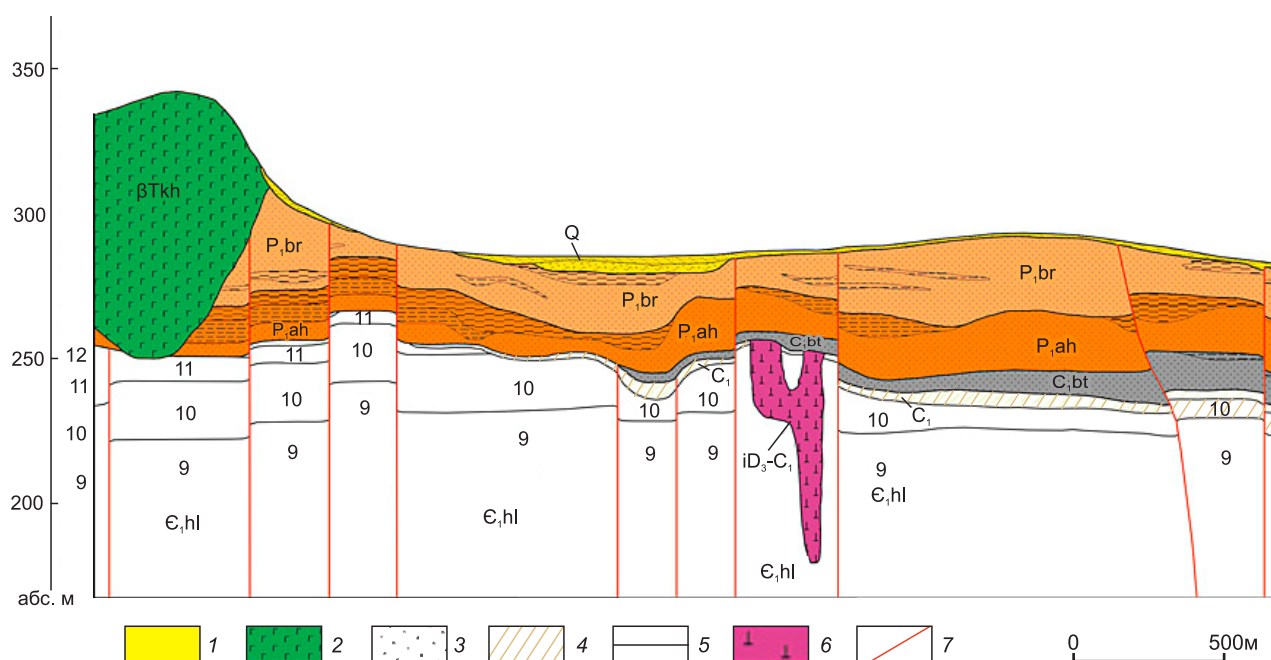
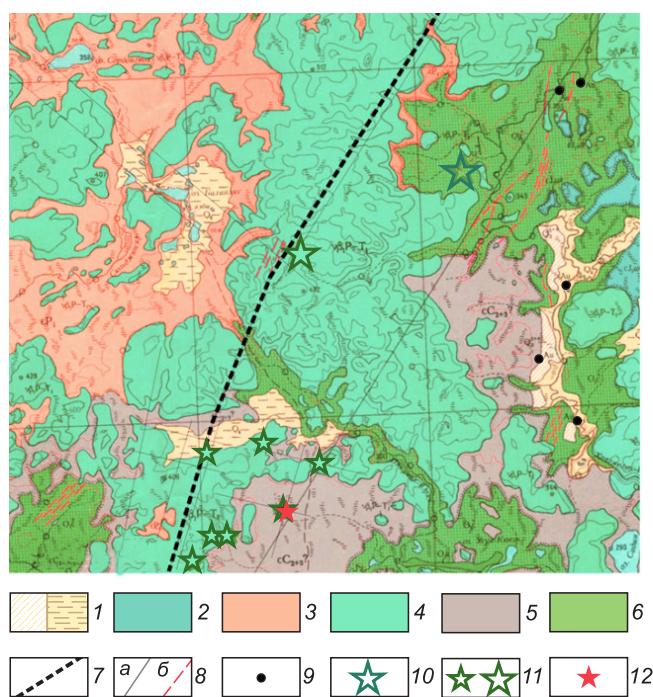


Рис. 3. Фрагмент геологического профиля по центральной части Сюдьюкарского кимберлитового поля:

1 – четвертичные отложения; 2 – силл долеритов пермо-триасового возраста; 3 – угленосные песчанки и аргиллиты перми; 4 – терригенные угленосные породы нижнего карбона; 5 – пакки глинисто-карбонатных пород холомолохской свиты нижнего кембрия; 6 – кимберлиты; 7 – разломы



**Рис. 4.** Положение разломов Вилуй-Мархинской и других зон глубокого заложения, прослеженных по данным бурения, и позиция Cu-Ni-Co-Zn проявлений на геологической карте масштаба листа Р-50-1 1 : 200 000 [1]:

1 – четвертичные отложения; 2 – юрские угленосные терригенные отложения; 3 – туфы основного состава перми–триаса; 4 – силлы долеритов перми–триаса; 5 – терригенные угленосные отложения среднего–верхнего карбона–перми; 6 – терригенно-карбонатные породы верхнего кембрия; 7 – зона предполагаемого Хатырык-Холомолохского разлома; 8 – другие разломы: а – установленные по данным изучения керна в кембрийской толще, б – предполагаемые по интерпретации магнитометрии; 9 – проявления россыпного золота; 10 – Хомустакское рудопроявление Cu-Co-Ni-Zn; 11 – концентрационные аномалии Cu-Co-Ni-Zn; 12 – кимберлиты

Следует предположить, что как и в НРР [6, 9 и др.] отдельные «языки» силлов должны были проникать в осадочную толщу вдоль осей крупных флексур. Последние устанавливаются по стратоизогипсам кембрийской толщи и маркируют разломы Вилуйско-Мархинской зоны [16, 22].

Один из вероятных протяжённых от центра Холомолохской интрузии силлов мог выполнять меридиональную впадину, пересекающую широтный фрагмент долины р. Сордонгнох. Ширина впадины составляет 1,7–1,8 км, а её протяжённость от центра Холомолохской интрузии – 11 км. Другой силл мог продвигаться в юго-западном направлении и распространяться в Хатырыкскую грабен-синклиналь карбон-пермского возраста. Фрагменты «языков» сил-

лов устанавливаются по данным бурения, что видно на геологическом профиле, построенном по центральной части Сьюльдюкарского кимберлитового поля (см. рис. 3).

Есть основания полагать, что в ВММ во время внедрения силлов перми–триаса хотя бы часть из известных «трапповых окон» являлась палеоподнятиями. На это указывают разрезы по скважинам в Сьюльдюкарском поле, в которых пермо-триасовые туфы и базальты имеют нарушенное залегание, а подстилающие угленосные отложения карбона–перми и нижнего палеозоя – горизонтальное. В этой связи краевые части таких окон могли быть участками выклинивания вблизи поднятий силлов Холомолохской интрузии. Они представляются перспективными для обнаружения Cu-Ni оруденения.

Известно, что распространение рудоносных силлов Норильского района контролируется Норильско-Хараелакским глубинным разломом. Их осевые рудоносные части простираются вдоль центрального тектонического шва этого нарушения. Положение месторождений в углублениях дна силлов и их фронтальных зонах предопределены наличием поперечных тектонических структур [6, 9, 14, 24 и др.].

В районе Вилуй-Мархинского междуречья имеются разломы Вилуйско-Мархинской зоны глубокого заложения, которые контролируют положение девонских даек и кимберлитов Сьюльдюкарского алмазоносного поля [15, 16, 22, 23]. Изучение тектонических признаков разломов по керну поисковых скважин показало длительное развитие нарушений в качестве сбросов в среднем палеозое во время внедрения силлов и даек девонских траппов, сдвигов во время формирования кимберлитов и подновления во время образования траппов пермо-триаса [7].

При картировании по равномерной сети отдельных швов этой зоны на основании ряда признаков в керне скважин, вскрывших разрезы нижнего палеозоя, установлено, что в центральной части Сьюльдюкарского поля имеются как минимум три тектонических шва север-северо-восточного простирания (рис. 4).

Один из них контролирует ось Хатырыкской грабен-синклинали и соответствующую палеодолину карбон-пермского возраста. В узле пересечения другого с субширотно-северо-западным сдвигом локализованы Сьюльдюкарские кимберлиты. Предполагается, что этот разлом был подновлён в пермо-триасовый этап тектоно-магматической активизации региона.

Роль рудоконтролирующего Норильско-Хараелакского разлома в рассматриваемом районе ВММ мог играть разлом, ограничивающий с востока Хатырыкскую грабен-синклиналь каменноугольного возраста и с северо-запада Холомолохскую впадину. Его можно обозначить как Хатырык-Холомолохский

## 3. Содержания Co, Ni, Cu, Zn (в г/т) в породах кембрия и карбонатных и пирит-карбонатных новообразованиях Сьюльдюкарского поля

№ пп	Образец	Глубина, м	Состав	Co	Ni	Cu	Zn
1	143.825-100.975	89,7	Мергель	4,8	19,4	3,98	31,5
2	143.825-100.975	89,1	<b>Известняк</b>	<b>27,5</b>	<b>113,8</b>	<b>745,2</b>	<b>440,2</b>
3	143.825-100.975	72,5	Мергель	7,5	25,4	12,7	30,7
4	143.825-100.975	50,5	Мергель	6,3	17,4	16,8	24,4
5	20-24	63	Цемент карбонатной брекчии	9,9	46,9	18,9	31,9
6	<b>20-24</b>	<b>71,5</b>	<b>Цемент карбонатной брекчии</b>	<b>32,8</b>	<b>317,5</b>	<b>45,6</b>	<b>328,0</b>
7	20-24	83	Кальцит-доломитовый прожилок	20,1	99,8	50,3	52,0
8	146,5-98,5	147	Прожилок кальцита	2,7	4,8	10,9	35,0
9	146,5-96	126,6	Прожилок кальцита	3,4	8,7	10,6	38,24
10	<b>147,5-100</b>	<b>112</b>	<b>Прожилок кальцита</b>	<b>120,6</b>	<b>350,7</b>	<b>42,9</b>	<b>20,8</b>
11	147,5-96	73	Прожилок кальцита	2,1	1,2	11,5	25,4
12	<b>147-97</b>	<b>45,7</b>	<b>Пирит-карбонатный прожилок</b>	<b>22,88</b>	<b>89,38</b>	<b>1020,0</b>	<b>19,98</b>
13	164,5-108	125,0	Кальцит-доломитовый прожилок	2,7	4,9	23,4	<b>231,8</b>
14	<b>164,5-108</b>	<b>115,3</b>	<b>Пиритизированный роговик</b>	<b>626,9</b>	<b>998,11</b>	<b>832,7</b>	<b>4255</b>
15	168,5-110	173,0	Прожилок осветления	11,5	42,45	26,63	46,62

Примечание. Жирным выделены концентрационные аномалии.

разлом. В центральной части кимберлитового поля этот разлом прослежен в север-северо-восточном направлении по сети бурения  $0,5 \times 0,5$  км на 8 км, далее на северо-восток по сети  $2 \times 4$  км на 20 км. Например, в одной из скважин, расположенной в краевой части Холмолохской впадины и в оси флексуры северо-восточного простирания, вскрыт разрез кембрия с углами падения слоёв  $75^\circ$ .

*Признаки Cu-Ni оруденения в ВММ.* Отмеченные выше предпосылки находят подтверждение в виде признаков медно-никелевых месторождений –

Хомустанского рудопроявления и концентрационных аномалий, расположенных в южном обрамлении Холмолохской интрузии.

По пробам прожилковой карбонатной минерализации, отобраным в Сьюльдюкарском поле в породах нижнего палеозоя, нацеленным на обнаружение признаков кимберлитовмещающих структур, в лаборатории рентгеновских и спектральных методов НИГП АК АЛРОСА (ПАО) выполнено 122 ICP AES анализа на приборе iCAP 6300 Duo производителя Thermo Scientific. Из них лишь в нескольких случаях

4. Содержания некоторых рудных элементов (в г/т) в кальцитовых прожилках из габбро-долеритов пермо-триаса центральной части Сюдьюкарского поля

№ пп	№ скважины	Глубина, м	Co	Ni	Cu	Zn
1	141-96,25	20,5	4,484	9,923	31,1	27,98
2		32	5,666	7,9542	104,1	18,19
3		<b>14,5</b>	<b>38,14</b>	<b>93,364</b>	<b>178,8</b>	<b>93</b>
4	141-96,5	10	8,881	22,823	10,92	4,617
5	142,5-96,75	16	13,25	21,971	50,02	22,91
6		19,5	19,18	27,627	49,79	31,29
7		24,5	8,759	17,911	96,4	12,89
8		25	19,75	33,989	106	66,98
9		29	20,28	35,024	75,23	42,48
10	<b>142,5-97,25</b>	35	23,84	26,625	107	49,38
11		<b>36</b>	<b>59,97</b>	<b>99,487</b>	<b>188,5</b>	<b>143,9</b>
12	<b>142,5-98,25</b>	<b>21</b>	<b>58,48</b>	<b>119,8</b>	<b>187,1</b>	<b>147,8</b>
13	145,5-102	27	19,52	50,449	53,99	30,16
14	146,5-102,5	12	5,433	6,4885	25,49	14,55
15	146,5-103	6	14,02	36,514	47,61	19,86
16		22,5	10,63	30,09	58,15	21,25
17	146-102,5	4	5,143	12,563	19,49	14,06
18		5	7,345	14,321	23,3	29,17
19	146-105	15	11,89	24,188	16,79	28,07
20*	<b>146,5-103</b>	<b>128,5</b>	<b>77,88</b>	<b>148,34</b>	<b>82,13</b>	<b>440,20</b>
21	147,5-102,5	8	5,948	7,0503	31,77	10,48
22	147-102,5	17,5	11,7	26,606	43,31	23,37

Примечание. \* проанализированы сульфиды из силла пермо-триасового долерита.

обнаружены комплексные концентрационные аномалии Cu-Ni-Co-Zn.

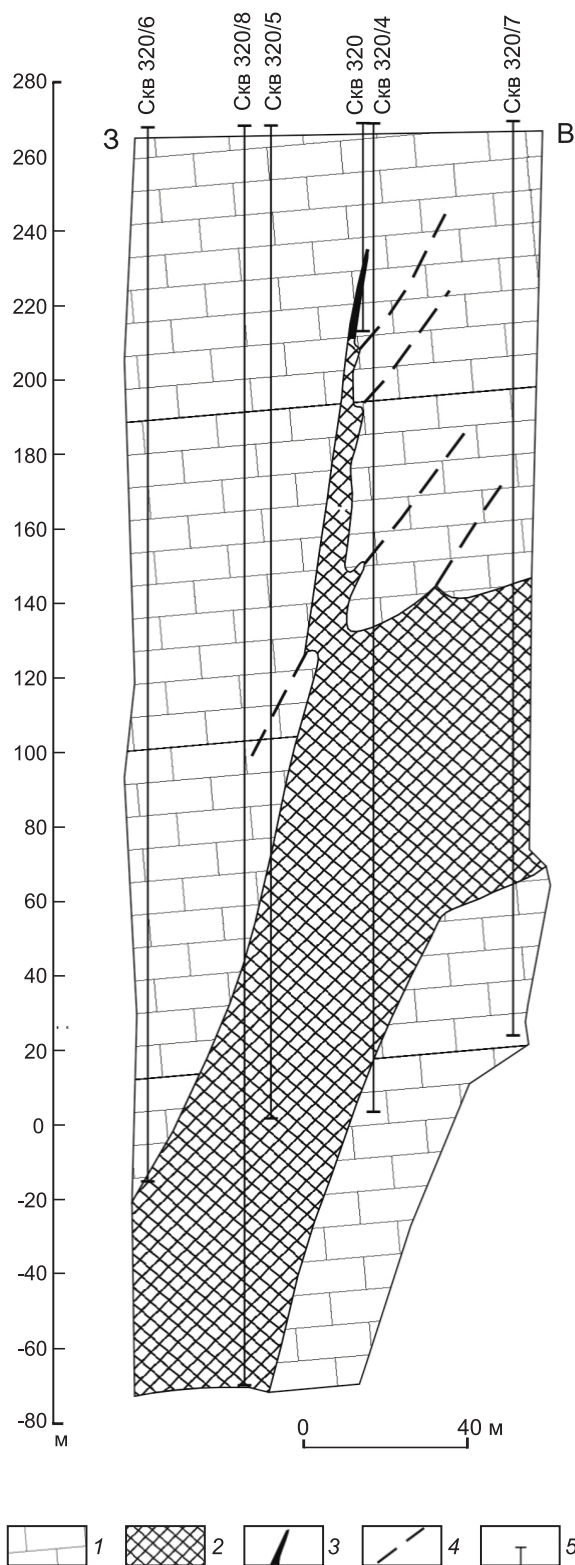
Так, в прожилке зелёного и белого кальцита, отобранного из доломитов кембрия с глубины 112 м из скв. 147,5-100, получены высокие концентрации Ni – 0,035 и Co – 0,012 %. Эта скважина расположена в зоне влияния север-северо-восточного разлома Виллойско-Мархинской зоны, в котором имеются упомянутые кимберлиты. Скважина находится в 536 м на запад-северо-запад от геофизической аномалии ан-Vtem14 S 3/1. Этот разрез вскрывает краевую часть долеритов перми-триаса.

В образце пирит-карбонатного прожилка в доломите, взятого с глубины 45,7 м из скв. 147-97, установлены концентрации Cu – 0,1 и Ni – 0,009 %. В этом участке в породах кембрия имеет место ком-

плексная аномалия, включающая концентрации Ni, Co и др., установленная по данным литогеохимического опробования и рентген-флюоресцентных анализов геологами Виллойской ГРЭ АК АЛРОСА (ПАО). Скв. 147-97 находится в Хатырык-Холомолохском разломе Виллойско-Мархинской зоны.

Примеры фоновых и аномальных содержаний названных рудных элементов приведены в табл. 3.

Комплексные геохимические аномалии Cu-Ni-Co-Zn обнаружены в прожилках кальцита и кальцита с сульфидами, отобранных из пермо-триасовых силлов габбро-долеритов по 13 скважинам, пройденным в центральной части Сюдьюкарского поля (табл. 4). Скважины расположены на расстоянии до 4,5 км от кимберлитов. В двух образцах кальцита из скважин 142,5-97,25 и 142,5-98,25 установлена концентрация



**Рис. 5. Разрез Хомустахского рудопоявления [1]:**

1 – доломиты; 2 – тектонические брекчии с вкрапленностью сульфидов; 3 – халькопирит-сфалеритовая жила (место отбора пробы на химический анализ); 4 – тектонические трещины; 5 – скважины и их номера

отмеченных элементов. Эти разрезы также расположены в зоне влияния Хатырык-Холомолохского разлома.

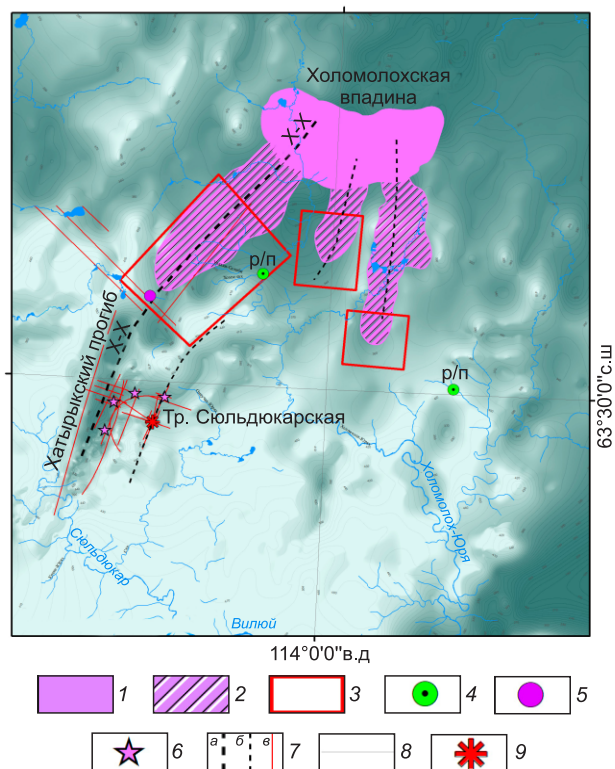
В скв. 146,5-103 на глубине 128,5 м в кровле разреза нижнего палеозоя под угленосными пермскими отложениями вскрыт силл долеритов мощностью 15 см, в котором имеются массивные мощностью 5 мм и вкрапленные выделения сульфидов. В них по данным ИСР АЕС анализа оказались аномальные концентрации (в %): Ni – 0,0148, Cu – 0,0082, Co – 0,0077 и Zn – 0,044.

Намного севернее в образце пиритизированного чёрного, ороговикованного доломита, отобранного из скв. 164,5-108 с глубины 115,3 м, установлено (в %): Ni – 0,0998, Cu – 0,0833, Co – 0,0627, Zn – 0,426 (см. табл. 2). В этом разрезе наблюдаются признаки тектонических нарушений и скарнирования. В цементе брекчии карбонатных пород, на глубине 124 м рентгенофазовый анализ, выполненный в лаборатории НИГП АК АЛРОСА (ПАО) кандидатом геолого-минералогических наук Л.В. Лисковой, показал наличие 87 % сапонита. Пробы взяты из кровли нижнепалеозойской толщи.

Во многих скважинах на этой площади в прикровельной части нижнепалеозойских разрезов отмечены силлы долеритов. Эти разрезы расположены в поле распространения пермо-триасовых долеритов, которые следует отнести к Холомолохской интрузии. Важно отметить, что во многих поисковых скважинах этой площади именно в кровле нижнепалеозойских разрезов встречены и чёрно-серые роговики, и проявления скарноидов, охватывающих десятки метров мощности разрезов кембрия.

В рассматриваемом районе известно Хомустахское рудопоявление, в котором встречена вкрапленная и прожилковая сульфидная минерализация в цементе брекчий и жиле в карбонатных породах холомолохской свиты (рис. 5).

Установлены наибольшие содержания (в %): Ni – 1,3–1,5, Cu – 2,1–3,8, Co – 0,43, Zn – 0,7–26,5, As до 2,0, а также (в г/т): Ag – 192, Au – 0,05, Pt – 1,5 [1, 5]. Среди рудных минералов определены пирит, халькопирит, сфалерит, франклинит, никелин, арсенопирит, коринит, раммельсбергит, оксиды меди и др. Рудопоявление вскрыто бурением и не оконтурено. Оно расположено в Вильюско-Мархинской зоне разломов и по составу полезных компонентов его следует считать прямым признаком медно-никелевых с платиноидами месторождений. Напомним, что на Октябрьском месторождении НРР медно-никелевые руды частично располагаются в подстилающих силл ороговикованных карбонатных породах девона [18, 24]. Позиция Хомустахского рудопоявления в верхней части кембрийской карбонатной толщи и отмеченного



**Рис. 6. Перспективные на Cu-Ni оруденение площади в Ыгыаттинском районе Вилуй-Мархинского междуречья:**

1 – условный контур Холомолохской интрузии; 2 – предполагаемые контуры рудоносных триасовых силлов; 3 – перспективные площади; 4 – Cu-Ni Хомустанское рудопоявление; 5 – точка минерализации Cu-Ni в скважине 164,5-108; 6 – концентрационные аномалии Cu-Co-Ni-Zn; 7 – разломы: а – предполагаемый главный Хатырык-Холомолохский (Х-Х), б – установленные по данным бурения и анализу магнитометрии, в – установленные по признакам в керне в кембрийской толще; 8 – цветной рельеф кровли кембрия; 9 – кимберлитовая трубка Сюльдюкарская

выше проявления Cu-Ni-Co в роговиках кембрия в скв. 164,5-108 очень схожа с оруденением Октябрьского месторождения.

Следует подчеркнуть, что медно-никелевые руды краевых частей Октябрьского месторождения сопровождаются концентрациями цинка [18, 25]. Это же характерно и для Хомустанского рудопоявления и отмеченных выше аномалий ВММ.

Надо указать, что Хомустанское рудопоявление, судя по минеральному составу руд (арсениды никеля и др.) и ассоциации с кальцитом, слагающим жилы и цемент тектонических брекчий карбонатных пород, по-видимому, относится к наиболее поздним гидротермальным концентрациям. Они сформированы в широком ореоле от предполагаемых богатых собственно магматических руд. При этом Хомустанское

рудопоявление находится на площади, где пермотриасовые долериты встречаются в виде эрозионных останцов небольших (в первые км<sup>2</sup>) тел, то есть в районе палеоподнятий, а не в окончании и углублениях «языка» силла, где предполагаются месторождения.

Следует отметить закономерное увеличение содержания типичных для руд Норильского типа аномальных концентраций Cu, Ni, Co и Zn в направлении с юго-запада на северо-восток, по мере приближения к центру Холомолохской интрузии. Так, например, концентрация Ni на протяжении 24 км меняется следующим образом (в %): 0,0148–0,035–0,0998–1,5. То есть имеет место составляющая направленного рудно-геохимического ореола.

Признаком Cu-Ni с платиноидами руд является присутствие золота и платины в аллювии рассматриваемого района, при этом по платине не установлены коренные источники [28].

Таким образом, имеются прямые рудно-геохимические признаки Cu-Ni оруденения, в том числе в краевой части Холомолохской дифференцированной интрузии, где вероятны протяжённые рудовмещающие силлы.

*Перспективные на Cu-Ni оруденение площади в ВММ.* Изложенные данные заставляют ставить вопрос о пересмотре геолого-геофизических данных по Вилуй-Мархинскому междуречью с позиций прогноза медно-никелевых с платиноидами месторождений. По имеющимся материалам наиболее интересной в этом отношении территорией надо считать северо-восточный фланг Сюльдюкарского кимберлитового поля, где на склоне одноимённого купольного поднятия предполагаются окончания протяжённых, вероятно, рудоносных силлов, ответвляющихся от центра Холомолохской интрузии.

В целом перспективная территория соответствует рангу рудного узла и составляет порядка 50 × 50 км с условным центром у устья р. Хомустан, впадающей в р. Холомолох-Юрях. Она включает Хомустанское рудопоявление и часть Верхне-Сюльдюкарской поисковой на алмазы площади, где имеется указанная Cu-Ni-Co-Zn аномалия в породах кембрия.

Внутри потенциального рудного узла можно локализовать три площади (рис. 6).

Первая западная перспективная площадь определена предполагаемым протяжённым на юго-запад силлом и его вероятным окончанием. Эта фронтальная часть должна быть в 10–12 км юго-западнее истоков р. Хомустан. В её пределах расположены одноимённое рудопоявление и отмеченная выше Cu-Ni-Co-Zn аномалия.

Судя по структурным картам, один из силлов, отходящих от Холомолохской интрузии, мог продвигаться

и вдоль меридиональной грабен-синклинали и заканчиваться на юге в 10–11 км южнее впадения р. Кюельях в р. Холомолох-Юрях. Это вторая перспективная площадь.

Третья перспективная площадь расположена южнее. Здесь силл предполагается над локальной мульдой, выделенной по стратоизогипсам кембрия [23]. Её центр расположен в 9,5 км на восток-северо-восток от впадения р. Холомолох-Юрях в р. Сордонгнох. Примерно в 10 км юго-западнее условного контура этой площади в долине правого притока р. Аппыча известно проявление меди, цинка и серебра [1].

Нельзя исключать и перспективы северного фланга центральной части Сьюльдюкарского алмазонасного поля, где вскрыты концентрации меди, кобальта, никеля и цинка в сульфидах в пермо-триасовом силле долеритов (скв. 146,5-103). Здесь, судя по геологической позиции, площади на окончании Хатырыкской синклинали, можно ожидать месторождения типа норильских.

Согласно геологической карте масштаба 1 : 200 000 предполагаемые силлы во многом эродированы. Следствием этого могут быть россыпные месторождения платины и палладия. На них косвенно указывают проявления россыпного золота, распространённые вдоль меридиональной полосы с запада, севера и юга от центра Холомолохской интрузии [1]. Известно, что в золотых россыпях долины р. Виллюй имеется платина [5, 20, 21, 28]. В первую очередь надо оценить наличие платиноидов в двух россыпных проявлениях золота, расположенных южнее изгиба р. Холомолох-Юрях и южнее слияния р. Холомолох-Юрях и р. Сордонгнох.

Cu-Ni с EPG оруденение следует ожидать в нижних эндо- и экзоконтактах, углублениях дна приосевой и фронтальной зон предполагаемых силлов. Их предполагаемая протяжённость более 12 км, ширина 2,5 км. Выделенные три площади их вероятного окончания представляются потенциальными рудными полями, занимающими десятки квадратных километров.

Второй возможный перспективный рудный узел может быть в центриклинальном замыкании Сунтарской впадины, поскольку её северо-западный борт захватывают разломы Виллюйско-Мархинской зоны глубокого заложения.

**Заключение.** Представленный материал по геологическому строению и условиям локализации медно-никелевых с платиноидами руд Норильского рудного района и Виллюй-Мархинского междуречья, включающего Ыгыаттинский алмазонасный район, позволяет сделать следующие выводы.

Оба района имеют ряд принципиально схожих элементов геологического строения:

- районы располагаются в области мезозойской тектоно-магматической активизации на краю региональных крупных прогибов;
- месторождения НРР и перспективные площади ВММ локализованы в центриклиналях брахисинклиналей на склонах соответственно Пясинского и Сьюльдюкарского поднятий;
- в обоих районах имеются палеозойские мергельно-сульфатно-карбонатные толщи, перекрытые угленосными карбон-пермскими отложениями;
- аналогом Норильско-Хараелахской рудоносной интрузии НРР в ВММ может быть Холомолохская судьфидоносная интрузия, от которой предполагаются протяжённые «рукава» рудоносных силлов; имеется близость их состава и строения, включая наличие пегматоидов;
- аналогом рудоконтролирующего Норильско-Хараелахского разлома может оказаться Хатырык-Холомолохский разлом, который по данным бурения прослежен на 24 км и является одним из швов кимберлитоконтролирующей Виллюйско-Мархинской зоны глубокого заложения;
- в зоне влияния Хатырык-Холомолохского разлома располагаются концентрационные геохимические аномалии Cu-Ni-Co-Zn и Хомустанское рудопроявление Cu-Ni-Co-Zn с платиной, золотом и серебром, которые следует считать прямыми признаками оруденения норильского типа.

На этом основании выделены перспективные площади на медно-никелевые месторождения норильского типа в ранге потенциального рудного узла и трёх рудных полей. Минерализация с концентрациями Cu, Co, Ni и Zn в скв. 164,5-108 находится в непосредственной близости до сотни метров от предполагаемой рудной залежи.

Возможно оруденение на севере центральной части Сьюльдюкарского поля, где в сульфидах мало-мощного силла долерита установлены аномалии Co-Cu-N-Zn.

Необходимо проверить проявления россыпного золота в долине р. Холомолох-Юрях на платину и палладий.

Рекомендуется провести анализ имеющихся геолого-геофизических материалов по Виллюй-Мархинскому междуречью с целью обоснования постановки поисковых работ, включая бурение, на медно-никелевое с платиноидами оруденение норильского типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блажкун Д. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Серия Верхневиллюйская (новая серия). Лист Р-50-1. Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 142 с.

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. *Додин Д. А.* Металлогения Таймыро-Норильского региона. – СПб.: Наука, 2002. – 813 с.
4. *Дюжиков О. А., Дистлер В. В., Струнин Б. М.* и др. Геология и рудоносность Норильского района. – М.: Наука, 1988. – 279 с.
5. *Емельянов В. С., Толстов А. В., Борис Е. И.* и др. К вопросу о коренном источнике платины в бассейне среднего течения р. Вилюй // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы АК «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения: дополнительные материалы по итогам региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений», посвящённой 35-летию ЯГНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Мирный, 2003. – С. 331–333.
6. *Звездов В. С.* Механизмы внедрения базитовой магмы в многослойную толщу чехла Восточно-Сибирской платформы и влияние деформационных свойств пород на размещение и морфологию рудоносных трапповых интрузивов (на примере Норильского района) // Отечественная геология. – 2020. – № 4. – С. 47–74.
7. *Игнатов П. А., Колесник А. Ю., Толстов А. В., Мальцев М. В.* Геологические признаки рудовмещающих структур Сьюльдюкарского кимберлитового поля Якутии // Горный журнал. – 2019. – № 10. – С. 67–71.
8. *Коробков И. Г.* Тектоника, палеогеография и базитовый магматизм алмазоносных районов восточного борта Тунгусской синеклизы. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2015. – 353 с.
9. *Криволицкая Н. А.* Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в норильском районе. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 64 с.
10. *Кривцов А. И., Кочнев-Первухов В. И., Конкина О. М.* и др. Cu-Ni-МПГ месторождения Норильского типа (серия «Модели месторождений благородных и цветных металлов»). – М.: ЦНИГРИ, 2001. – 180 с.
11. *Критерии* прогнозной оценки территорий на твёрдые полезные ископаемые // под ред. Д. В. Рундквиста. – Л.: Недра, 1986. – 751 с.
12. *Лихачев А. П.* Опоискованность Норильского района и перспективы открытия в нем новых Pt-Cu-Ni месторождений // Отечественная геология. – 2020. – № 2. – С. 3–16.
13. *Лихачев А. П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006. – 496 с.
14. *Лихачев А. П.* Условия образования медно-никелевых месторождений // Советская геология. – 1982. – № 6. – С. 31–46.
15. *Максимкина Л. В.* Структурно-тектоническое строение Сьюльдюкарской площади по сейсмоотражающим горизонтам КВ и К2 м. Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути её повышения. – Мирный: НИГП АО АЛРОСА, 2018. – С. 119–123.
16. *Мальцев М. В.* Критерии локализации и вещественно-индикационные признаки Сьюльдюкарского кимберлитового тела как основа прогнозирования месторождений алмазов в Ыгыаттинском районе (Западная Якутия) // Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2019. – 24 с.
17. *Масайтис В. Л.* Трапповая формация бассейна р. Вилюй // Петрография Восточной Сибири. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – Т. 1. – С. 208–255.
18. *Мирошникова Л. К.* Геолого-геохимические предпосылки и признаки локализации медно-никелевого с платиноидами оруденения рудно-магматической системы Талнахского рудного узла // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2017. – 52 с.
19. *Налорет А. Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. – СПб.: СПбГУ, 2003. – 487 с.
20. *Округин А. В., Костянов А. И., Шевченко С. С., Лазаренков В. Г.* Модельный RE-OS возраст минералов платиновой группы из вилюйских россыпей Востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 410, № 3. – С. 372–375.
21. *Округин А. В., Якубович О. В., Эрнст Р. И.* и др. Парагенезисы платиновых металлов в россыпях Сибирской платформы, их возраст и связь с крупными изверженными событиями // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-востока России: мат-лы VIII Всеросс. науч.-практ. конф. В 2-х томах. – 2018. – С. 117–121.
22. *Проценко Е. В.* Структурно-тектонические закономерности локализации разноранговых кимберлитовых таксонов в пределах Вилюйско-Мархинской минерогенетической зоны (Западная Якутия) // Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М.: ФГБУ ЦНИГРИ, 2020. – 24 с.
23. *Проценко Е. В., Горев Н. И.* Сьюльдюкарское кимберлитовое поле, его границы и перспективы коренной алмазоносности по результатам тектонического анализа. Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути её повышения. – Мирный: НИГП АО АЛРОСА, 2018. – С. 148–151.
24. *Радько В. А.* Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района. – СПб.: картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 226 с.
25. *Рябов В. В., Шевко А. Я., Гора М. П.* Магматические образования Норильского района. В 2-х томах. – Новосибирск: Изд-во «Нонпарель», 2000. – 408 с.
26. *Спирidonov Э. М.* Генетическая модель месторождений Норильского рудного района // Смирновский сборник 2019. – М.: МАКС, 2019. – С. 41–113.
27. *Туганова Е. В.* Дифференцированная интрузия в бассейне р. Холмолох // Материалы ВСЕГЕИ. Нов. серия. – Л.: ВСЕГЕИ, 1959. – Вып. 24. – С. 114–124.
28. *Okrugin A. V., Yakubovich O. V., Ernst R. E., Druzhinina Zh. Yu.* Platinum-bearing placers: mineral associations and their <sup>190</sup>Pt-<sup>4</sup>He and re-os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton // *Int. Economic Geology*. – Society of Economic Geologists. – 2020. – V. 115, No. 8. – P. 1835–1853.

## REFERENCES

1. *Blazhkun D. V.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1: 200 000. Seriya Verkhnevilyuyskaya (novaya seriya). List P-50-I. Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200,000. Verkhnevilyuyskaya series (new series). Sheet P-50-I. Explanatory letter]. Moscow, MF VSEGEI publ., 2013, 142 p. (In Russ.)
2. *Grinenko L. N.* Istochniki sery nikelenostnykh i bezrudnykh intruziy gabbro-doleritov na severo-zapade Sibirskoy platformy [Sources of sulfur in nickel-bearing and barren intrusions of gabbro-dolerites in the northwest of the Siberian platform]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1985, No. 1, P. 3–15. (In Russ.)
3. *Dodin D. A.* Metallogeniya Taymyr-Noril'skogo regiona [Metallogeny of the Taimyr-Norilsk region]. St. Petersburg, Nauka publ., 2002, 813 p. (In Russ.)
4. *Dyuzhikov O. A., Distler V. V., Strunin B. M.* et al. Geologiya i rudonosnost Noril'skogo rayona [Geology and ore content of the Norilsk region]. Moscow, Nauka publ., 1988, 279 p. (In Russ.)
5. *Yemelyanov V. S., Tolstov A. V., Boris Ye. I.* et al. K voprosu o korennom istochnike platiny v bassejne srednego techeniya r. Vilyuy [To the question of the primary source of platinum in the basin of the middle reaches of the river Vilyuy]. *Geologicheskiye aspekty mineralno-syryevoy bazy AK "ALROSA": sovremennoye sostoyaniye, perspektivy, resheniya. Dop. M-ly po itogam region. Nauch.-prakt. Konf. "Aktualnyye problemy geologicheskoy otrasli AK "ALROSA" i nauchno-metodicheskoye obespecheniye ikh resheniy"*, posv. 35-let. YAGNIGP TSNIGRI AK "ALROSA", 2003, P. 331–333. (In Russ.)
6. *Zvezdov V. S.* Mekhanizmy vnedreniya bazitovoy magmy v mnogoslouynuyu tolshchu chekhla Vostochno-Sibirskoy platformy i vliyaniye deformatsionnykh svoystv porod na razmeshcheniye i morfologiyu rudonosnykh trappovykh intruzivov (na primere Noril'skogo rayona) [Mechanisms of intrusion of basic magma into the multilayer strata of the cover of the East Siberian platform and the influence of deformation properties of rocks on the location and morphology of ore-bearing trap intrusions (by the example of the Norilsk region)]. *Otechestvennaya geologiya*, 2020, No. 4, P. 47–74. (In Russ.)
7. *Ignatov P. A., Kolesnik A. Yu., Tolstov A. V., Maltsev M. V.* Geologicheskiye priznaki rudovmeshchayushchikh struktur Syuldyukarskogo kimberlitovogo polya Yakutii [Geological features of ore-bearing structures of the Syuldyukar kimberlite field in Yakutia]. *Gornyy zhurnal*, 2019, No. 10, P. 67–71. (In Russ.)
8. *Korobkov I. G.* Tektonika, paleogeografiya i bazitovyy magmatizm almazonosnykh rayonov vostochnogo borta Tunguskoy sineklizy [Tectonics, paleogeography and basic magmatism of diamondiferous regions of the eastern flank of the Tunguska syncline]. Irkutsk, IZK SO RAN, 2015, 353 p. (In Russ.)
9. *Krivolutskaya N. A.* Evolyutsiya trappovogo magmatizma i Pt-Cu-Ni rudoobrazovaniye v Noril'skom rayone [Evolution of trap magmatism and Pt-Cu-Ni ore formation in the Norilsk region]. Moscow, *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK publ.*, 2014, 64 p. (In Russ.)
10. *Krivtsov A. I., Kochnev-Pervukhov V. I., Konkina O. M.* et al. Cu-Ni-MPG mestorozhdeniya Noril'skogo tipa (seriya "Modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov") [Cu-Ni-PGM deposits of the Norilsk type (series "Models of deposits of noble and non-ferrous metals")]. Moscow, TSNIGRI publ., 2001, 180 p. (In Russ.)
11. *Kriterii prognoznoy otsenki territoriy na tverdyye poleznyye iskopayemye* [Criteria for predictive assessment of territories for solid minerals]. Pod red. D. V. Rundkvista, Leningrad, Nedra publ., 1986, 751 p. (In Russ.)
12. *Likhachev A. P.* Opoiskovannost Noril'skogo rayona i perspektivy otkrytiya v nem novykh Pt-Cu-Ni mestorozhdeniy [Prospecting of the Norilsk region and the prospects for the discovery of new Pt-Cu-Ni deposits in it]. *Otechestvennaya geologiya*, 2020, No. 2, P. 3–16. (In Russ.)
13. *Likhachev A. P.* Platino-medno-nikelevyye i platinovyye mestorozhdeniya [Platinum-copper-nickel and platinum deposits]. Moscow, Eslan publ., 2006, 496 p. (In Russ.)
14. *Likhachev A. P.* Usloviya obrazovaniya medno-nikelevykh mestorozhdeniy [Formation conditions of copper-nickel deposits]. *Sovetskaya Geologiya*, 1982, No. 6, P. 31–46. (In Russ.)
15. *Maksimkina L. V.* Strukturno-tektonicheskoye stroyeniye Syuldyukarskoy ploshchadi po seismootrazhayushchim gorizontam KV i K2m. Effektivnost geologorazvedochnykh rabot na almazy: prognozno-resursnyye, metodicheskkiye, innovatsionno-tekhnologicheskkiye puti yeye povysheniya [Structural-tectonic structure of the Syuldyukarskaya area along the seismic-reflecting horizons KV and K2m. The efficiency of geological exploration for diamonds: predictive resource, methodological, innovative and technological ways to improve it]. *Mirnyy, NIGP AO ALROSA*, 2018, P. 119–123. (In Russ.)
16. *Maltsev M. V.* Kriterii lokalizatsii i veshchestvenno-indikatornyye priznaki Syuldyukarskogo kimberlitovogo tela kak osnova prognozirovaniya mestorozhdeniy almazov v Ygyattinskom rayone (Zapadnaya Yakutiya) [Criteria for localization and material-indicator signs of the Syuldyukar kimberlite body as the basis for forecasting diamond deposits in the Ygyattinsky region (Western Yakutia)]. *Avtoreferat. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk, Novosibirsk, IGM SO RAN publ.*, 2019, 24 p. (In Russ.)
17. *Masaytis V. L.* Trappovaya formatsiya basseyna river Vilyuy [Trap formation of the basin]. *Petrografiya Vostochnoy Sibiri*. Moscow, AN SSSR publ., 1962, V. 1, P. 208–255. (In Russ.)
18. *Miroshnikova L. K.* Geologo-geokhimicheskiye predposylki i priznaki lokalizatsii medno-nikelevogo s platino-idami orudneniya rudno-magmaticheskoy sistemy Talnakhskogo rudnogo uzla [Geological and geochemical prerequisites and signs of localization of copper-nickel with platinum mineralization of the ore-magmatic system of the Talnakh ore cluster]. *Avtoreferat. dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk. Moscow, MGRI-RGGRU publ.*, 2017, 52 p. (In Russ.)
19. *Naldret A. Dzh.* Magmaticheskkiye sulfidnyye mestorozhdeniya medno-nikelevykh i platinometallicheskikh rud [Magmatic sulfide deposits of copper-nickel and platinum-metal ores]. SPbGU, 2003, P. 37–43. (In Russ.)

20. *Okrugin A. V., Kostoyanov A. I., Shevchenko S. S., Lazarenkov V. G.* Modelnyy RE-OS vozrast mineralov platinovoy gruppy iz vilyuyskikh rossypey Vostoka Sibirskoy platformy [Model RE-OS age of platinum group minerals from the Vilyui placers of the East of the Siberian platform]. *Doklady Akademii nauk*, 2006, V. 410, No. 3, P. 372–375. (In Russ.)
21. *Okrugin A. V., Yakubovich O. V., Ernst R. I.* et al. Paragenезisy platinovykh metallov v rossypyakh Sibirskoy platformy, ikh vozrast i svyaz s krupnymi izverzhennymi sobyitiyami [Parageneses of platinum metals in the placers of the Siberian platform, their age and connection with major igneous event]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Severo-vostoka Rossii. Mat-ly VIII Vseross. Nauch.-prakt. konf.*, 2018, P. 117–121. (In Russ.)
22. *Protsenko Ye. V.* Strukturno-tektonicheskiye zakonomernosti lokalizatsii raznorangovykh kimberlitovykh taksonov v predelakh Vilyuysko-Markhinskoy mineragenicheskoy zony (Zapadnaya Yakutiya) [Structural-tectonic patterns of localization of different-rank kimberlite taxa within the Vilyui-Markha mineragenic zone (Western Yakutia)]. *Avtoreferat. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk. Moscow, FGBU TSNIGRI publ.*, 2020, 24 p. (In Russ.)
23. *Protsenko Ye. V., Gorev N. I.* Syuldyukarskoye kimberlitovoye pole, yego granitsy i perspektivy korennoy almazonosnosti po rezultatam tektonicheskogo analiza. *Effektivnost geologorazvedochnykh работ na almazy: prognozno-resursnyye, metodicheskiye, innovatsionno-tekhnologicheskiye puti yeye povysheniya* [The efficiency of geological exploration for diamonds: predictive resource, methodological, innovative and technological ways to improve it]. *Mirnyy, NIGP AO ALROSA publ.*, 2018, P. 148–151. (In Russ.)
24. *Radko V. A.* Fatsii intruzivnogo i effuzivnogo magmatizma Noril'skogo rayona [Facies of intrusive and effusive magmatism of the Noril'sk region]. *St. Petersburg, Karto-graficheskaya fabrika VSEGEI publ.*, 2016, 226 p. (In Russ.)
25. *Ryabov V. V., Shevko A. Ya., Gora M. P.* Magmaticheskiye obrazovaniya Noril'skogo rayona [Magmatic formations of the Noril'sk region]. *Novosibirsk, Nonparel publ.*, 2000, 408 p. (In Russ.)
26. *Spiridonov E. M.* Geneticheskaya model mestorozhdeniy Noril'skogo rudnogo rayona [Genetic model of deposits of the Noril'sk ore region]. *Smirnovskiy sbornik 2019, Moscow, MAKS*, 2019, P. 41–113. (In Russ.)
27. *Tuganova Ye. V.* Differentsirovannaya intruziya v basseynе river Kholomolokh [Differentiated intrusion in the basin of the river. Holomolokh]. *Materialy VSEGEI, Nov. seriya. Leningrad, VSEGEI publ.*, 1959, Is. 24, P. 114–124. (In Russ.)
28. *Okrugin A. V., Yakubovich O. V., Ernst R. E., Druzhinina Zh. Yu.* Platinum-bearing placers: mineral associations and their  $^{190}\text{Pt}$ - $^4\text{He}$  and re-os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton. 2020 *Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology*, V. 115, No. 8, P. 1835–1853.