Оригинальная статья / Original Paper

DOI 10.30686/1609-9192-2021-6-103-109

Геодинамическое районирование юго-западной части Талнахской тектономагматической системы

Л.К. Мирошникова[1], А.Ю. Мезенцев[1], Г.А. Кадыралиева[2], М.А. Перепелкин[3]✉
[1] *Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, г. Норильск, Российская Федерация*
[2] *Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Республики Кыргызстан, г. Бишкек, Республика Кыргызстан*
[3] *Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация*
✉mihaillfw@icloud.com

Резюме: Предметом исследования являются маркирующие признаки тектонически напряженных зон в горном массиве, выявленные при региональном геодинамическом районировании шахтных полей Талнахской тектономагматической системы. Идентификационные признаки трассирования геодинамически активных структур в пределах западного фланга Талнахской тектономагматической системы выявлены на основе морфометрического анализа отложений тунгусской серии, являющихся верхним «этажом» внедрения рудоносных интрузий и связанных с ними рудных залежей. В укрупненных морфоструктурных группах границы контрастно чередующихся зон повышенных и пониженных абсолютных глубин подошвы и кровли отложений тунгусской серии представляют собой границы тектонических блоков различных уровней высот с резко контрастирующими показателями напряженности рельефа. Выделенные на морфоструктурных схемах «кольцевые» структуры пространственно совпадают с тектоническими формами, сформированными в результате сдвиговых процессов и кручения. В начальном поле напряжений отложений тунгусской серии выделяется неоднородность, которая отражается в выделении блоков с различными значениями коэффициента распределения напряжения. Границы геодинамических блоков, выделенных по различным методикам, совпадают. Установлено соответствие предполагаемых разрывных нарушений с выделенными по данным детальной разведки разломами.

Ключевые слова: Талнахская тектономагматическая система, геодинамическое районирование, морфотектонический блок, геодинамически активные зоны

Для цитирования: Мирошникова Л.К., Мезенцев А.Ю., Кадыралиева Г.А., Перепелкин М.А. Геодинамическое районирование юго-западной части Талнахской тектономагматической системы. *Горная промышленность.* 2021;(6):103–109. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-103-109.

Geodynamic zoning of the southwestern part of the Talnakh Orogenic System

L.K. Miroshnikova[1], A.Yu. Mezentsev[1], G.A. Kadyralieva[2], M.A. Perepelkin[3]✉
[1] *Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russian Federation*
[2] *Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic, Bishkek, Republic of Kyrgyzstan*
[3] *North-East State University, Magadan, Russian Federation*
✉mihaillfw@icloud.com

Abstract: This study focuses on the markers of tectonically stressed zones inside the rock mass, that were identified during the regional geodynamic zoning of the mine fields of the Talnakh orogenic system. Identification features for tracing geodynamically active structures within the western flank of the Talnakh orogenic system have been identified based on morphometric analysis of the Tunguska series sediments, which are the upper layer of the ore-bearing intrusions and associated ore deposits. In the larger morphostructural groups, the boundaries of contrastingly alternating zones of elevated and depressed absolute depths at the base and the roof of the Tunguska series sediments represent the boundaries of tectonic blocks of different elevation levels with sharply contrasting indices of terrain stress. The circular-shaped structures highlighted in the morphostructural schemes spatially coincide with the tectonic forms were formed as the result of strike-slip and torsional processes. A heterogeneity, which is reflected in the allocation of blocks with different values of the stress distribution coefficient (K) is identified in the initial stress field of the Tunguska series sediments. The boundaries of the geodynamic blocks that were identified using to different methods are identical. It is established that the assumed faults correspond to the faults identified based on the detailed exploration data.

Keywords: Talnakh orogenic system, geodynamic zoning, morphotectonic block, geodynamically active zones

For citation: Miroshnikova L.K., Mezentsev A.Yu., Kadyralieva G.A., Perepelkin M.A. Geodynamic zoning of the southwestern part of the Talnakh Orogenic System. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry.* 2021;(6):103–109. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-103-109.

Введение

Основной целью регионального геодинамического районирования в пределах Талнахской тектономагматической системы (ТТМС) является выделение в природном горном массиве блоков тектонически напряженных зон (ТНЗ), где на больших глубинах в сложных горно-геологических условиях проявляются удароопасные зоны [1–4]. Задача проведенных исследований сводилась к методологическим разработкам по установлению «маркирующих» признаков блоков с геодинамической активностью нарушений, отражающих нестабильное состояние геологической среды. Природа блочной структуры является производной от структурно-тектонических условий территории, сформировавшихся в период геологического времени нижнего девона – нижняя пермь, и последующих природных деформационных геологических процессов в геосфере, которые интенсивно проявлялись на границе времен верхней перми – нижнего триаса. Формирование месторождений ТТМС происходило в результате излияния магматических расплавов вдоль Норильско-Хараелахского разлома, который изначально являлся флексурой [1]. Структурная перестройка геологической среды вдоль развивающегося разрыва сопровождалась образованием «погребенных» разрывов в осадочных породах литосферных блоков, вместивших рудоносные интрузивы, и в самих рудных телах. Для повышения геодинамической безопасности при отработке месторождения необходима корректировка геодинамически активных структур, внутри которых выделяются зоны высоконапряженных горных пород и нестабильное состояние геологической среды [1–4].

Методы исследования

Научные и методологические работы по решению вышепредложенных задач проводились согласно рекомендациям и методическим указаниям И.М. Батугиной и др. [5–9]. В предлагаемой работе анализ признаков геодинамической нестабильности недр производился по картине изолинейного распределения мощностей (изопахит) и глубины залегания подошвы осадочных отложений тунгусской серии.

При выполнении работ применялись данные детальной разведки ПО «Норильскгеология», проводившейся с 1972 по 2002 г. Графические построения выполнялись с привлечением морфологической схемы отложений тунгусской серии, отстроенной по материалам детальной разведки масштаба 1:25000. В целом к расчетам привлекались данные по 1500 скважинам, из которых на схемы вынесено порядка 500. Наиболее детально изучается геодинамический блок шахтного поля шахты «Маяк», где при обобщении геологического материала и физико-механических свойств использовались данные по 145 скважинам.

Результаты исследования

Проведен анализ признаков геодинамической нестабильности недр по картине изолинейного распределения мощностей осадочных отложений тунгусской серии.

Отстроена модель палеорельефа тунгусской серии по двум ее поверхностям: кровле и подошве. Построения выполнены с привлечением имеющегося для данного участка картографического материала карт масштаба 1:25000 (рис. 1, 2).

Морфометрический анализ показал, что отложения тунгусской серии представляют контрастно чередующиеся зоны повышенных и пониженных мощностей и абсолютных глубин подошвы отложений. Это может рас-

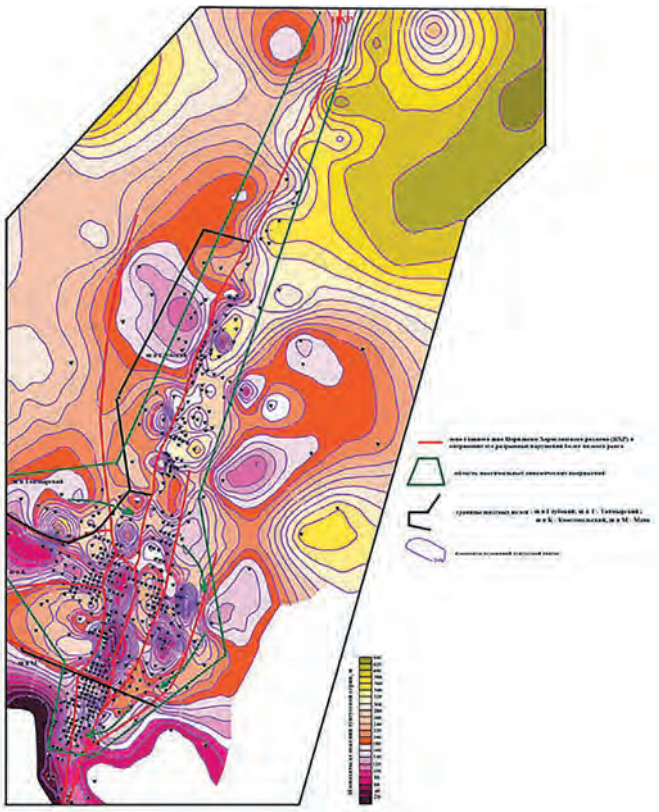

Рис. 1
Каркасная модель кровли отложений тунгусской серии, отстроенная по изопахитам (масштаб 1:25000)

Fig. 1
A wire-frame model of the Tunguska sediments roof, plotted on isopach lines (scale 1:25000)

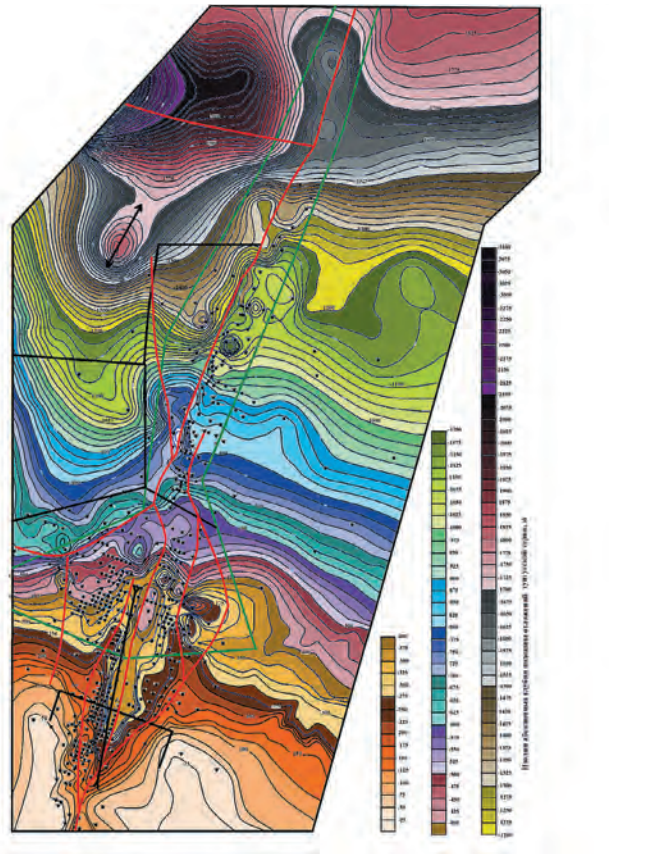

Рис. 2
Каркасная модель, отстроенная по изолиниям абсолютных глубин подошвы отложений тунгусской серии (масштаб 1:25000)

Fig. 2
A wire-frame model plotted on isolines of absolute depths at the Tunguska sediments base (scale 1:25000)

сматриваться в качестве признаков локальных блоков, отличающихся уровнями высот, которые формировались в условиях геодинамической нестабильности геологической среды, влияющей на заложение и становление рудных тел шахтных полей, когда в пределах последних отработка месторождений ведется в разных геодинамических условиях.

В качестве одного из методов выделения блоков на территории Талнахской тектономагматической системы применен расчет минимальной разности высот [5–9]:

$$h = 0.1 \cdot (H_{мах} - H_{min}),$$

где $H_{мах}$ = 420 м – максимальная высота палеорельефа;
H_{min} = 20 м – минимальная высота палеорельефа,

$$h = 0.1 \cdot (420 - 20) = 40 \text{ м}.$$

Полученная величина h фактически является тектонической ступенью, разделяющей различные по высоте блоки.

По результатам расчетов на карте изопахит отложений тунгусской серии были выделены блоки различных уровней высот (таблица 1).

Таблица 1
Блоки различных уровней высот отложений тунгусской серии

Table 1
Blocks of the Tunguska sediments at different elevation levels

Тектонические блоки	Уровни высот блоков, м	Тектонические блоки	Уровни высот блоков, м
I	420–380	VI	220-180
II	380–340	VII	180-140
III	340–300	VIII	140-100
IV	300–260	IX	100 – 60
V	260–220	X	60 – 20

Плавно закругленные границы блоков по своей сути являются проходящими по перегибам склонов линиями разломов, амплитуда которых колеблется от 40 м и более.

В морфоструктурном плане отложений тунгусской серии наблюдаются *кольцевые структуры,* которые в основном проявляются на юго-западе Талнахской тектономагматической системы (рис. 1, 2, 3). Эти морфологические элементы геологической среды сформировались в результате развития неравномерных деформационных процессов, связанных с моментом кручения, которые сопровождали внедрение интрузива предположительно с северо-востока в южном направлении. При этом особенно сдвигалась самая южная часть вдоль зоны Норильско-Хараелахского разлома с разворотом к востоку, а на севере, где проявлялись напряжения растяжений, происходил сдвиг блоков к северо-востоку [10, 11]. Наличие кольцевых структур возможно рассматривать как идентификационный признак геодинамически активных зон, заложенных в верхней перми – нижнем триасе и имеющих отголоски в более глубоких уровнях геологической среды, где они проявляются в виде разрывных нарушений, секущих рудные тела месторождений.

Последующее уточнение границ блоков и линий разломов производилось при построении профилей (геометрические образы кровли и подошвы отложений тунгусской серии), ориентированных по простиранию и вкрест простирания рудовмещающих структур, которые соотносятся с шахтными полями (рис. 4).

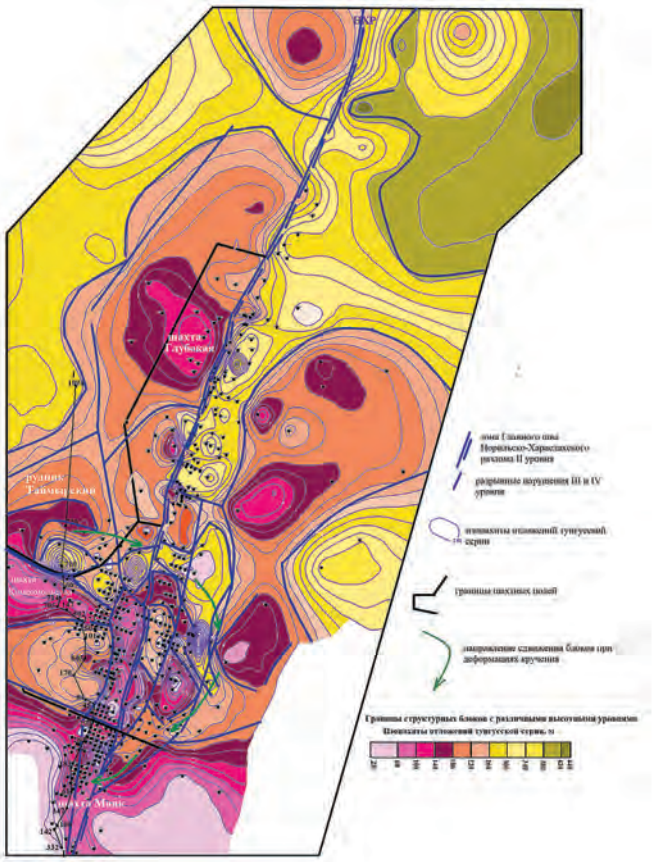

Рис. 3
Выделение блоков с различными высотными уровнями

Fig. 3
Highlighting blocks with different height levels

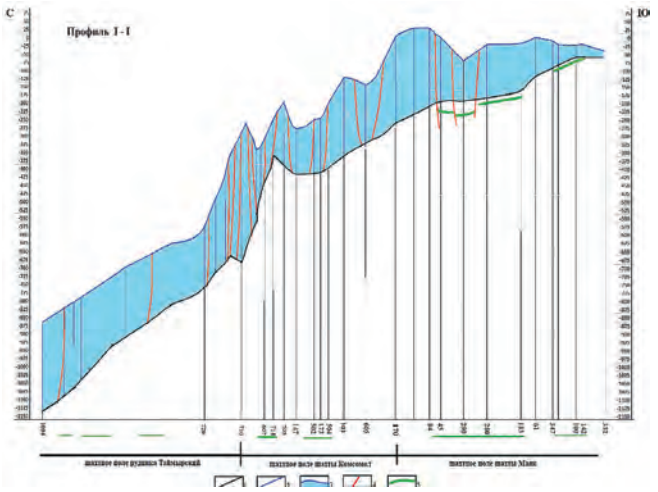

Рис. 4
Профиль I – I:
1 – 2: границы отложений тунгусской серии:
1 – подошвы; 2 – кровли;
3 – мощность тунгусской серии;
4 – разломы III и IV порядка (предполагаемые);
5 – рудные тела и их проекции на горизонтальную плоскость

Fig. 4
Profile I – I:
1 – 2: boundaries of the Tunguska sediments:
1 – bases; 2 – roofs; 3 – thickness of the Tunguska series; 4 – Order III and Order IV faults (inferred);
5 – ore bodies and their projections on the horizontal plane

В пределах площади Талнахской тектономагматической системы на фоне направления основных тектонических структур Норильско-Хараелахского сбросо-сдвига северо-восточного направления и согласной с ним приразломной синклинали формируется осложняющий их ступенчатый «каскадный» профиль с повторяющимися морфоструктурными группами (см. рис. 3, 4). Вдоль границ шахтных полей геодинамически активные структуры представляют собой границы морфотектонических блоков с резко контрастирующими показателями напряженности палеорельефа отложений тунгусской серии.

При геодинамическом районировании ТТМС одним из методов выделения блоков различной геодинамической активности рассматривалась неоднородность в начальном поле напряжений отложений тунгусской серии. В случае отсутствия природной тектонической активности при становлении территории основой формирования начального поля напряжений являются «силы гравитации» [5–9; 12–18]. Изменение параметров начального поля напряжений происходит под воздействием более масштабных вторичных геодинамических процессов, которые сопровождают внедрение интрузивных тел. В данном случае формируются блоки с различной геодинамической активностью, отличные по значениям полей напряжений в них.

В качестве примера рассматривается юго-западная ветвь рудоносного Талнахского интрузива в пределах шахтного поля шахты «Маяк». Интрузив в виде корытообразного тела локализован в низах пермо-каменноугольных отложений тунгусской серии. Месторождение вытянуто в субмеридиональном направлении вдоль Главного шва НХР и расположено в зоне Центрального грабена [10; 11]. Геологическое строение представлено на рис. 5.

На тектоническое строение шахтного поля в значительной мере влияет его приуроченность к зоне НХР, ширина которого с оперяющими его тектоническими нарушениями и субпараллельными сбросами и взбросами достигает 1,5–2,0 км. Выделение разломов III и IV порядка на схеме изопахит отложений тунгусской серии производилось с учетом блоков различных высотных уровней и расчетной величины тектонической ступени вдоль границ с резкими перегибами палеорельефа (рис. 6).

Системой субмеридиональных Западных сбросов интрузив габбро-долеритов расчленен на три основных блока с амплитудой смещения на 30–60 м (Промежуточный блок) и на 200–300 м (Восточный блок) (рис. 7).

На южном фланге месторождения интрузивная ветвь выходит под наносы, а к северу полого погружается на глубину до 600 м, ширина интрузива в пределах поля рудника «Маяк» достигает 800 м [11] (рис. 8).

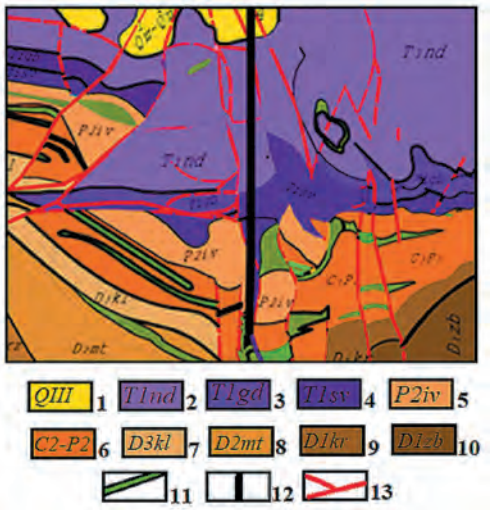

Рис. 5
Геологическая карта шахтного поля шахты «Маяк» (масштаб 1:25 000) (по материалам НКГРЭ, 1987 г.):
1 – четвертичные отложения;
2–5 – эффузивные образования нижнего триаса – верхней перми:
2 – надеждинская свита, базальты порфировые, туфы;
3 – гудчихинская свита, базальты пикритовые;
4 – сыверминская свита, базальты толеитовые;
5 – ивакинская свита, базальты двуполевошпатовые;
6 – карбон – пермь (нерасчлененные), тунгусская серия, песчаники, алевролиты, аргиллиты углистые;
7 – верхний девон, каларгонская свита, известняки;
8 – средний девон, мантуровская свита, ангидрито-мергелистые породы;
9–10 – нижний девон:
9 – курейская свита, аргиллиты известково-глинистые;
10 – зубовская свита, мергели с пластами аргиллита

Fig. 5
Geological map of the Mayak mine field (scale 1:25 000) (based on the Norilsk Complex Geological Exploration Expedition materials, 1987):
1 – Quaternary sediments;
2–5 – effusive Lower Triassic - Upper Permian blanket:
2 – Nadezhdinskaya Series, porphyritic basalts, tuffs;
3 – Gudchikhinskaya Series, picrite basalts;
4 – Syverminskaya Series, tholeitic basalts;
5 – Ivakinskaya Series, double feldspathic basalts;
6 – Carboniferous-Permian (poorly defined), Tungusskaya Series, sandstones, siltstones, carbonaceous argillites;
7 – Upper Devonian, Kalargonskaya Series, limestones;
8 – Middle Devonian, Manturovskaya Series, anhydrite-mergillaceous rocks;
9–10 – Lower Devonian:
9 – Kureyskaya Series, calcareo-argillaceous mudstones;
10 – Zubov Series, marls with mudstone layers

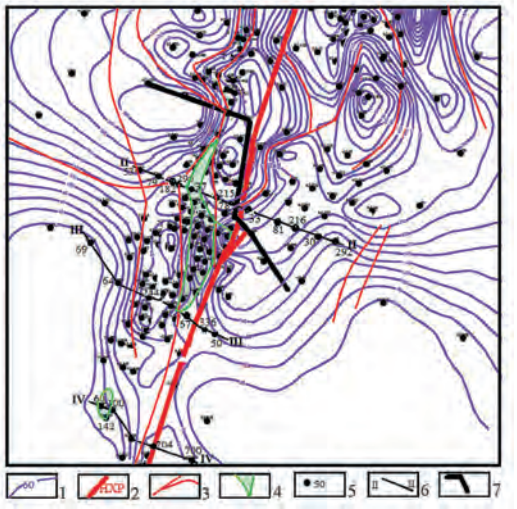

Рис. 6
Структурно-тектоническая схема шахтного поля шахты «Маяк»:
1 – изопахиты отложений тунгусской серии;
2 – зона главного Шва Норильско-Хараелахского разлома;
3 – разломы III и IV (предположительно);
4 – рудное тело; 5 – скважины детальной разведки;
6 – линия профиля;
7 – границы шахтного поля шахты «Маяк»

Fig. 6
Structural and tectonic diagram of the Mayak mine field:
1 – isopach lines of the Tunguska sediments;
2 – zone of the main the Norilsk-Kharayelakh fault;
3 – faults III and IV (presumably);
4 – ore body;
5 – detailed exploration boreholes;
6 – profile line;
7 – boundaries of the Mayak mine field

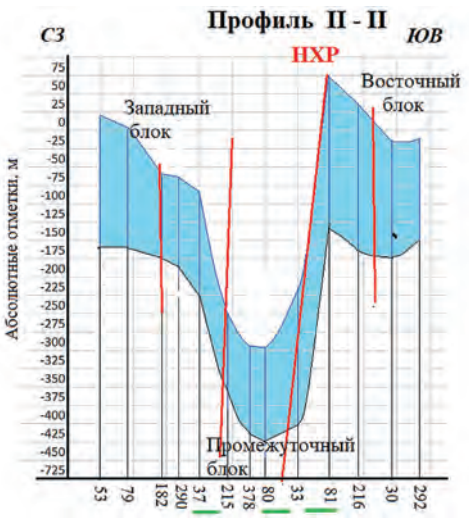

Рис. 7
Профиль II (условные обозначения на рис. 4)

Fig. 7
Profile II (see the legend in Figure 4)

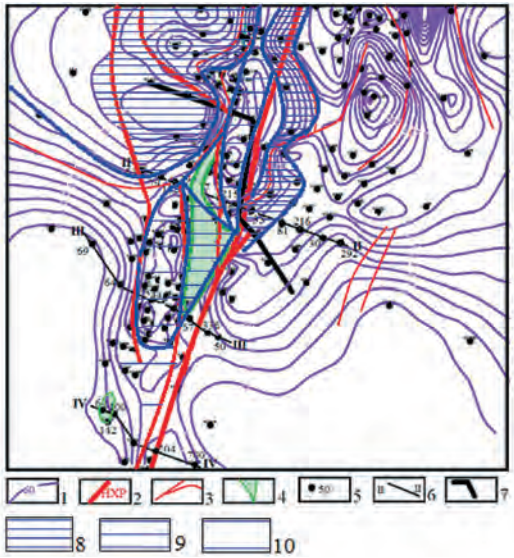

Рис. 8
Выделение блоков с различными численными значениями коэффициента распределения напряжения в отложениях тунгусской серии шахтного поля шахты «Маяк»:
1–7 (условные обозначения см. на рис. 6);
7–10 – численные значения коэффициента K распределения напряжения:
7 – *K* = 1,5–2,0; *K* ≥ 2,0;
8 – *K* = 1,0–1,5;
9 – *K* = 0,5–1,0

Fig. 8
Identification of blocks with different numerical values of the stress distribution coefficient in the Tunguska sediments of the Mayak mine field:
1–7 (see the legend in Figure 6);
7–10 – numerical values of the stress distribution coefficient *K*:
7 – *K* = 1.5–2.0; *K* ≥ 2.0;
8 – *K* = 1.0–1.5;
9 – *K* = 0.5–1.0

Для исследования неоднородности в природном поле напряжений отложений тунгусской серии использовались данные по 145 скважинам детальной разведки.

Расчет напряжения нетронутого массива [5–9; 12–18] произведен согласно рекомендациям А.Н. Динника по формуле:

$$\sigma_x = \sigma_z = \lambda\gamma H,$$

где $\lambda = \mu/(1-\mu)$ – коэффициент бокового распора или коэффициент Динника;

H – мощность отложений, м;

γ – удельный вес породы, г/см^3;

μ – модуль упругости, Па.

После определения σ рассчитывались численные значения коэффициента K распределения напряжения по формуле:

$$K = \sigma_i/\sigma_{ср}.$$

где σ_i – значение напряжения по определенной скважине; $\sigma_{ср}$ – среднее значение напряжения в пределах шахтного поля

Полученные численные значения K, были сгруппированы в классы: K = 0,2–0,5; K = 0,5–1,0;

K = 1,0–1,5; K= 1,5–2,0; $K \geq 2,0$. На площади расположения рудоносной интрузии и рудного тела K = 1,0–1,5. Максимальные значения K от 1,5 до 2,0 и относительно минимальные K= 0,5–1,0 наблюдаются на границе раздела шахтных полей Маяк и Комсомольский, где преобладают кольцевые структуры.

Выводы

Региональное геодинамическое районирование и выделение геодинамически активных структур основывается на признаках изменчивости строения геологической среды. Анализ признаков геодинамической нестабильности недр производится с привлечением схем изолинейного распределения мощностей и изогипс подошвы отложений тунгусской серии. Для оценки напряженного состояния верхней части земной коры в районе разработки месторождения выполнено его геодинамическое районирование, включающее: комплексную морфоструктурную интерпретацию морфологической схемы подошвы отложений тунгусской серии, анализ ее палеорельефа и исследование неоднородности в начальном поле напряжений горного массива.

Установлено, что геодинамически активные структуры представляют собой границы морфотектонических блоков с резко контрастирующими показателями напряженности рельефа, локальными проявлениями аномальных свойств и состояния геологической среды. Оконтуривание этих границ произведено с последующим уточнением их положения в профилях, на которых производилось построение геометрических образов кровли и подошвы отложений тунгусской серии. Границы блоков являются границами разрывных нарушений со встречным падением разломов, что подтверждается широким развитием сфероподобных дизъюнктивных структур на площади ТТМС.

Наблюдаемые в морфоструктурном плане отложений тунгусской серии «кольцевые» структуры, развитые в обрамлении шахтного поля шахты «Маяк», имеют в целом дугообразное распределение. На фоне направления основных тектонических структур НХР и приразломной синклинали северо-восточного направления кольцевые структуры формируют ступенчатый «каскадный» профиль с многократно повторяющимися морфоструктурными группами. Образование тектонических структур происходило в результате деформационных сдвиговых процессов. Предполагаемые тектонические нарушения III и IV порядка, выделяемые как границы блоков с различными высотными уровнями, совпадают с линиями разломов, выделенных на стадии детальной разведки.

Список литературы

1. Марысюк В.П., Ситникова О.В., Цирель С.В., Мулёв С.Н. Влияние флексуры на сейсмическую активность на шахте «Скалистая». *Горный журнал*. 2016;(7):19–22. https://doi.org/10.17580/gzh.2016.07.04
2. Еременко А.А., Дарбинян Т.П., Айнбиндер И.И., Конурин А.И. Оценка геомеханического состояния массива горных пород на Талнахском и Октябрьском месторождениях. *Горный журнал*. 2020;(1):82–86. https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.16
3. Галаов Р.Б., Кисель А.А., Андреев А.А., Зубков В.В. Оценка напряженного состояния рудного массива залежи С-2 шахты «Скалистая» до начала очистных работ. *Горный журнал*. 2016;(7):10–14. https://doi.org/10.17580/gzh.2016.07.02
4. Неверов С.А., Неверов А.А., Конурин А.И., Медведева Н.П. Обоснование порядка отработки рудных залежей в пределах шахты «Глубокая». *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2019;6(2):200–206. https://doi.org/10.15372/FPVGN2019060234
5. Петухов И.М., Батугина И.М. *Геодинамическое районирование недр*. Л.: ВНИМИ; 1990. 129 с.
6. Петухов И.М., Батугина И.М. *Геодинамика недр*. 2-е изд. М.: Недра Коммюникейшенс ЛТД; 1999. 256 с.
7. Батугина И.М., Батугин А.С., Петухов И.М. и др. *ИЗОС-333 Корректировка карт геодинамического районирования недр, построенных в 1986–1988 гг., в связи с модернизацией методики их построения: отчет о научно-исследовательской работе*. М.: МГГУ; 2004. 33 с.
8. Батугина И.М. и др. *Руководство по геодинамическому районированию шахтных полей*. СПб.: ВНИМИ; 2012. 114 с.
9. Лукичев С.В., Семенова И.Э., Земцовский А.В., Громов Е.В. Определение границ охранных целиков в тектонически напряженных массивах. *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2019;(2):19–28. https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.2.19-27
10. Мирошникова Л.К., Мезенцев А.Ю., Семенякина Н.В., Котельнокова Е.М. Геодинамически активные структуры западного фланга Талнахского рудного узла. *Горная промышленность*. 2020;(3):105–113. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-3-105-112
11. Тарасов А.В. О типизации структурных элементов норильских медно-никелевых месторождений. В кн.: *Геология и полезные ископаемые Норильского района: материалы 2-й Норильская геологическая конференция*. Норильск: Изд-во Норильского ГМК; 1971. С. 150–153.
12. Лукичев С.В., Козырев А.А., Семенова И.Э., Белогородцев О.В., Аветисян И.М., Хомкин Е.Е. Научное обоснование перспективной отработки апатит-нефелиновых руд на больших глубинах в сложных горно-геологических условиях. *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2019;(2):5–12. https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.2.5-12
13. Козырев А.А., Семенова И.Э., Журавлева О.Г., Пантелеев А.В. Применение методики выявления сейсмически опасных участков массива для анализа события 9 января 2018 года на Расвумчоррском руднике. *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2019;(2):13–19. https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.2.13-18
14. Рассказов И.Ю., Саксин Б.Г., Потапчук М.И., Усиков В.И. Геомеханическая оценка условий разработки Южно-Хинганского месторождения марганцевых руд. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2014;(1):13–22.
15. Бирючев И.В., Макаров А.Б., Усов А.А. Геомеханическая модель рудника. Часть 1. Создание. *Горный журнал*. 2020;(1):42–48. https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.08
16. Ливинский И.С., Митрофанов А.Ф., Макаров А.Б. Комплексное геомеханическое моделирование: структура, геология, разумная достаточность. *Горный журнал*. 2017;(8):51–55. https://doi.org/10.17580/gzh.2017.08.09
17. Andrews P.G. Ground support selection rationale: a Gold Fields perspective. In: Hadjigeorgiou J., Hudyma M. (eds) *Proceedings of the Ninth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction*. Perth: Australian Centre for Geomechanics; 2019, pp. 15–28. https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1925_0.02_Andrews
18. Laubscher D., Guest A., Jakubec J. *Guidelines on Caving Mining Methods: The Underlying Concepts*. Queensland: The University of Queensland; 2017. 282 p.

References

1. Marysyuk V.P., Tereschenko M.V., Tsirel S.V., Mulev S.N. Features of seismic activity in Skalistaya mine. *Gornyi Zhurnal*. 2016;(7):19–22. (In Russ.) https://doi.org/10.17580/gzh.2016.07.04
2. Eremenko A.A., Darbinyan T.P., Aynbinder I.I., Konurin A.I. Geomechanical assessment of rock mass in the Talnakh and Oktyabrsky deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2020;(1):82–86. (In Russ.) https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.16
3. Galaov R.B., Kisel A.A., Andreev A.A., Zubkov V.V. Pre-stoping assessment of stress state of ore body S-2 in Skalistaya Mine. *Gornyi Zhurnal*. 2016;(7):10–14. (In Russ.) https://doi.org/10.17580/gzh.2016.07.02
4. Neverov S.A., Neverov A.A., Konurin A.I., Medvedeva N.P. Justification of mining sequence for ore deposits within the glubokaya mine. *Journal of Fundamental and Applied Mining Sciences*. 2019;6(2):200–206. (In Russ.) https://doi.org/10.15372/FPVGN2019060234
5. Petukhov I.M., Batugina I.M. *Geodynamic zoning of underground resources*. Leningrad: VNIMI; 1990. 129 p. (In Russ.)
6. Petukhov I.M., Batugina I.M. *Geodynamics of underground resources*. 2nd ed. Moscow: Nedra Kommyunikeishens; 1999. 256 p. (In Russ.)
7. Batugina I.M., Batugin A.S., Petukhov I.M. et al. *IZOS-333 Correction of geodynamic zoning maps of underground resources, produced in 1986-1988 due to improvement of the plotting methodology: report on scientific research activities*. Moscow: Moscow State Mining University; 2004. 33 p. (In Russ.)
8. Batugina I.M. et al. *Guidance on geodynamic zoning of mine fields*. St. Petersburg: VNIMI; 2012. 114 p. (In Russ.)
9. Lukichev S.V., Semenova I.E., Zemtsovskii A.V., Gromov Ye.V. The definition of the protective pillar boundaries in tectonically stressed rock masses. *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2019;(2):19–28. (In Russ.) https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.2.19-27
10. 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.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-3-105-112

11. Tarasov A.V. Typification of structural elements of Norilsk copper and nickel deposits. In: *Geology and mineral resources of Norilsk region: Proceedings of the 2nd Norilsk Geological Conference*. Norilsk: Norilsk Mining And Metallurgical Complex; 1971, pp. 150–153. (In Russ.)
12. Lukichev S.V., Kozyrev A.A., Semenova I.E., Belogorodtsev O.V., Avetisian I.M., Khomkin I.E. Scientific substantiation of the prospective apatite-nepheline ore mining at the great depths under complicated mining and geological conditions. *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2019;(2):5–12. (In Russ.) https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.2.5-12
13. Kozyrev A.A., Semenova I.E., Zhuravleva O.G., Panteleev A.V. An approach to identify seismic hazardous areas for analyzing a geodynamic event at the Rasvumchorr mine on January 9, 2018. *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2019;(2):13–19. (In Russ.) https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.2.13-18
14. Rasskazov I.Y., Saksin B.G., Potapchuk M.I., Usikov V.I. Geomechanical assessment of mining conditions in the Khingansk manganese ore body. *Journal of Mining Science*. 2014;50(1):10–17. https://doi.org/10.1134/S1062739114010025
15. Biryuchev I.V., Makarov A.B., Usov A.A. Geomechanical model of underground mine. Part I. Creation. *Gornyi Zhurnal*. 2020;(1):42–48. https://doi.org/10.17580/gzh.2020.01.08
16. Livinskiy I.S., Mitrofanov A.F., Makarov A.B. Complex geomechanical modeling: structure, geology, reasonable sufficiency. *Gornyi Zhurnal*. 2017;(8):51–55. https://doi.org/10.17580/gzh.2017.08.09
17. Andrews P.G. Ground support selection rationale: a Gold Fields perspective. In: Hadjigeorgiou J., Hudyma M. (eds) *Proceedings of the Ninth International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction*. Perth: Australian Centre for Geomechanics; 2019, pp. 15–28. https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1925_0.02_Andrews
18. Laubscher D., Guest A., Jakubec J. *Guidelines on Caving Mining Methods: The Underlying Concepts*. Queensland: The University of Queensland; 2017. 282 p.

Информация об авторах
Мирошникова Людмила Константиновна – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, г. Норильск, Российская Федерация; e-mail: miroshnikova_lk@mail.ru
Мезенцев Александр Юрьевич – ассистент, аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, г. Норильск, Российская Федерация; e-mail: kingmezencev@mail.ru
Кадыралиева Гульзат Асанбековна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Республики Кыргызстан, г. Бишкек, Республика Кыргызстан; e-mail: gulzat_7@list.ru
Перепелкин Михаил Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, доцент кафедры горного дела, Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация; e-mail: mihaillfw@icloud.com

Информация о статье
Поступила в редакцию: 04.11.2021
Поступила после рецензирования: 23.11.2021
Принята к публикации: 24.11.2021

Information about the authors
Lyudmila K. Miroshnikova – Dr. Sci. (Geolog. & Mineral.), Professor, Department of Mineral Deposit Development, Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russian Federation; e-mail: miroshnikova_lk@mail.ru
Aleksandr Yu. Mezentsev – Assistant Lecturer, Post-Graduate Student, Department of Mineral Deposit Development, Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Russian Federation; e-mail: kingmezencev@mail.ru
Gulzat A. Kadyralieva – Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Associate, Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic, Bishkek, Republic of Kyrgyzstan: e-mail: gulzat_7@list.ru
Mikhail A. Perepelkin – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Road Transport, Associate Professor of the Department of Mining, North-East State University, Magadan, Russian Federation; e-mail: mihaillfw@icloud.com

Article info
Received: 04.11.2021
Revised: 23.11.2021
Accepted: 24.11.2021