

Геодинамически активные структуры западного фланга Талнахской тектоно-магматической системы

Л.К. Мирошникова¹✉, А.Ю. Мезенцев¹, Н.В. Семенякина¹, Е.М. Котельникова²

¹ Норильский государственный индустриальный институт, г. Норильск, Российская Федерация

² Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

✉mihailfw@icloud.com

Резюме: Рассмотрены проблемы прогнозирования и диагностики геодинамических полей в процессе разработки месторождений полезных ископаемых, позволяющие оценить общий характер геомеханических и геодинамических процессов в массиве горных пород. Установлены границы геодинамически активных структур в границах месторождения с учетом иерархического строения морфоструктурных элементов тектонических нарушений во вмещающих породах и рудоносном горном массиве, а также условий их формирования в полях различных векторных напряжений. По результатам анализа геолого-структурных позиций месторождения выявлены маркирующие признаки границ активных геодинамических зон напряженности, где в процессе техногенной деятельности наблюдаются горные удары, образование полостей и потери запасов. В качестве дополнительных признаков геодинамических активных структур рассматриваются главенствующие раннепалеозойские структурные элементы геологической среды, осложненные пликативными и дизъюнктивными формами позднепалеозойского-раннемезозойского тектонического цикла. Отмечено пространственное соответствие дизъюнктивных деформаций в рудоносной зоне и вмещающей месторождение толще, особенно в условиях развития скученных антиклиналей и синклиналей. Гравитационные и сдвиговые напряжения в горном массиве, обусловленные излиянием лав и ротационным движением литосферы, инициировали формирование структурных форм разрывной тектоники, которую можно соотнести с горст-антиклиналями (сложные антиклинали) в пластичных породах девона, вмещающих рудоносный интрузив, и в самом интрузиве. Отмечено пространственное соответствие данной структуры с зоной сейсмической активности.

Ключевые слова: Норильский регион, Талнахская тектоно-магматическая структура, геодинамически активная зона, складчатые и разрывные нарушения, Норильско-Хараелахский разлом, рудоконтролирующая структура, сейсмоактивность, напряжения в горном массиве

Для цитирования: Мирошникова Л.К., Мезенцев А.Ю., Семенякина Н.В., Котельникова Е.А. Геодинамически активные структуры западного фланга Талнахской тектоно-магматической системы. *Горная Промышленность*. 2020;(3):105–112. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-3-105-112.

Geodynamically Active Structures of Western Flank of Talnakh Orogenic System

L.K. Miroshnikova¹✉, A.Yu. Mezentsev¹, N.V. Semenyakina¹, E.M. Kotelnikova²

¹ Norilsk State Industrial Institute, Norilsk, Russian Federation

² RUDN University, Moscow, Russian Federation

✉mihailfw@icloud.com

Abstract: The problems of forecasting and diagnostics of geodynamic fields during development of mineral deposits are addressed, allowing to estimate the general character of geomechanical and geodynamic processes in the rock mass. The boundaries of geodynamically active structures have been identified within the deposit with account for the hierarchical structure of morphological elements of tectonic faults in the host rocks and ore-bearing rock mass, as well as their formation conditions in the fields of various vector stresses. Based on analysis of geological and structural positions of the field, we revealed marking signs of boundaries of the active geodynamic stress zones, where during the anthropogenic activity rock bursts, cavity formation and loss of reserves are observed. The dominating Early Paleozoic structural elements in the geological settings, complicated with plicative and disjunctive forms of the Late Paleozoic-Early Mesozoic tectonic cycle, are considered as additional features of active geodynamic structures. A spatial correlation between the disjunctive deformations in the ore-bearing zone and the host rock was revealed, especially in conditions of packed anticlines and synclines. Gravitational and shear stresses in the rock mass, caused by lava flows and the rotational movement of the lithosphere, have initiated the formation of structural forms of the fault tectonics which can be correlated with horst-anticlines (complex anticlines) in plastic Devonian rocks that host the ore-bearing intrusion, and in the intrusion itself. The spatial correlation of this structure with the zone of seismic activity is observed.

Keywords: Norilsk region, Talnakh orogenic system, geodynamically active zone, folded deformations and faults, Norilsk-Kharaelakh fault, ore control structure, seismic activity, stresses in the rock mass

For citation: Miroshnikova L.K., Mezentsev A.Yu., Semenyakina N.V., Kotelnikova E.M. Geodynamically Active Structures of Western Flank of Talnakh Orogenic System. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2020;(3):105–112. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2020-3-105-112.

Введение. Структурно-тектонический план Норильского геоблока

Месторождения Норильского промышленного района связаны с внутриконтинентальным рифтогенезом и располагаются в Енисей-Хатангском прогибе – краевой (шовной) структуре северо-запада Сибирской платформы.

Структурно-тектонический план Норильского региона и сопредельных с ним территорий был сформирован в течение четырех тектонических циклов: венд-раннепалеозойского, среднепалеозойского, позднепалеозойского-раннемезозойского и позднемезозойского-кайнозойского.

Первый тектонический цикл ознаменован накоплением карбонатных, терригенных и сульфатно-терригенно-карбонатных отложений, сформировавших нижний структурный этаж осадочного цикла. В течение второго цикла, характеризующегося нисходящими (на начальном этапе) и восходящими (на завершающей стадии) движениями земной коры, формируется мощная толща сульфатно-терригенно-карбонатных осадков второго структурного этажа. В этот период происходит заложение крупных структур региона в том числе Енисейско-Хатангского рифтогенного прогиба.

В период позднепалеозойского-раннемезозойского тектонического цикла отмечается мощное проявлением траппового магматизма. На этой стадии в течение трех этапов формируется мощная толща вулканогенных образований и трапповых интрузий, несущих медно-никелевое оруденение. Одновременно происходит заложение и формирование основных структур современного структурно-тектонического плана региона Норильско-Хараелахского прогиба (НХП) и Тунгусской синеклизы, разобщенных Хантайско-Рыбнинским, Кулюмбинско-Горбиячинским и Кулюмбинско-Летнинскими валами (рис. 1).

Норильско-Хараелахский прогиб (НХП) отнесен к структурам второго порядка. Составной частью прогиба является одноименный малый рифтовый трог, который в современных условиях картируется как желобообразный прогиб, ограниченный литрическими сбросами. В результате смены режима растяжения на режим сжатия прогиб был осложнен поперечными антиклиналями на серию более мелких впадин Хараелахскую (ХВ), Норильскую (НВ) и др., отнесенным к структурам третьего порядка. Норильская (НВ) и Хараелахская (ХВ) впадины разделены куполовидным Кайеркан-Пясинским поднятием (КПП). Каждая из двух впадин содержит по две мульды: первая – Норильскую и Вологодчанскую, вторая – Хараелахскую и Иконскую. Мульды и разделяющее их КПП относятся к структурам четвертого порядка.

Позднемезозойский-кайнозойский цикл характеризуется окончанием процессов рифтогенеза и завершением формирования современного структурного плана территории. Господствовавшие на протяжении длительного периода денудационные процессы, особенно в этапы трансгрессии верхнеплейстоценовых оледенений, в значительной мере смоделировали рельеф территории.

К разрывным структурам второго порядка относится Норильско-Хараелахский разлом – длительно развивающаяся подвижная зона, отвечающая признакам разломов глубинного заложения, имеющий сложное грабеновидное строение. В породах нижнесреднего палеозоя разлом проявлен в виде флексуобразной складки, заложение которой происходило очевидно во время силура.

Структура трассируется в север-северо-восточном направлении вдоль приосевой части Норильско-Хараелахского прогиба (см. рис. 1) и образует прямолинейную зону

северо-северо-восточного простирания протяженностью более 350 км, проявленную во всех изученных горизонтах платформенного чехла. На всем протяжении разлом осложнен крупными оперяющимися разрывами северо-западного и северо-восточного простирания, которые в аномальном магнитном поле четко фиксируются в виде

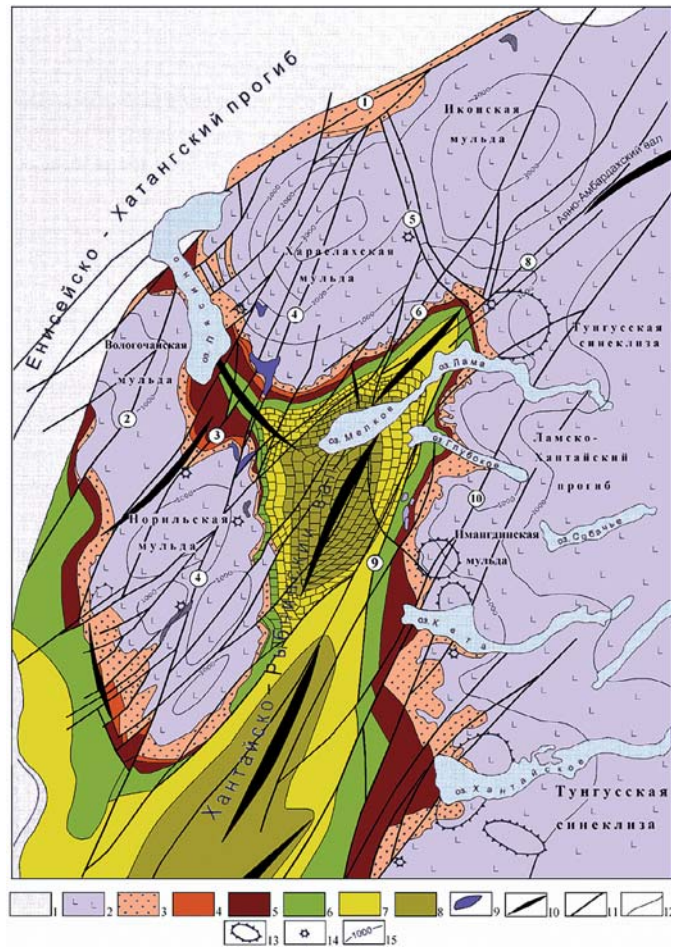


Рис. 1
Схематическая структурно-геологическая карта Норильского района (по материалам НКГРЭ, 1974): 1 – мезо-кайнозойский комплекс рыхлых отложений; 2 – верхнепермско-нижнетриасовый вулканогенный (базальтоидный) комплекс; 3 – верхний палеозойский комплекс терригенных осадочных отложений (тунгусская серия); 4–8 – среднепалеозойский комплекс аргиллито-мергелево-карбонатных сульфатонесных отложений: 4–5 – девона: 4 – верхний-средний; 5 – нижний отдел девона; 6 – силура; 7 – ордовика; 8 – кембрия; 9 – интрузии габбро-долеритов; 10 – оси антиклиналей (поднятий, валов); 11 – разрывные структуры второго порядка: 1 – Северохараелахский, 2 – Пясинский, Летнинский, 3 – Даодыканский, 4 – Норильско-Хараелахский, 5 – Кумгинский, 6 – Нералахский, 7 – Микчандинский, 8 – Имангдино-Летнинский, 9 – Кета-Ирбинский; 12 – геологические границы; 13 – полигенные вулканы; 14 – моногенные вулканы; 15 – изопакиты туфолововой толщи

Fig. 1
Schematic structural and geological map of Norilsk region (based on materials of Norilsk Integrated Geological and Prospecting Expedition, 1974): 1 – Mesozoic-Cenozoic complex of unconsolidated sediments; 2 – Upper Permian-Lower Triassic volcanogenic (basaltoid) complex; 3 – Upper Paleozoic complex of terrigenous sediments (Tungus series); 4–8 – Middle Paleozoic complex of argillite-marl-carbonate sulphate-bearing sediments: 4–5 – Devonian: 4 – upper-middle; 5 – Lower Devonian; 6 – Silurian; 7 – Ordovician; 8 – Cambrian; 9 – gabbro-dolerite intrusions; 10 – anticlinal axes (lifted blocks, arches); 11 – fault structures of the second order: 1 – Severokharaelakh, 2 – Pyasin, Letnin, 3 – Daodikan, 4 – Norilsk-Kharaelakh, 5 – Kumgin, 6 – Neralakh, 7 – Mikchandin, 8 – Imangdino-Letnin, 9 – Keta-Irbn; 12 – geological boundaries; 13 – polygenic volcanoes; 14 – monogenic volcanoes; 15 – isopachyte of lava and tuff layer

линейных зон минимальных значений от -1357 до -150 нТл (рис. 2). Опережающие разрывы совместно с Норильско-Хараелахским разломом сопровождаются интрузиями и образуют сложные тектоно-магматические системы, которые в значительной степени определяют расположение рудных узлов [1, с. 125–139; 2; 3, с. 166–168].

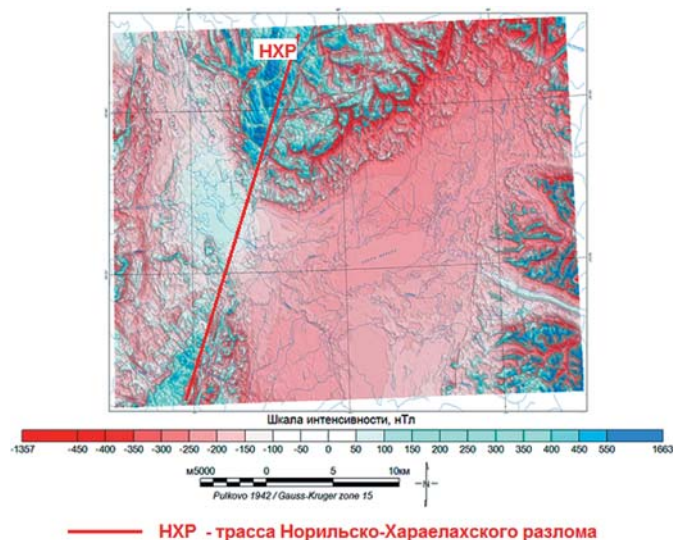


Рис. 2
Карта локальной составляющей аномального магнитного поля (по Ф.Д. Лазареву, 2017)

Fig. 2
Map of the local component of the anomalous magnetic field (based on F.D. Lazarev, 2017)

Практически все месторождения и наиболее значимые рудопроявления Норильского района приурочены к бортам «высоких» валов и антиклиналей, в частности, Норильский, Талнахский и Вологодчанский рудные узлы располагаются в бортах Кайерка-Пясинского куполовидного поднятия. Главными рудоконтролирующими структурами Норильского региона являются Норильско-Хараелахский прогиб и Норильско-Хараелахский разлом [1, с. 138–139; 2; 4, с. 166].

Структурно-тектонический план Талнахской тектоно-магматической системы

Талнахская тектоно-магматическая система (ТМС) расположена в узле пересечения Норильско-Хараелахского разлома (НХР), осевого по отношению к Хараелахской мульде с крупным Водораздельным поперечным разломом, сопровождающим Кайеркан-Пясинское поднятие (КПП), сочленяющуюся с Хараелахской мульдой (см. рис. 1).

Хараелахская мульда в центральной части сложена породами туфолавоваы толщи, на бортах ее обнажаются породы тунгусской серии, верхнего и среднего палеозоя (см. рис. 1, 2). Формирование Хараелахской мульды (ХМ) происходило в период активизации магматической деятельности в нижнемезозойское время. В результате образования мощной толщи туфолавоваы большой плотности пород в формировании структуры мульды преобладал гравитационный фактор. В этих условиях происходило заложение осевых и замковых зон нижнемезозойских синклиналей, сопровождаемых дополнительными изгибами в виде флексур со встречным падением крыльев [5–7]. Наиболее крупная пликативная структура (флексуроподобная) выделяется в южной части Хараелахской мульды, где она имеет общее крыло с Кайеркан-Пясинским поднятием.

В приосевой части Хараелахской мульды (Талнахская синклиналь) в север-северо-восточном направлении

трассируется Норильско-Хараелахский разлом (рис. 3). Основным структурным элементом зоны разлома является Главный тектонический шов, представляющий собой зону милонитизации и брекчирования шириной до 100 м.

Главный шов разлома сопровождается серией опережающих второстепенных разрывов и локальных пликативных структур. В пределах Хараелахской мульды происходит

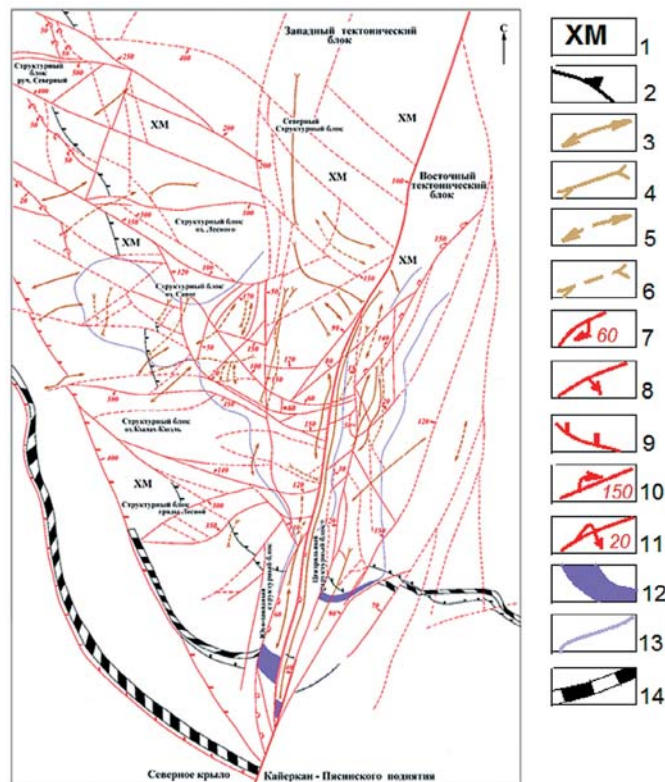


Рис. 3
Структурный план Талнахской тектоно-магматической системы узла (А.В. Тарасов, 1978, 1981, по материалам НКРЭ с изменениями Мирошниковой Л.К., 2019). Пликативные структурные элементы: 1 – Хараелахская мульда; 2 – границы мульды; 3–6 – осевые линии складчатых структур доверхнепалеозойского заложения: 3 – антиклиналей; 4 – синклиналей; 5–6 – осевые линии складок нижнемезозойского заложения: 5 – антиклиналей; 6 – синклиналей; 7 – флексуры и флексуросбросы и их амплитуды (здесь и далее штриховой линией показаны недостаточно детально исследованные элементы); 8 – сбросы и их амплитуды; 9 – пологие сдвиги и их амплитуды; 10 – взбросы и их амплитуды; 11 – надвиги и их амплитуды; 12 – выходы Талнахской дифференцированной рудоносной интрузии на поверхность или под четвертичные отложения; 13 – площадь распространения рудно-магматических горизонтов; 14 – пологие слабодифференцированные ответвления от рудоносной Талнахской интрузии

Fig. 3
Structural Map of the Talnakh orogenic system (A.V. Tarasov, 1978, 1981, based on materials of Norilsk Integrated Geological and Prospecting Expedition with adjustments by Miroshnikova L.K., 2019). Plicative structural elements: 1 – Kharaulakh Basin; 2 – basin boundaries; 3–6 – axial lines of folded pre-Upper Paleozoic structures: 3 – anticlines; 4 – synclines; 5–6 – axial lines of the Lower Mesozoic folds: 5 – anticlines; 6 – synclines; 7 – monoclines and monoclinial downthrows and their amplitudes (here and further the dashed line shows insufficiently investigated elements); 8 – downthrows and their amplitudes; 9 – flat-faulting faults and their amplitudes; 10 – upthrust faults and their amplitudes; 11 – overlap folds and their amplitudes; 12 – outbreaks of the Talnakh differentiated ore-bearing intrusion on the day surface or under the Quaternary sediments; 13 – occurrence area of ore-magmatic horizons; 14 – low-dipping slightly differentiated branches of the Talnakh ore-bearing intrusion

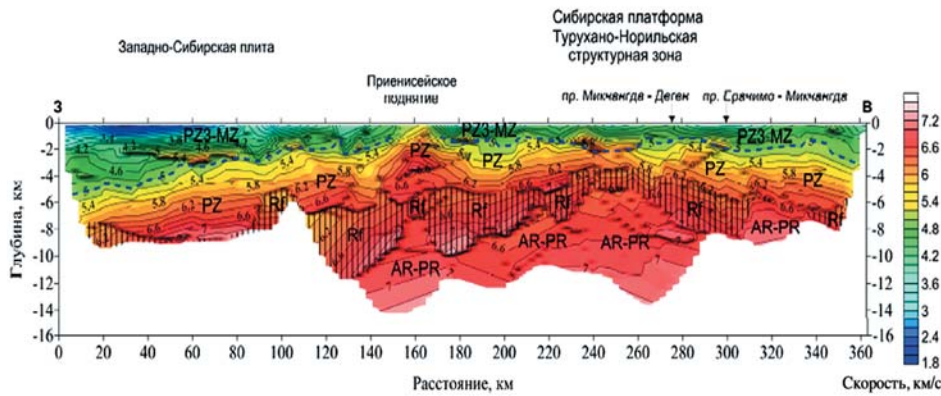


Рис. 4
Сейсмологический разрез по профилю Соленая–Аян. Шаг между изолиниями 0,2 км/с, синим пунктиром обозначена подошва осадочного слоя, штриховкой – области распространения рифейских (Rf) отложений [5]

Fig. 4
Seismological cross-section along the Solenaya-Ayan profile. The step between the isolines is 0.2 km/s, the blue dotted line indicates the bottom of the sedimentary layer, the dashed line indicates the distribution area of the Riphean (Rf) sediments [5]

виргация разлома в виде самостоятельных оперяющих разрывов (в т. ч. Тангаралахский, Осевой–Дьянгинский и др.). Неравномерное распределение тектонических элементов Талнахской ТМС определяет ее блоковое строение. На площади Талнахской ТМС выделены четыре крупных блока: Западный, Северный, Восточный и Центральный.

Развитие разнородных по форме разновозрастных пликативных и дизъюнктивных дислокаций внутри крупных блоков формирует блоки более низкого ранга [5–7]. Так, Западный блок, в пределах которого размещается месторождение Октябрьское, включает структурные блоки: озера Лесного, озера Сапог, озера Кыллах-Кюель и гряды Лесной (см. рис. 3). В центральном участке выделяется юго-западный блок. Восточный блок и Северный представлены единым структурным блоком.

Складчатые формы в зависимости от времени образования подразделяются на доверхнепалеозойские и нижнемезозойские, заложение которых происходило в различных геодинамических обстановках. Установлено, что морфоструктурный план вмещающих осадочных толщ, в которые внедряется магматический расплав, определяет морфоструктурные элементы интрузивных тел. До начала активизации магматической деятельности, сопровождавшейся излиянием лав и внедрением дифференцированных магм, в формировании структурных форм территории ТТМС преобладающую роль играли пликативные дислокации, дизъюнктивные дислокации в этот период отсутствовали. На рис. 4 границы толщ осадочных пород палеозой-мезозой и рифея отражены волнистыми линиями, которые согласны между собой и имеют знаковую корреляцию (см. рис. 4).

Формирование доверхнепалеозойских складок происходило синхронно с развитием конседиментационных пликативных дислокаций Енисей-Хатангского и Норильско-Хараелахского прогибов [8]. Осевые линии доверхнепалеозойских складок имеют северо-восточное (40–60°) и субширотное простирание.

Нижнемезозойские пликативные структуры формировались в результате давления на осадочные отложения излившейся в раннемезозойское время мощной туфолавоваы толщи. В условиях тангенциального сжатия и синхронного ему растяжения по вертикали происходило заложение осевых и замковых зон крупных и мелких синклиналей и антиклиналей (см. рис. 3). При формировании Хараелахской мульды существовало два векторных направления движения туфолавоваы толщи по отношению к тунгусской серии. При изгибе верхние слои за счет «дефицита пространства» стремятся на-двинуться на нижележащие слои, гравитационный же фактор создает вектор движения более плотных пород туфолавоваы толщи по падению

нижележащих пород, т. е. к центру мульды [5–7]. Такой механизм создает по периферии мульды одновременно зоны сжатия и растяжения, а в центральной части – зоны сжатия. Разнородность векторных полей напряжений определялась различной ориентировкой осей крупных пликативных структур.

Главные пликативные дислокации – структуры «сквозные» и прослеживаются во всех структурных ярусах с отклонениями простираний осей в отдельных горизонтах (см. рис. 4). В направлении от нижних структурных этажей к верхним увеличивается амплитуда пликативных дислокаций, а также наблюдается смена пластических деформаций разрывными структурами. В нижнемезозойских отложениях отмечается выполаживание крыльев складок.

Дизъюнктивные дислокации в вертикальном разрезе представляют собой конусовидные пучки разнонаправленных (и разноамплитудных) нарушений, интенсивно развитых в верхах разреза и объединяющихся с глубиной в единую систему сферическими плоскостями. Пучки разрывных нарушений имеют «бескорневой», «навешенный» характер (рис. 5).

Геометризация этих разрывов показывает, что по падению, проходя через «критическую точку сферы», они в северной части переходят из сбросов во взбросы (см. рис. 5). Разрывы распадаются на несколько ветвящихся мелкоамплитудных нарушений, определяя чешуйчатый характер строения структурных блоков. В пространстве эти разрывы сопряжены с системами сбросов со встречным углом падения. В результате развития этих систем разрывов образуются объемные клиновидные тектонические блоки, в целом опущенные по отношению к окружающим структурным элементам. Мелкоамплитудные нарушения наблюдаются главным образом в вулканогенной толще. Породы рамы по разным бортам блоков сдвинуты.

При изучении структурного плана были установлены нелинейные тектонические формы, соответствующие формам, образующимся при ротационных движениях в литосфере. Смена полей векторных напряжений была обусловлена заменой правостороннего движения Земли на левостороннее, которая произошла в раннем мезозое, вызванная сдвигом экватора Земли в южном направлении на 42–48° и отклонением оси планеты от перпендикуляра к плоскости эллипсоидной орбиты на 23° 27' [1, с. 174–176]. Ротационные движения литосферы происходили в северном полушарии планеты и, в частности, Западной Сибири, где Норильский геоблок начал формироваться как нелинейная структура [9–11].

В формировании Западного блока Талнахской ТМС наблюдаются элементы момента кручения. При этом самая южная часть сдвигалась с разворотом к востоку, а на

севере (структурные блоки гряды Лесной и оз. Кыллах-Кюель) (см. рис. 3), где проявлялись напряжения растяжений, происходил сдвиг блоков к северо-востоку. При последующих подвижках в Талнахской ТМС сдвигались в основном северные блоки. Сферические сбросы клиновид-

ных блоков по падению выполаживаются и переходят во взбросы, нарушая залегание интрузии. Встречные падения сбросов, оконтуривающих блоки с севера, создавали внутри них напряжения сжатия [5–7]. В результате продолжающихся напряжений сжатия происходило сдвижение отдельных блоков. По смещению в плане осей синклиналиных складок в районе рудника «Комсомольский» видно, что в этот период развивались серии левосторонних сдвигов с амплитудой 600–700 м. В горных выработках удалось установить, что сдвигению подвергаются и ветви интрузива. Разрядка сдвиговых напряжений, видимо, происходила в зоне Главного шва Норильско-Хараелахского разлома.

Вдоль восточных границ структурного блока оз. Сапог во всех структурных ярусах прослеживается синклиналиная складка нижнемезозойского заложения субмеридионального простирания. В результате виргации складки образуется серия вспомогательных синклиналиных складок северо-восточного и субширотного простирания протяженностью до 2,5 км [5–7]. По отдельным горизонтам девона структурного блока оз. Сапог выделяются мелкие конседиментационные складки, для которых характерна виргация к югу и скупивание к северо-востоку (рис. 6). Мелкие синклинали (протяженностью 200–400 м и размахом крыльев 100–150 м) имеют северо-восточное (40–60°), северо-западное и субширотное простирание. Антиклинальные складки нижнемезозойского заложения в отложениях карбона-перми расположены кулисообразно. Простирание антиклиналей северо-восточное и субширотное. В прибортовой части Хараелахской мульды на юго-западе структурного блока выделяется серия мелких складок (размах крыльев 50–75 м) протяженностью до 300 м радиально расположенных к бортам мульды. В центральной части структурного блока складки узкие, скупенные, пологие. Наибольшая дисгармония, выраженная в скупенном расположении складок, наблюдается в восточной части структурного блока оз. Сапог.

В месторождениях Талнахского рудного узла морфоструктурный план рудоносных интрузий определяется формами пликативных структур в осадочных толщах, вмещающих интрузивы. Осевые линии блоков максимальных мощностей сплошных сульфидных руд и рудоносных интрузивов пространственно совпадают с осями нижнемезозойских синклиналиных складок, которые выполняют роль рудо-магмовмещающих структур (см. рис. 6).

В осевых зонах антиклиналей отмечено уменьшение мощности дифференцированного интрузива и рудоносной зоны. Наследуются и сферические разрывы, которые характеризуются интенсивным развитием пологих зон милонитизации и трещиноватости. В центральной и восточной частях структурного блока оз. Сапог отмечено соответствие разрывных деформаций в рудоносной зоне и вмещающей толще в пределах участков, где наблюдается скупенность антиклиналей и синклиналией разного возраста (рис. 7).

Под действием гравитационных и сдвиговых напряжений, инициированных излиянием лав, происходят разрывные деформации складчатых структур и локализованных в них интрузивных тел (см. рис. 7). При этом образуются формы постинтрузивной тектоники, которые можно отнести с горст-антиклиналями и грабен-синклиналиями. На рис. 8 рассматривается модель тектонической формы горст-антиклиналь, основанная на геометрических построениях трехкомпонентного поля напряжений зон тектонических разломов по вертикали и горизонтали.

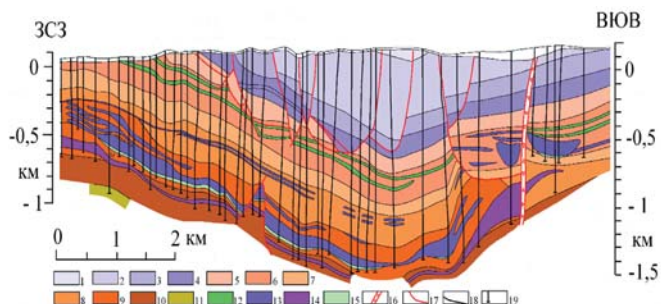


Рис. 5
Геологический разрез
Талнахской тектоно-
магматической системы
(по материалам ПО «Норильск-
геология», 2020 г. с
изменениями): 1–5 – породы
туфолововой толщи:

1–4 – базальты с горизонтами туфов нижнетриасового возраста: 1 – моронговской свиты (*T_{mr}*); 2 – надеждинской свиты (*T_{nd}*); 3 – гудчихинской свиты (*T_{gd}*); 4 – сыверминской свиты (*T_{sv}*); 5 – базальты с горизонтами туфов верхнепермского возраста, ивакинская свита (*P_{iv}*); 6 – терригенные угленосные отложения тунгусской серии (*C₂ – P₂*); 6 – 7 – сульфатно-карбонатные отложения: 6 – верхнего девона (*D₃*); 7 – среднего девона, мантуровской (*D_{2 mt}*) свиты; 8–9 – терригенно-карбонатные отложения нижнего девона, свиты: 8 – разведочнинская (*D_{rz}*), 9 – курейская (*D_{kr}*) свиты; 10 – карбонатные отложения нижнего девона (нерасчлененные) ямпактинской (*D_{jm}*) и зубовской (*D_{zb}*) свит; 11 – карбонатные отложения силура (нерасчлененные) таликитской (*S_{tl}*) – постичной (*S_{2ps}*) свит; 12–14 – интрузивные образования: 12 – Ергалахский интрузивный комплекс (*τβ P_{2er}*), трахидолериты; 13 – Норильский интрузивный комплекс, норильский тип (*χν- νβ*)Т_{nrnr}) интрузий дифференцированных от габбродиоритов и лейкогаббро до пикритовых и такситовых габбродолеритов; 14 – Норильский интрузивный комплекс, тип интрузий слабодифференцированных или дифференцированных от габбродолеритов до троктолитовых габбродолеритов с бедными вкрапленными рудами; 15 – рудоносная зона; 16–17 – разрывные нарушения: 16 – Главный шов Норильско-Хараелахского разлома; 17 – разломы низкого порядка; 18 – геологические границы; 19 – скважины детальной разведки

Fig. 5
Geological profile of the
Talnakh orogenic system
(based on materials of
Norilskgeologiya Production
Association, 2020 with
adjustments): 1–5 – rocks of
the lava and tuff layer:

1–4 – basalts with layers of Lower Triassic tuffs: 1 – Morongov Series (*T_{mr}*); 2 – Nadezhdinskaya Series (*T_{nd}*); 3 – Gudchikhinskaya Series (*T_{gd}*); 4 – Syverminskaya Series (*T_{sv}*); 5 – basalts with Upper Permian tuff layers, the Ivakinskaya Series (*P_{iv}*); 6 – terrigenous carbonaceous sediments of the Tungus series (*C₂ – P₂*); 6 – 7 – sulphate and carbonate sediments: 6 – Upper Devonian (*D₃*); 7 – Middle Devonian, Manturovskaya Series (*D_{2 mt}*); 8–9 – terrigenous carbonate sediments of the Lower Devon, Series: 8 – Razvedochinskaya Series (*D_{rz}*), 9 – Kureyskaya Series (*D_{kr}*); 10 – lower Devonian carbonate sediments (poorly defined), Yampakhtinskaya Series (*D_{jm}*) and Zubovskaya Series (*D_{zb}*); 11 – Silurian carbonate sediments (poorly defined), Talikitskaya Series (*S_{tl}*) – Postichnaya Series (*S_{2ps}*); 12–14 – intrusive formations: 12 – Yergalakh intrusive complex (*τβ P_{2er}*), trachydolerites; 13 – Norilsk Intrusive Complex, Norilsk type (*χν- νβ*)Т_{nrnr}) of intrusions graded from gabbrodiorites and leucogabbro to picrite and taxite gabbrodolerites; 14 – Norilsk intrusive complex, type of intrusions poorly defined or graded from gabbrodiorites to troctolite gabbrodolerites with poor disseminated ores; 15 – ore-bearing zone; 16–17 – faults: 16 – The main joint of the Norilsk-Kharaelakh fault; 17 – low order faults; 18 – geological boundaries; 19 – detailed exploration boreholes

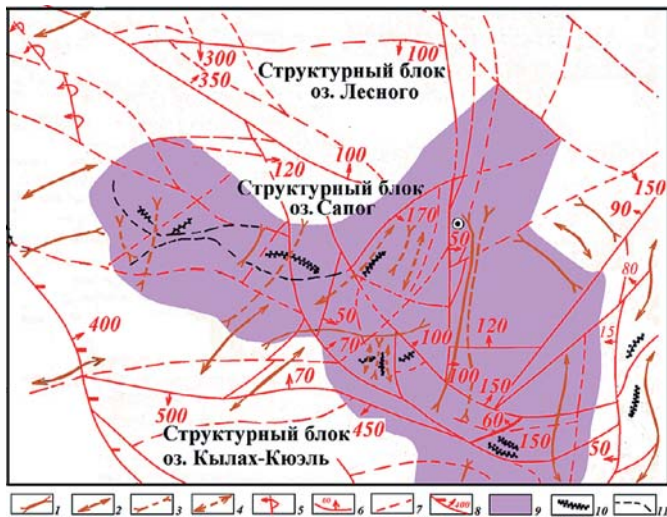


Рис. 6
Структурно-тектоническая схема блока оз. Сапог (по материалам НКРЭ).
1–4 – пликвативные структурные элементы: 1–2 – оси структур доверхнепалеозойского заложения: 1 – антиклиналей; 2 – синклиналей; 3–4 – оси структур нижнемезозойского заложения: 3 – антиклиналей; 4 – синклиналей; 5 – надвиги и их амплитуды; 6 – сбросы и их амплитуды; 7 – послерудные разрывные нарушения; 8 – пологие сдвиги и их амплитуды; 9 – границы продуктивной зоны Хараелахского интрузива; 10 – оси блоков максимальных мощностей сплошных сульфидных руд; 11 – инвариантные линии максимальных мощностей рудоносной зоны Хараелахского интрузива

Fig. 6
Structural and tectonic diagram of the Sapog Lake block (based on materials of Norilsk Integrated Geological and Prospecting Expedition).
1–4 – Plicative structural elements: 1–2 – axes of pre-Upper Paleozoic structures: 1 – anticlines; 2 – synclines; 3–4 – axes of Lower Mesozoic structures: 3 – anticlines; 4 – synclines; 5 – overlap folds and their amplitudes; 6 – downthrows and their amplitudes; 7 – post-ore faults; 8 – flat-lying faults and their amplitudes; 9 – boundaries of the Kharaelakh intrusion production zone; 10 – axes of blocks of maximum sulphide ore continuities of the Kharaelakh intrusion zone

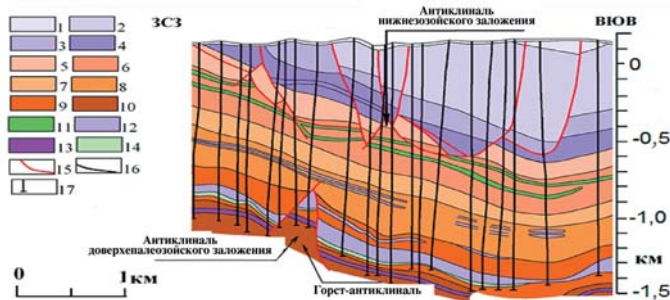


Рис. 7
Геологический разрез площади структурного блока оз. Сапог (по данным ПО «Норильскгеология», 2012 г., с изменениями Л.К. Мирошниковой); условные обозначения на рис. 5

Fig. 7
Geological profile of the Sapog Lake structural block (based on materials of Norilskgeologiya Production Association, 2012, with adjustments by L.K. Miroshnikova); see legend in Figure 5

При ведении горных работ непосредственно в области распространения скучивания складок и развития разрывных форм постинтрузивной тектоники в горном массиве отмечается рост сейсмической активности (рис. 9) [4; 12; 13]. По результатам исследований Центра автоматизирован-

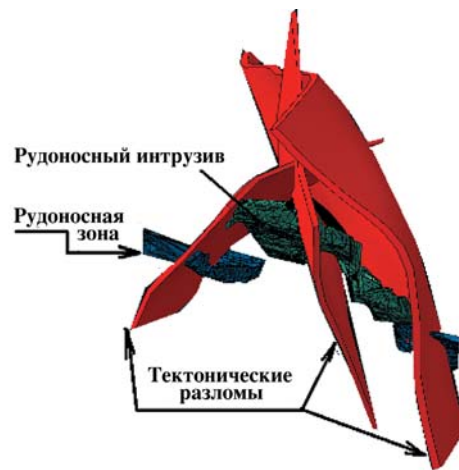


Рис. 8
Геометрия ключевых постинтрузивных разломов (по материалам Центра автоматизированной системы контроля геодинамической безопасности ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)

Fig. 8
Geometry of key post-intrusive faults (based on materials of the Center for Automated Geodynamic Safety Control System of the Polar Division of PJSC MMC Norilsk Nickel)

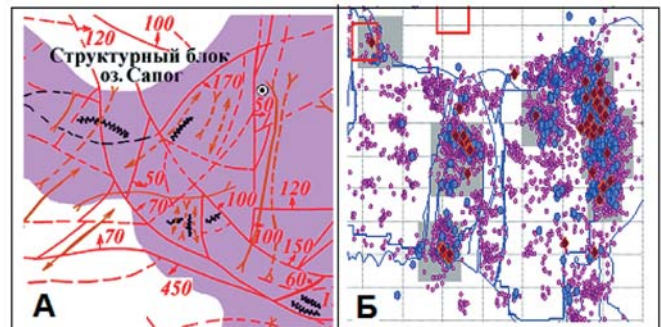


Рис. 9
Местоположение структурно-тектонической области скученных складок, осложненных постинтрузивными разломами (А) [10] и зоны наибольшей сейсмоактивности в 2018 г. (Б) (по материалам Центра автоматизированной системы контроля геодинамической безопасности ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)

Fig. 9
Location of the structural and tectonic region of packed folds complicated by post-intrusive faults (A) [10] and zone of maximum seismic activity in 2018. (B) (based on materials of the Center for Automated Geodynamic Safety Control System of the Polar Division of PJSC MMC Norilsk Nickel)

ной системы контроля геодинамической безопасности ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» за период 2018 г. в структурно-тектонической области скученных складок частота сейсмических событий составила 8449, из них 64 события с энергией более 4500 Дж и 8 – более 10 000 Дж. Выделено до 19 зон со средним уровнем сейсмоактивности ($50 \leq F \leq 200$), а также 4 зоны с высоким уровнем сейсмоактивности ($F \geq 200$).

Заключение

Рассмотрены проблемы выделения геодинамически активных структур в границах месторождения и на сопредельных с ним территориях с учетом иерархического строения морфоструктурных элементов тектонических нарушений во вмещающих породах и рудоносном горном массиве, а также условий их формирования в полях различных векторных напряжений.

По результатам анализа горно-геометрического строения земной коры выявлены маркирующие признаки проявления зон активных геодинамических зон напряженности горного массива, где в ходе техногенной деятельности наблюдаются горные удары, образование полостей и потеря запасов.

Геолого-структурные. В месторождениях Талнахского рудного узла морфоструктурный план рудоносных интрузий определяется формами пликативных структур в осадочных толщах, вмещающих интрузивы. Магмовмещающими и магмоконтролирующими структурами являются раннепалеозойские структурные элементы геологической среды, осложненные пликативными и дизъюнктивными формами позднепалеозойского-раннемезозойского тектонического цикла, которые могут рассматриваться в качестве дополнительных признаков местоположения геодинамических активных зон. На западном фланге Талнахской ТМС отмечено пространственное соответствие дизъюнктивных деформаций в рудоносной зоне и вмещающей месторождение толще, особенно в условиях присутствия скученных антиклиналей и синклиналей.

Генетические. Напряжения гравитационные, сдвиговые в горном массиве, обусловленные излиянием лав и ротационным движением литосферы, инициировали формирование постинтрузивных структурных форм разрывной

тектоники, которую можно соотнести с горст-антиклиналью (сложные антиклинали) в пластичных породах девона, вмещающих рудоносный интрузив, и в самом интрузиве.

Высказано предположение, что нелинейные сферические формы тектоники Талнахской ТМС, определяющие чешуйчатый характер строения структурных блоков, ограниченных листрическими разломами, сформировались в результате ротационных движений литосферы северного полушария планеты и, в частности, Западной Сибири, где Норильский геоблок начал формироваться как нелинейная структура. В формировании Западного блока Талнахской ТМС наблюдаются элементы момента кручения. При этом самая южная часть сдвигалась с разворотом к востоку, а на севере (структурные блоки гряды Лесной и оз. Кыллах-Кюель), где проявлялись напряжения растяжений, происходил сдвиг блоков к северо-востоку. Следовательно, формирование Талнахской ТМС происходило не только под влиянием гравитационных, сдвиговых (ступенчатых) напряжений, но и касательных напряжений моментов кручения, возникающих при ротационных движениях.

Сейсмика. Местоположение выделенных геодинамических активных зон пространственно совпадает с гипоцентрами сейсмической активности, фиксирующей деформации горного массива под влиянием подземной разработки.

Список литературы

1. Радько В.А. *Фашии интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района*. СПб.: ВСЕГЕИ; 2016. Режим доступа: https://vsegei.ru/ru/public/our_publications/Radko_2016.pdf
2. Мирошникова Л.К., Семенякина Н.В. Структурно-тектонические формы Талнахского рудного узла и их геохимическое выражение. *Научный вестник Арктики*. 2020;(8):53–60. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42576054>
3. Никулин И.И., Радько В.А. Металлогения магматических комплексов основного состава на примере Норильской провинции. В: Старостин В.И. (ред.) *Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов. Часть 1. Основные проблемы геологии и рудообразования Норильского района, кластерная эволюция минерагении и минеральные ресурсы*. М.: Макс-Пресс; 2019. С. 166–168.
4. Трубецкой К.Н., Мясков А.В., Галченко Ю.П., Еременко В.А. Обоснование и создание конвергентных горных технологий подземной разработки мощных месторождений твердых полезных ископаемых. *Горный журнал*. 2019;(5):6–13. Режим доступа: <https://www.gudmet.ru/journal/1822/article/31082/>
5. Тарасов А.В. О типизации структурных элементов норильских медно-никелевых месторождений. В: Сороков Д.С. (отв. ред.) *Геология и полезные ископаемые Норильского района: материалы 2-й Норильской геологической конференции*. Норильск: Изд-во Норильского ГМК; 1971. С. 150–151.
6. Тарасов А.В. Структуры Норильского, Талнахского и Имангдинского рудных узлов. В: Золотухин В.В., Виленский А.М. (отв. ред.) *Петрология и перспективы рудоносности траппов севера Сибирской платформы*. М.: Наука; 1978. С. 178–189.
7. Нестеровский В.С. К вопросу о морфологии складчатых и разрывных дислокаций Талнахского рудного узла. В: Сороков Д.С. (отв. ред.) *Геология и полезные ископаемые Норильского района: материалы 2-й Норильской геологической конференции*. Норильск: Изд-во Норильского ГМК; 1971. С. 152–154.
8. Кушнир Д.Г. Геодинамика полуострова Таймыр по геофизическим данным. *Геодинамика и тектонофизика*. 2018;9(1):81–92. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0338.
9. Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Kazansky A.Y. Tectonic evolution of the Siberian paleocontinent from the Neoproterozoic to the Late Mesozoic: paleomagnetic record and reconstructions. *Russian Geology and Geophysics*. 2012;53(7):675–688. DOI: 10.1016/j.rgg.2012.05.006.
10. Miroshnikova L.K., Mezentsev A.Y. Consideration of elements of nonlinear tectonics of the lithospheric circle of the Norilsk geoblock. In: *Scientific research of the SCO countries: synergy and integration: materials of the International Conference, 25–26 March 2019*. Beijing; 2019. P. 183–192.
11. Шерман С.И. Генетические источники и тектонофизические закономерности разноранговой блоковой делимости литосферы на различных этапах ее формирования: тектонофизический анализ. *Геодинамика и тектонофизика*. 2015;6(3):387–408. DOI: 10.5800/GT-2015-6-3-0187.
12. Востриков В.И., Опарин В.Н., Усолцева О.М., Мулев С.Н. Оценка геодинамического состояния массивов горных пород на глубоких рудниках Норильско-Талнахского месторождения полиметаллов. *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2019;6(2):28–34. DOI: 10.15372/FPVGN2019060205.
13. Wan B.Y., Wan B.H., Zhang P., Du X.L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining. In: Zhenqi Hu (ed.) *Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation: Proceeding of the Beijing International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2014), Beijing, China, 16–19 October 2014*. London: Taylor & Francis group; 2015. P. 53–58.

References

1. Radko V.A. *Facies of intrusive and effusive magmatism in Norilsk district*. St Petersburg: A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI); 2016. Available at: https://vsegei.ru/ru/public/our_publications/Radko_2016.pdf (In Russ.)
2. Miroshnikova L.K., Semenyakina N.V. Structural-tectonic forms of Talnakh-ore node and their geochemical expression. *Nauchnyi vestnik Arktiki*. 2020;(8):53–60. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42576054> (In Russ.)
3. Nikulin I.I., Radko V.A. Metallogeny of magmatic complexes of the basic composition as exemplified by Norilsk province. In: Starostin V.I. (ed.) *Challenges of mineralogy, economic geology and mineral resources. Part 1. The main challenges in the geology and ore formation of Norilsk District, cluster evolution of minerogeny and mineral resources*. Moscow: MaksPress; 2019, pp. 166–168. (In Russ.)
4. Trubetskoy K. N., Myaskov A. V., Galchenko Yu. P., Eremenko V. A. Creation and justification of convergent technologies for underground mining of thick solid mineral deposits. *Gornyi zhurnal*. 2019;(5):6–13. Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/1822/article/31082/> (In Russ.)
5. Tarasov A.V. Typification of structural elements of Norilsk copper and nickel deposits. In: Sorokov D.S. (ed.) *Geology and mineral resources of Norilsk region: Proceedings of the 2nd Norilsk Geological Conference*. Norilsk: Norilsk Mining and Metallurgical Company; 1971, pp. 150–151. (In Russ.)
6. Тарасов А.В. Структуры Норильского, Талнахского и Имандинского рудных узлов. В: Золотухин В.В., Виленский А.М. (отв. ред.) *Петрология и перспективы рудоносности траппов севера Сибирской платформы*. М.: Наука; 1978. С. 178–189.
7. Nesterovsky V.S. On morphology of folded deformations and faults of Talnakh ore cluster. In: Sorokov D.S. (ed.) *Geology and mineral resources of Norilsk region: Proceedings of the 2nd Norilsk Geological Conference*. Norilsk: Norilsk Mining and Metallurgical Company; 1971, pp. 152–154. (In Russ.)
8. Kushnir D.G. Geodynamics of the Taimyr peninsula from geophysical data. *Geodinamika i tektonofizika = Geodynamics & Tectonophysics*. 2018;9(1):81–92. (In Russ.) DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0338.
9. Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Kazansky A.Y. Tectonic evolution of the Siberian paleocontinent from the Neoproterozoic to the Late Mesozoic: paleomagnetic record and reconstructions. *Russian Geology and Geophysics*. 2012;53(7):675–688. DOI: 10.1016/j.rgg.2012.05.006.
10. Miroshnikova L.K., Mezentsev A.Y. Consideration of elements of nonlinear tectonics of the lithospheric circle of the Norilsk geoblock. In: *Scientific research of the SCO countries: synergy and integration: materials of the International Conference, 25–26 March 2019*. Beijing; 2019. P. 183–192.
11. Sherman S.I. Genetic sources and tectonophysical regularities of divisibility of the lithosphere into blocks of various ranks at different stages of its formation: tectonophysical analysis. *Geodinamika i tektonofizika = Geodynamics & Tectonophysics*. 2015;6(3):387–408. (In Russ.) DOI: 10.5800/GT-2015-6-3-0187.
12. Vostrikov V.I., Oparin V.N., Usoltseva O.M., Mulev S.N. The assessment of the geodynamic state of rock massifs in deep mines of the Norilsk-Talnakh polymetallic deposit. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2019;6(2):28–34. DOI: 10.15372/FPVGN2019060205.
13. Wan B.Y., Wan B.H., Zhang P., Du X.L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining. In: *Zhenqi Hu (ed.) Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation: Proceeding of the Beijing International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2014), Beijing, China, 16–19 October 2014*. London: Taylor & Francis group; 2015. P. 53–58.

Информация об авторах

Мирошникова Людмила Константиновна – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Норильский государственный индустриальный институт, г. Норильск, Российская Федерация; e-mail: miroshnikova_lk@mail.ru.

Мезенцев Александр Юрьевич – ассистент, аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Норильский государственный индустриальный институт, г. Норильск, Российская Федерация; e-mail: kingmezenцев@mail.ru.

Семенякина Наталья Вячеславовна – ассистент, аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Норильский государственный индустриальный институт, г. Норильск, Российская Федерация; e-mail: Reliti@yandex.ru.

Котельникова Елена Михайловна – кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: kotelnikova-em@rudn.ru.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 22.05.2020

Поступила после рецензирования: 01.06.2020

Принята к публикации: 08.06.2020

Information about the author

Lyudmila K. Miroshnikova – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Department of Mineral Deposit Development, Norilsk State Industrial Institute, Norilsk, Russian Federation; e-mail: miroshnikova_lk@mail.ru.

Aleksandr Yu. Mezentsev – Assistant Lecturer, Post-Graduate Student, Department of Mineral Deposit Development, Norilsk State Industrial Institute, Norilsk, Russian Federation; e-mail: kingmezentsev@mail.ru.

Natalia V. Semenyakina – Assistant Lecturer, Post-Graduate Student, Department of Mineral Deposit Development, Norilsk State Industrial Institute, Norilsk, Russian Federation; e-mail: Reliti@yandex.ru.

Elena M. Kotelnikova – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Lecturer, Department of Subsoil Use and Oil and Gas Business, Engineering Academy, RUDN University, Moscow, Russian Federation; e-mail: kotelnikova-em@rudn.ru.

Article info:

Received: 22.05.2020

Revised: 01.06.2020

Accepted: 08.06.2020