

ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНОГО ЮЖНО-ХИНГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ РУД

М.И. Рассказов¹, М.И. Потапчук¹, В.И. Усиков¹, Г.А. Курсакин¹

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия,
e-mail: rasm.max@mail.ru

Аннотация: Крупномасштабная и интенсивная техногенная деятельность, к которой относится выемка и перемещение больших объемов горных пород при разработке месторождений твердых полезных ископаемых, оказывает значительное влияние на естественное напряженно-деформированное состояние горного массива и часто приводит к активизации геодинамических процессов. Проявлением геодинамической активизации являются горно-тектонические удары, техногенная и наведенная сейсмичность, а также другие опасные геодинамические явления, прогнозирование которых представляет собой актуальную и одновременно весьма сложную проблему. В рамках метода геодинамического районирования месторождений была предложена методика исследования современной тектонической структуры массива горных пород, в которой морфоструктурный анализ дополняется объемной интерпретацией рельефа земной поверхности и изучением радарных снимков с помощью современных компьютерных программ. Детальный анализ цифровых расчетных моделей разных масштабов позволил установить неоднородность современного природного поля напряжений, а также выделить блоки с наибольшей геодинамической активностью, где прогнозируются высокие значения напряжений на данном месторождении. В результате комплексной геодинамической оценки Южно-Хинганского месторождения была изучена его разломно-блоковая структура и современная активность и кинематика тектонических элементов разного масштабного уровня и получены данные о характере естественного напряженного состояния горного массива.

Ключевые слова: геодинамическая оценка, разломно-блоковая структура, тектоническая активность, топографические карты, цифровая модель рельефа, линеаменты, целевой анализ радарных снимков, напряженно-деформированное состояние.

Благодарность: Исследования выполнены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» ХФИЦ ДВО РАН, финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2025-621.

Для цитирования: Рассказов М. И., Потапчук М. И., Усиков В. И., Курсакин Г. А. Оценка геодинамических условий разработки сложноструктурного Южно-Хинганского месторождения марганцевых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 11. – С. 34–48. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_34.

Assessment of geodynamic conditions for the development of complex-structured South Khingan manganese ore deposit

M.I. Rasskazov¹, M.I. Potapchuk¹, V.I. Usikov¹, G.A. Kursakin¹

¹ Mining Institute of the Far Eastern Branch of RAS, Khabarovsk, Russia, e-mail: rasm.max@mail.ru

Abstract: Large-scale and intensive technogenic activity, which includes the excavation and transportation of large volumes of rocks during the development of deposits of solid minerals, has a significant impact on the natural stress-strain state of the rock massif and often leads to the activation of geodynamic processes. The prediction of geodynamic activation is rock-tectonic bursts, man-made and induced seismicity and other hazard geodynamic phenomena is an urgent and a very difficult problem. Within the framework of the method of geodynamic zoning of deposits, a methodology for studying the modern tectonic structure of a rock massif is proposed. This methodology includes morphostructural analysis, supplemented by a volumetric interpretation of the Earth's surface relief and the study of radar images using modern computer programs. A detailed analysis of digital calculation models of different scales made it possible to establish the heterogeneity of the modern natural stress field, as well as to identify blocks with the greatest geodynamic activity, where high stress values are predicted at this deposit. As a result of a comprehensive geodynamic assessment of the South Khingan deposit, its fault-block structure and modern activity and kinematics of tectonic elements of different scale levels were studied. Data on the nature of the natural stress state of the rock massif were obtained.

Key words: geodynamic assessment, fault-block structure, tectonic activity, topographic maps, volumetric interpretation of the relief, lineaments, targeted analysis of radar images, stress-strain state.

Acknowledgements: The research was carried out using the resources of the Center for Collective Use «Center for Research of Mineral Raw Materials» of the KHFIC Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, funded by the Russian Federation represented by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under Agreement No. 075-15-2025-621.

For citation: Rasskazov M. I., Potapchuk M. I., Usikov V. I., Kursakin G. A. Assessment of geodynamic conditions for development of the complex-structured South Khingan manganese ore deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(11):34-48. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_34.

Введение

Подземная разработка месторождений полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях и на больших глубинах сталкивается с рядом серьезных проблем [1 – 3], среди которых одной из наиболее сложных является прогноз и предотвращение опасных динамических проявлений горного давления, нередко приводящих к катастрофическим последствиям [4 – 7]. Весьма

остро эта проблема стоит на Дальнем Востоке России, где работает целый ряд подземных рудников, на которых наблюдается весь спектр динамических форм проявления горного давления вплоть до сильных с тяжелыми последствиями горных и горно-тектонических ударов [8].

Проявлением геодинамической активизации являются горно-тектонические удары, техногенная и наведенная сейсмичность, а также другие опасные гео-

динамические явления [9–11]. Сложность их прогнозирования обусловлена многофакторностью условий и причин геодинамических явлений, многообразием горнотехнических и горно-геологических характеристик исследуемых объектов, неоднородностью напряженно-деформированного состояния и значительными вариациями физико-механических свойств массивов горных пород, изменяющихся при интенсивном техногенном воздействии [12–14]. Надежный прогноз таких катастрофических событий затруднен еще и потому, что поведение предельно напряженного массива горных пород, рассеченного тектоническими нарушениями, породными контактами и содержащего горные выработки различных форм и размеров, далеко не всегда может быть описано с помощью известных классических подходов [15–17].

Обоснование эффективного порядка и технологии отработки месторождений, характеризующихся сложными горно-геологическими условиями, возможно при строгом учете параметров и характеристик массива горных пород, включая его напряженно-деформированное состояние на различных этапах разработки. Параметры и характер поля напряжений в массивах рудных месторождений в большей степени зависят от особенностей тектонической структуры, в том числе блокового строения, которое тесно связано с долгоживущими крупными разломами, играющими значительную роль в региональном геодинамическом развитии [18–21].

Достаточно ярко взаимосвязь геодинамики и геомеханического состояния массивов горных пород прослеживается на примере Южно-Хинганского месторождения марганцевых руд, расположенного в Октябрьском районе Еврейской автономной области. Углубленное изучение современной геодинамики и осо-

бенностей формирования поля напряжений в районе Южно-Хинганского месторождения (участок Поперечный) продиктовано необходимостью обоснования наиболее безопасной технологии отработки данного месторождения.

Месторождение находится на начальном этапе освоения. Его сложно-структурное строение, а также расположение на стыке крупных современных морфологических элементов региона, где уже разрабатываются месторождения, опасные по горным ударам (например, расположенное в 115 км от него на северо-восток Хинганское оловорудное), дает основание для возможного развития опасных геодинамических событий на месторождении [8]. Поэтому выполненный более детальный анализ морфометрических параметров и структурных особенностей позволит получить объективную информацию о характере напряженно-деформированного состояния массива горных пород в районе месторождения.

Протяженность основного рудного тела на Южно-Хинганском месторождении марганцевых руд составляет 2400 м при средней мощности 3,2 м и содержании марганца 20,4%. По падению на глубину рудные тела изучены до 400 м без признаков выклинивания. Падение тела крутое, на восток, под углами 65–85°.

В структурном отношении рудное поле месторождения приурочено к Самарской синклинальной зоне, сложенной метаморфизованными осадочными породами протерозойско-нижнекембрийского возраста. Эта зона входит в состав крупного Кимканского прогиба. Район месторождения характеризуется сложной складчато-чешуйчатой структурой с четкой субмеридиональной упорядоченностью пликтивных и дизъюнктивных дислокаций. На западной и восточной периферии рудного поля осадочные

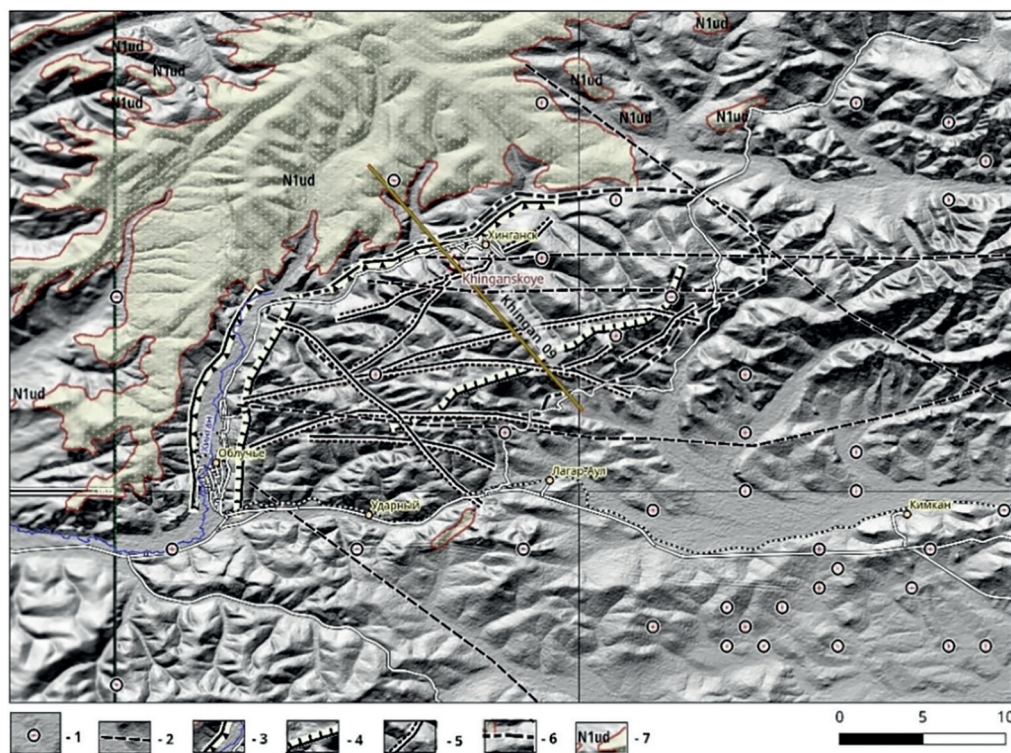
толщи прорваны плитообразными межформационными телами гранитов и дайками диабазов каледонского возраста [22 – 24].

Южно-Хинганское месторождение сформировано в условиях мелководного морского бассейна в депрессиях дорудного карстового рельефа и изначально представляло собой единый стратифицированный рудоносный объект. В настоящее время на уровне современного эрозионного среза оно имеет вид разобщенных тектоническими подвижками фрагментов, которые представлены тремя вытянутыми в меридиональном направлении полосами, отстоящими друг

от друга на 2–5 км. Каждая полоса в свою очередь расчленяется на несколько рудных участков. Анализ региональных материалов показал, что на блоковую и разломную структуру Южно-Хинганского месторождения решающее влияние оказали процессы мезо-кайнозойской активизации региона, которые охватили его территорию при формировании Хингано-Яуринской вулканической зоны и Средне-Амурской рифтогенной впадины [25].

Методы и результаты исследований

Для лучшего понимания роли геодинамических элементов при формирова-



- 1 – эпицентры землетрясений; 2 – разрывные тектонические нарушения разной кинематики;
- 3 – тыльные кромки висячих крыльев обращенных надвигов (аллохтона);
- 4 – линии отрыва аллохтонных масс от автохтонного массива (штрихи показывают направление отрыва);
- 5 – сбросы (штрихи показывают направление падения сместителя);
- 6 – контур жесткого массива; 7 – покров неогеновых базальтов

Рис. 1. Морфотектоническая схема Хинганского рудного узла

Fig. 1. Morphotectonic scheme of the Khingan ore field

нии в литосфере областей повышенных напряжений и оценки возможной угрозы Южно-Хинганского месторождения был применен метод аналогий; за основу было взято хорошо изученное ранее Хинганское оловородное месторождение, на котором также был выполнен морфотектонический анализ рельефа с использованием топографических карт масштаба 1:100 000 и радарных космических снимков, полученных NASA по программе Shuttle Radar Topography Mission SRTM30 (30-секундная матрица высот с шагом примерно 1 км) и, в основном, SRTM3 (3-секундная матрица с шагом примерно 90 м) [26].

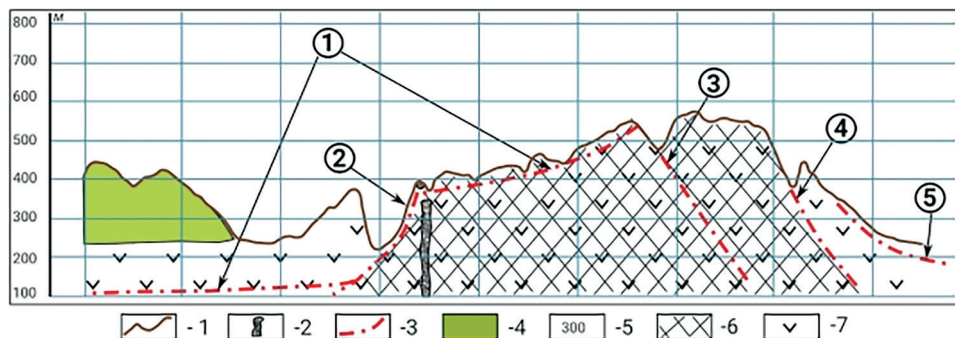
На морфотектонической схеме узла (рис. 1) можно увидеть все определяющие обстановку структуры, в частности, обведен приблизительный контур обособленного жесткого массива. Массив уверенно выделяется из окружающих форм рельефа как единая возвышенность. Он имеет грубоовальную форму, длинной осью вытянутую в направлении ЮЗ–СВ. Юго-восточный край структуры гипсометрически выше остальной

части массива. На северо-запад происходит довольно пологое понижение рельефа, затем резко обрывается в сторону русла реки Хинган. В этом же направлении простираются и несколько V-образных долин, оперяющих долину Хингана в верхнем течении.

Формирование окончательной структуры можно представить в следующей последовательности. Предполагается, что дрейф Амурского тектонического потока на рассматриваемой площади происходил в среднем по азимуту 145° в ЮВ направлении. Тектонически эродирующий верхнюю часть жесткого массива и, одновременно, Хинганского месторождения обращенный надвиг раскрывался во встречном направлении по пологому сместителю. Затем произошел сброс, имеющий падение сместителя в этом же направлении (СЗ). На этом завершился заключительный этап формирования депрессии, позднее заполненной неогеновыми базальтами.

Эта ситуация поясняется профилем (рис. 2).

В раскрытии обращенного надвига встречно тектоническому потоку нет ни-



- 1 – профиль рельефа; 2 – рудные тела; 3 – дизъюнктивные тектонические нарушения (в кружках: 1 – сместитель обращенного надвига; 2 – сброс, формирующий долину р. Хинган; 3 – локальный сброс, раскалывающий жесткий массив; 4, 5 – сбросы, ограничивающие массив с ЮВ); 4 – покров неогеновых базальтов; 5 – абсолютные высоты; 6 – проекция жесткого блока на плоскость разреза; 7 – массив меловых риолитов, местами прорванный малыми интрузиями кварцевых порфиров

Рис. 2. Разрез по профилю Khings_09

Fig. 2. Profile section Khings_09

чего необычного. Такое явление неоднократно наблюдалось и на других площадях [26]. Время образования основных морфотектонических структур — конец мела предположительно — определено по осадочным отложениям во впадинах третьего порядка, расположенных в похожих структурах в верховьях рек Торماسу и Биджана на Малом Хингане. Эти образования сложены слабо литифицированными терригенными осадками кундурской свиты (K2).

В пределах Хинганского жесткого массива формируются всего несколько современных активных разломов, поэтому его напряженно-деформированное состояние в породах блока аккумулируется и редко происходит разрядка, что находит подтверждение в том, что плотность эпицентров землетрясений падает по сравнению с окружающей геологической средой. К этому следует добавить, что оперяющие левый борт долины р. Хинган V-долины сформированы не разломами, а, по-видимому, бороздами выпаживания при перемещении висячего крыла обращенного надвига (детachment) по автохтонному блоку (рис. 3).

Выявленные особенности строения Хинганского рудного поля имеют суще-

ственное значение и при оценке геодинамической обстановки в Южно-Хинганском марганцеворудном узле.

Крупномасштабные (1:25 000) топографические карты территории информативны и визуально дешифрируются значительно легче мелкомасштабных карт. При их интерпретации выявляется целый ряд важных деталей, которые не проявлены в мелком масштабе, но необходимы для понимания разломно-блоковой структуры заключительного этапа развития территории. Позиция рудного блока отражает современную структуру участка «Поперечный» (и прилегающей территории) (рис. 4), а также установленное направление главного горизонтального сжатия и движение тектонических потоков в верхней части земной коры региона [24, 26, 27].

Нижняя граница горного отвода определена на 1000 м ниже дневной поверхности. По характеру поведения рудного горизонта в описываемом объеме можно выделить 3 блока (рис. 5), которые разделены переходными областями, где, если рассматривать позицию рудного пласта в вертикальной плоскости относительно горизонта +220 м, происходит общее понижение его оруденелой части.

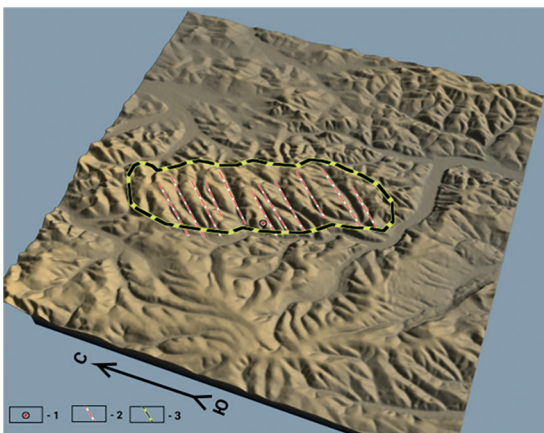
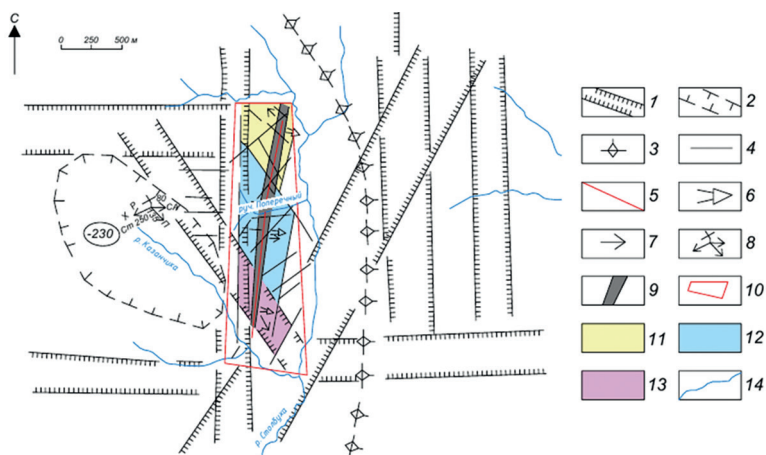


Рис. 3. Цифровая расчетная модель Хинганского рудного узла

Fig. 3. Digital calculation model of Khingan ore field

- 1 – месторождение
- 2 – линеаменты, определяющие положение борозд выпаживания
- 3 – контур проекции жесткого массива на земную поверхность



- 1 – зоны сгущения линеаментов; 2 – локальная структура опускания, предположительно связанная с опустошением периферического очага; 3 – внешний контур сводовой кольцевой структуры; 4 – отдельные линеаменты, определяющие современную структуру участка «Поперечный»; 5 – положение рудоносного горизонта; 6,7 – направление ступенчатого погружения рудного горизонта по данным детальной разведки: 6 – на верхних горизонтах, 7 – на нижних горизонтах; 8 – обобщенные сведения о направлении главного горизонтального сжатия и установленном направлении движения тектонических потоков в районе: «Р» – соотношение направления горизонтального сжатия по результатам численного моделирования (Рассказов И.Ю., 2006), «Х» – направление главного горизонтального сжатия в горном массиве месторождения Хинганское (Рассказов И.Ю., 2008), «Ст» – направление современного горизонтального перемещения земной коры в районе дер. Сутара (данные GPS-измерений), «П» – реставрированное направление движения Амурского тектонического потока (Усиков В.И., 2011), «СА» – то же – Сихотэ-Алинского; 9 – современные контуры рудоносного блока; 10 – участок «Поперечный»; 11 – Северный блок повышенной геодинамической активности; 12 – Центральный блок; 13 – наиболее геодинамически активный Южный блок; 14 – речная сеть

Рис. 4. Позиция рудного блока участка «Поперечный» в современных тектонических структурах района
 Fig. 4. The position of the ore block of "Poperechniy" site in the modern tectonic structures of the area

Наиболее протяженный Центральный блок характеризуется устойчивым падением рудного горизонта на восток, отделяется от соседей переходными (можно интерпретировать как слабонарушенными) зонами мощностью около 300 м, где положение рудного горизонта устойчиво в плане, а ширина вовлекаемого в отработку блока становится минимальной. Северное окончание блока интенсивно нарушено поперечными северо-западными разломами. В пределах Центрального блока преобладают очень крутые разломы, либо разломы, падающие как на восток, так и на запад, и в целом в современном рельефе он пространственно совпадает с наиболее возвышенной (приводораздельной) частью участ-

ка «Поперечный», а два других блока – со склоновыми частями рельефа, имеющими среднюю высотную отметку на 30–40 м ниже.

Южный блок отличается наибольшей тектонической нарушенностью вмещающих пород и рудного горизонта, а также устойчивым падением оруденелого пласта на восток. Данный блок наиболее геодинамически активный, поскольку пространственно совпадает с узлом сочленения крупных систем линеаментов меридионального, северо-западного и широтного направлений.

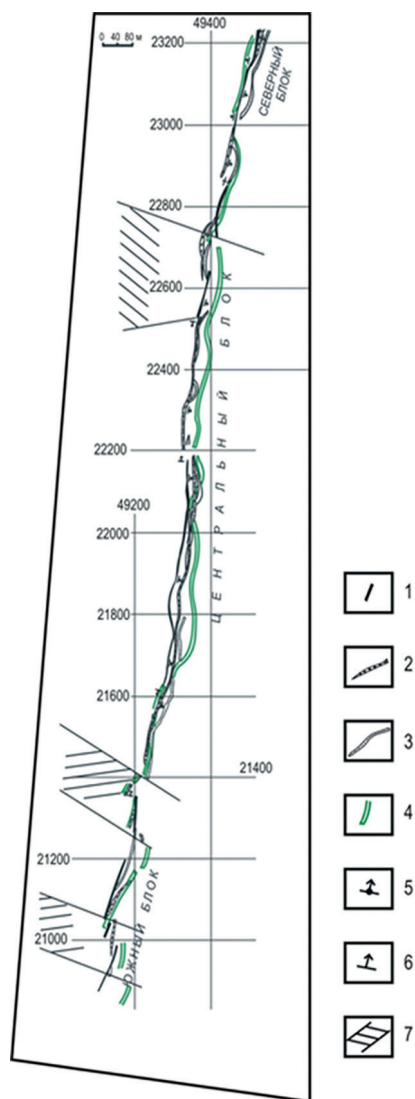
Северный блок характеризуется неустойчивостью в плане положения рудного горизонта на разных глубинах. Если с этих же позиций рассмотреть изме-

нение падения швов разломов, то обнаружим, что в пределах блока они в большинстве своем падают на восток. Северный блок — второй по активности, так как совпадает с узлом сочленения линеаментов таких же направлений, что и у Южного блока, но имеющих меньший ранг.

Описанные подвижные блоки имеют сдвиговую кинематику, интенсивность которой нарастает на юг, что хорошо увязывается с общим направлением дрейфа тектонического потока, а также с характером современного поля напряжений, зафиксированным на соседних объектах.

В этой связи, как и на Хинганском месторождении, на данном объекте наиболее активными будут являться правые и левые сдвиги соответственно северо-восточного и северо-западного простирания [28]. В работе [28] также отмечено, что мощность потенциально удароопасных зон вдоль этих разломов колеблется от 35 до 80 м, а начальные напряжения на границах — 50 МПа. Первые горные удары на Хинганском месторождении зафиксированы на горизонте +110 м, на глубине 500 м. Принимая во внимание заметное напряженное состояние керна скважин, который получен для исследования физико-механических свойств пород горного массива на участке «Поперечный», а также описанную выше сложную геолого-структурную позицию объекта будущей эксплуатации, ниже штольневых горизонтов (+220 м) при горных работах следует ожидать нарастание опасных динамических явлений.

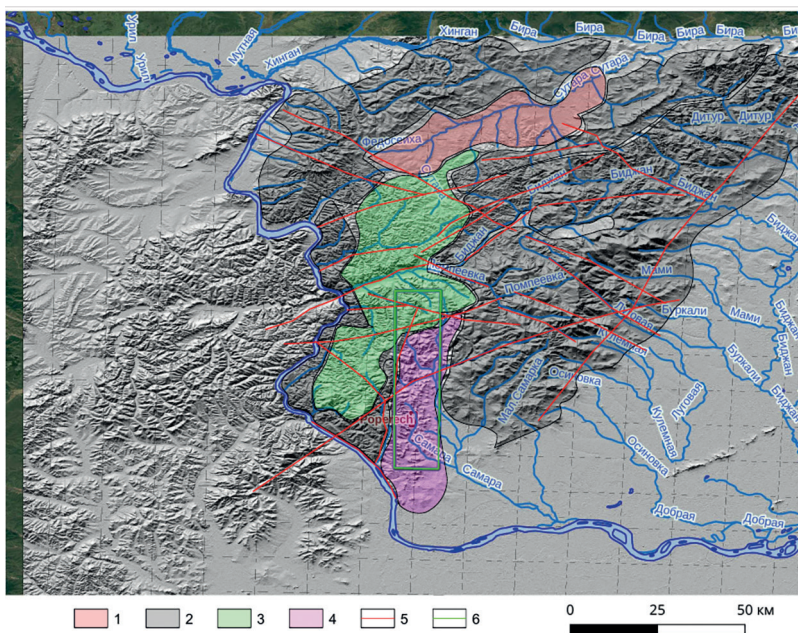
Для повышения надежности выводов о современной структуре участка месторождения была выполнена объемная интерпретация рельефа с помощью современных компьютерных программ, а также целевой анализ радарных снимков. Анализ рельефа позволил наглядно представить тектоническую позицию рудного узла в регионе и уточнить де-



- 1 – рудные тела на горизонте 220 м;
- 2 – рудные тела на горизонте 160 м;
- 3 – рудные тела на горизонте 100 м;
- 4 – предполагаемое положение рудных тел на горизонте –20 м;
- 5 – общее направление падения рудного пласта на интервале;
- 6 – участки (блоки) наиболее крупных поднятий и опусканий оруденелой части пласта;
- 7 – блоки, где рудный пласт наиболее значительно нарушен разломами

Рис. 5. Расположение и тектоническая нарушенность рудных тел на различных горизонтах Южно-Хинганского месторождения

Fig. 5. Location and tectonic disturbance of ore bodies at various horizons of the Yuzhno-Khinganskoye deposit



- 1 – равнинный массив; 2 – гористый массив (в данном случае низкогорный с абсолютными превышениями не более 1000 м над уровнем моря);
 3 – массивы, представленные платообразными возвышенностями со слабо расчлененным рельефом;
 4 – массив интенсивно дислоцированный, отображаемый в рельефе густой сетью хаотически ориентированных локальных линейментов; 5 – региональные разломы Южного Хингана;
 6 – границы Южно-Хинганского железо-марганцевого рудного узла

Рис. 6. Схема горных массивов и региональных разломов на участке «Поперечный» и прилегающих площадях

Fig. 6. Diagram of mountain ranges and regional faults in "Poperechniy" area and bordering areas

тали строения участка месторождения. Цифровые расчетные модели (ЦРМ), построенные на базе матрицы высот SRTM30m с разрешением примерно 30 м и на основе плана масштаба 1:2000, позволили выявить некоторые характерные детали строения территории и площади расположения месторождения.

Среднемасштабная морфотектоническая схема района рудного узла позволяет выделить диагональную сеть линейментов, которая, в частности, отражает тектоническую расслоенность, выраженную в развитии чешуй. Особенно отчетливо она проступает на площади, расположенной к северо-западу от месторождения. Чешуи собраны в ансамбли, преимущественно северо-восточное

простираение фронтов этих ансамблей и раскалывание их северо-западными разломами указывает на направление горизонтального перемещения аллохтонных масс в направлении СЗ – ЮВ. Законсервированный в подобных структурах геодинамический процесс, по-видимому, завершился на рубеже мезозоя – кайнозоя. Данная схема также подтверждает, что на территории месторождения сеть тектонических нарушений разной ориентировки развита особенно густо.

Кроме этого, по анализу цифровых моделей рельефа было выделено четыре типа рельефа, соответствующих четырем типам горных массивов (рис. 6).

Равнинные речные долины заполнены аллювиальными отложениями, по-

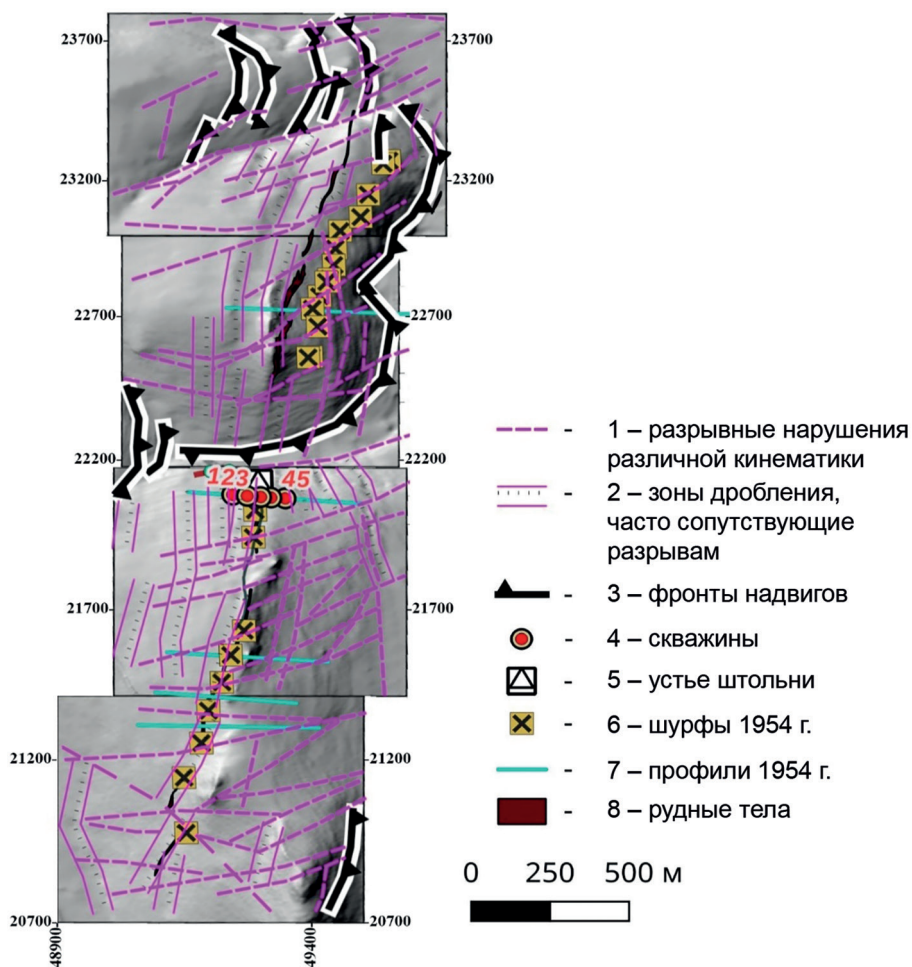


Рис. 7. Морфотектоническая схема южной части Южно-Хинганского месторождения на участке «По-перечный»

Fig. 7. Morphotectonic scheme of the southern part of the South Khingan field in the Poperechny area

этому детали структур на их площади практически не определяются. По предварительным исследованиям, платообразные возвышенности со слабой расчлененностью рельефа соответствуют обособленным жестким массивам горных пород, нарушенным редкими разрывами, в основном сохраняющих целостность. Они являются аккумуляторами и концентраторами напряженно-деформированных состояний. Также эти структуры оказывают воздействие на окружающие горные массивы.

Анализ всей совокупности данных, прежде всего обзорных, дает возможность заключить, что современный рельеф рассматриваемой территории сформирован дрейфом верхних слоев Амурской плиты в ЮВ направлении, согласно с региональными разломами того же простирания, по-видимому сбросо-взбросо-сдвигами, сопряженными с морфоструктурами СВ протяженности. Предположительно они имеют возраст конец мела — начало палеогена. В масштабе рудного узла в рельефе проявляются

субширотные тектонические структуры, по внешним признакам сбросо-сдвиги, которые секут диагональные образования. Вероятно, они фиксируют направление современного дрейфа тектонической чешуи, слагающей регион, на восток. Сам узел расположен в пределах интенсивно дислоцированного локальными разрывными нарушениями разной ориентации массива (рис. 7).

Обращает на себя внимание обилие сбросов и зон интенсивного дробления среди них. Зона дробления сопровождается рудный горизонт на всем его протяжении, в основном со стороны лежащего крыла. Интенсивная нарушенность массива фиксируется полевыми наблюдениями (искусственное обнажение длиной 25 м по борту ручья, западнее портала штольни Южной).

Детальный анализ ЦРМ разных масштабов позволил сделать вывод о весьма существенном влиянии упомянутого ранее обособленного жесткого массива на геодинамику рассматриваемого района, и, в частности, на строение Южно-Хинганского рудного узла, в эволюции которого можно выделить по крайней мере два крупных этапа. При формировании рельефа горный Самарский массив, составляющий территорию узла, оказался сложен породами более слабыми и хрупкими, чем два его окружающих — жесткий платообразный и Биджанский горный. Вначале, по мере давления жесткого массива на Биджанский, Южно-Хинганский подвергся резкому сжатию, в результате чего возникли разрывные структуры ССВ и С ориентации. Это подтверждается реликтами надвига, сформированного на этом этапе, фрагменты фронта которого хорошо сохранились.

Породы рудной зоны имеют высокие прочностные свойства, поэтому хрупкому разрушению подверглись зальбанды со стороны вмещающих. Впоследст-

вии изменилось направление дрейфа с ЮВ на В и увеличилась скорость Биджанского блока относительно жесткого. Поэтому Южно-Хинганский массив оказался в режиме растяжения, что привело к появлению новых разрывов. Средние значения высот рельефа понизились по сравнению с обрамлением, и, вероятно, появился локальный вектор перемещения в южном направлении. Обилие сбросовых структур, по-видимому, свидетельствует о сохранении такого режима. Наличие разломов и зон дробления по контакту рудной зоны осложняет геодинамическую обстановку на месторождениях рудного узла.

В пределах жесткого массива проявлены два региональных разлома, вероятно, активных. Это разлом вдоль линейного участка нижнего течения реки Помпеевка, раскалывающий массив на две части, и разлом, отслеживаемый по прямолинейному участку среднего течения этой же реки — верховьев р. Кулемной.

Заключение

По результатам разностороннего анализа морфотектонических и геологических материалов, как, собственно, по участку «Поперечный», так и по сопредельным территориям, можно сделать следующие выводы.

1. Позиция района месторождения на стыке Средне-Амурской рифтогенной впадины и Буреинского хребта определила его чрезвычайно сложное современное разломно-блоковое строение. Это однозначно подтверждено при детальной разведке месторождения и при морфоструктурном анализе поля высот по разномасштабным исходным данным. Кроме линейных крутопадающих тектонических элементов, структура площади определяется ее позицией в пределах Амурского тектонического потока, а также на периферии крупной сводовой

структуры. С этим, возможно, связано наличие признаков, свидетельствующих о чешуировании геосреды, а также признаков пологих сместителей в пределах рудоносного горизонта.

2. Наибольшей геодинамической активностью характеризуется Южный блок и серия наклонно ($40 - 60^\circ$) падающих на север тектонических нарушений (сбрососдвигов), разрывающих по диагонали рудные тела и гребень хребта.

3. Детальный анализ цифровых расчетных моделей разных масштабов позволил установить неоднородность современного природного поля напряжений, в котором более высокие значения напряжений прогнозируются в массиве горных пород Северного блока. Уточнено направление регионального сжатия в массиве месторождения, которое изменяется с ЮВ направления в центральном и северном блоках на Ю в южном блоке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Foulger G. R., Wilson V. P., Gluyas J. G., Julian B. R., Davies R. J. Global review of human-induced earthquakes // *Earth-Science Reviews*. 2017, vol. 178, pp. 438 – 514. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.07.008.
2. Адушкин А. А. Развитие техногенно-тектонической сейсмичности в Кузбассе // *Геология и геофизика*. – 2018. – Т. 59. – № 5. – С. 709 – 724. DOI: 10.15372/GiG20180510.
3. Keneti A., Sainsbury B. A. Review of published rockburst events and their contributing factors // *Engineering Geology*. 2018, vol. 246, pp. 361 – 373. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.10.005.
4. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамика недр. – М.: Недра, 1999. – 256 с.
5. Jiang F. F., Zhou H., Liu C., Sheng J. Progress, prediction and prevention of rockbursts in underground metal mines // *China Journal of Rock Mechanic Engineering*. 2019, vol. 38, no. 5, pp. 956 – 972.
6. Liu J.-P., Feng X.-T., Van Aswegen G., Blake W., Srinivasan C., Rao M. V. M. S., Zembaty Z. Case histories of rockbursts at metal mines / *Rockburst. Mechanisms, Monitoring, Warning, and Mitigation*. Chapter 3. 2018, pp. 47 – 92. DOI: 10.1016/B978-0-12-805054-5.00003-2
7. Manchao H., Fuqiang R., Dongqiao L. Rockburst mechanism research and its control // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018, vol. 28, no. 5, pp. 829 – 837.
8. Рассказов И. Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. – М.: Изд-во «Горная книга», 2008. – 329 с.
9. Simser B. P. Rockburst management in Canadian hard rock mines // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019, vol. 11, no. 5, pp. 1036 – 1043. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.07.005.
10. Salamon M. D. G. Rockburst hazard and the fight for its alleviation in South African gold mines / *Rockbursts: prediction and control*. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1984, pp. 11 – 36.
11. Małkowski P., Niedbalski Z. A comprehensive geomechanical method for the assessment of rockburst hazards in underground mining // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020, vol. 30, pp. 345 – 355. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.04.009.
12. Rasskazov M., Rasskazov I., Gladyr A., Tereshkin A., Tsoi D., Rasskazova A. Research and assessment of the rock burst hazardous of the Kola Peninsula mineral deposits by seismic-acoustic monitoring data // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 833, no. 1, article 012126. DOI: 10.1088/1755-1315/833/1/012126.
13. Ajay Kumar Taloor, Rakesh Kumar Dumka, Girish Chandra Kothiyari, Prashant Srivastava, Nelloy Khare Active tectonics and surface processes using geospatial technology // *Journal of Applied Geophysics*. 2023, vol. 215, article 105140. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2023.105140.
14. Жукова С. А., Журавлева О. Г., Онуприенко В. С., Стрешнев А. А. Особенности сейсмического режима массива горных пород при отработке удароопасных месторождений Хибинского массива // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2022. – № 7. – С. 5 – 17. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_5.
15. Шабаров А. Н., Смирнов Э. В. Методические принципы прогноза опасных природных процессов на основе геодинамического районирования недр // *Горный информационно-анали-*

тический бюллетень. — 2024. — № 11-1. — С. 157–170. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_111_0_157.

16. Sanbai Li, Zhijiang Kang, Moran Wang, Xi Zhang, Junliang Zhao, Xi-bing Li, Pengzhi Pan, Xin Luo, Hui Wu, Diyan Li, Fengshou Zhang, Shunda Yuan, Hongzhuo Fan, Qinzhao Liao, Bing Hou, Yun Zhang, Ke Gao, Xia-Ting Feng, Dongxiao Zhang Geomechanical perspectives and reviews on the development and evolution of cross-scale discontinuities in the Earth's crust: Patterns, mechanisms and models // *Gas Science and Engineering*. 2024, vol. 129, article 205412. DOI: 10.1016/j.jgsce.2024.205412.

17. Багаутдинов И. И., Локтюкова О. Ю., Шабаров А. Н. Горные удары и их связь с геолого-структурными особенностями массива // *Горный журнал*. — 2025. — № 3. — С. 53–60. DOI: 10.17580/gzh.2025.03.08.

18. Рассказов И. Ю., Курсакин Г. А., Потапчук М. И., Рассказов М. И. Геомеханическая оценка технологических решений при проектировании горных работ в удароопасных условиях // *Записки Горного института*. — 2012. — Т. 198. — С. 80–85.

19. Козырев А. А., Панин В. И., Семенова И. Э., Рыбин В. В. Геомеханическое обеспечение горных работ на горнодобывающих предприятиях Мурманской области // *Горный журнал*. — 2019. — № 6. — С. 45–50. DOI: 10.17580/gzh.2019.06.05.

20. Куранов А. Д., Багаутдинов И. И., Котиков Д. А., Зуев Б. Ю. Комплексный подход к прогнозу устойчивости предохранительного целика при слоевой системе разработки запасов Яковлевского месторождения // *Горный журнал*. — 2020. — № 1. — С. 115–119. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.23.

21. Козырев А. А. Геомеханическое обоснование ведения горных работ на удароопасных месторождениях // *Горная промышленность*. — 2023. — № S1. — С. 4–13. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-04-13.

22. Кулиш Л. И. *Метаморфические марганцевые комплексы Дальнего Востока*. — Хабаровск: ДВИМС, 1974. — 466 с.

23. Диденко А. Н., Каплун В. Б., Малышев Ю. Ф. и др. *Глубинное строение и металлогения Восточной Азии*. — Владивосток: Дальнаука, 2010. — 330 с.

24. Чеботарев М. В. Геологическое строение Южно-Хинганского марганцевого месторождения и вещественный состав его руд // *Советская геология*. — 1958. — № 8. — С. 114–136.

25. Архипов Г. И. *Дальневосточная черная металлургия: железорудносырьевая база и возможности развития*. — Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2005. — 232 с.

26. Усиков В. И. 3D-модели рельефа и строение верхней части земной коры Приамурья // *Тихоокеанская геология*. — 2011. — № 6. — С. 14–33.

27. Rasskazov M., Rasskazova A., Potaphuk M., Tereshkin A. Geomechanical substantiation of measures of safety in the process of development of the Southern Hingansk deposit / *Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development: Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM 2019)*, London: Taylor & Francis Group, 2020, pp. 793–799.

28. Рассказов И. Ю. Численное моделирование современного поля тектонических напряжений в области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов // *Тихоокеанская геология*. — 2006. — № 5. — Т. 25. — С. 104–114. **ПИАБ**

REFERENCES

1. Foulger G. R., Wilson V. P., Gluyas J. G., Julian B. R., Davies R. J. Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews*. 2017, vol. 178, pp. 438–514. DOI: 10.1016/j.earsci-rev.2017.07.008.

2. Adushkin A. A. Development of technogenic-tectonic seismicity in Kuzbass. *Geology and Geophysics*. 2018, vol. 59, no. 5, pp. 709–724. [In Russ]. DOI: 10.15372/GiG20180510.

3. Keneti A., Sainsbury B. A. Review of published rockburst events and their contributing factors. *Engineering Geology*. 2018, vol. 246, pp. 361–373. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.10.005.

4. Batugina I. M., Petukhov I. M. *Geodinamika nedr* [Geodynamics of the subsoil], Moscow, Nedra, 1999, 256 p.

5. Jiang F. F., Zhou H., Liu C., Sheng J. Progress, prediction and prevention of rockbursts in underground metal mines. *China Journal of Rock Mechanic Engineering*. 2019, vol. 38, no. 5, pp. 956–972.

6. Liu J.-P, Feng X.-T, Van Aswegen G., Blake W., Srinivasan C., Rao M. V. M. S., Zembaty Z. Case histories of rockbursts at metal mines. *Rockburst. Mechanisms, Monitoring, Warning, and Mitigation*. Chapter 3. 2018, pp. 47 – 92. DOI: 10.1016/B978-0-12-805054-5.00003-2
7. Manchao H., Fuqiang R., Dongqiao L. Rockburst mechanism research and its control. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018, vol. 28, no. 5, pp. 829 – 837.
8. Rasskazov I. Yu. *Kontrol' i upravlenie gornym davleniem na rudnikakh Dal'nevostochnogo regiona* [Monitoring and control of rock pressure in the mines of the Far Eastern region], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2008, 329 p.
9. Simser B. P. Rockburst management in Canadian hard rock mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019, vol. 11, no. 5, pp. 1036 – 1043. DOI: 10.1016/j.jrmge.2019.07.005.
10. Salamon M. D. G. Rockburst hazard and the fight for its alleviation in South African gold mines. *Rockbursts: prediction and control*. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1984, pp. 11 – 36.
11. Małkowski P., Niedbalski Z. A comprehensive geomechanical method for the assessment of rockburst hazards in underground mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020, vol. 30, pp. 345 – 355. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.04.009.
12. Rasskazov M., Rasskazov I., Gladyr A., Tereshkin A., Tsoi D., Rasskazova A. Research and assessment of the rock burst hazardous of the Kola Peninsula mineral deposits by seismic-acoustic monitoring data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 833, no. 1, article 012126. DOI: 10.1088/1755-1315/833/1/012126.
13. Ajay Kumar Taloor, Rakesh Kumar Dumka, Girish Chandra Kothiyari, Prashant Srivastava, Neyloy Khare Active tectonics and surface processes using geospatial technology. *Journal of Applied Geophysics*. 2023, vol. 215, article 105140. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2023.105140.
14. Zhukova S. A., Zhuravleva O. G., Onuprienko V. S., Streshnev A. A. Seismic behavior of rock mass in mining rockburst-hazardous deposits in the Khibiny Massif. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 7, pp. 5 – 17. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_5.
15. Shabarov A. N., Smirnov E. V. Methodological framework of forecasting hazardous natural processes based on geodynamic zoning. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024, no. 11-1, pp. 157 – 170. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_11_0_157.
16. Sanbai Li, Zhijiang Kang, Moran Wang, Xi Zhang, Junliang Zhao, Xi-bing Li, Pengzhi Pan, Xin Luo, Hui Wu, Di Yuan Li, Fengshou Zhang, Shunda Yuan, Hongzhuo Fan, Qinzhuo Liao, Bing Hou, Yun Zhang, Ke Gao, Xia-Ting Feng, Dongxiao Zhang Geomechanical perspectives and reviews on the development and evolution of cross-scale discontinuities in the Earth's crust: Patterns, mechanisms and models. *Gas Science and Engineering*. 2024, vol. 129, article 205412. DOI: 10.1016/j.jgsce.2024.205412.
17. Bagautdinov I. I., Loktyukova O. Yu., Shabarov A. N. Rock bursts and their relationship with geological and structural features of the massif. *Gornyi Zhurnal*. 2025, no. 3, pp. 53 – 60. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2025.03.08.
18. Rasskazov I. Yu., Kursakin G. A., Potapchuk M. I., Rasskazov M. I. Geomechanical evaluation of technological solutions in the design of mining operations in shock-prone conditions. *Journal of Mining Institute*. 2012, vol. 198, pp. 80 – 85. [In Russ].
19. Kozyrev A. A., Panin V. I., Semenova I. E., Rybin V. V. Geomechanical support of mining operations at mining enterprises of the Murmansk region. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 6, pp. 45 – 50. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.06.05.
20. Kuranov A. D., Bagautdinov I. I., Kotikov D. A., Zuev B. Yu. An integrated approach to predicting the stability of a safety pillar in a layered system for developing reserves of the Yakovlevskoye deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 1, pp. 115 – 119. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.23.
21. Kozyrev A. A. Geomechanical substantiation of mining operations at shock-prone deposits. *Russian Mining Industry Journal*. 2023, no. S1, pp. 4 – 13. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-04-13.
22. Kulish L. I. *Metamorficheskie margantsevye komplekсы Dal'nego Vostoka* [Metamorphic manganese complexes of the Far East], Khabarovsk, DVIMS, 1974, 466 p.
23. Didenko A. N., Kaplun V. B., Malyshev Yu. F., etc. *Glubinnoe stroenie i metallogeniya Vostochnoy Azii* [Deep structure and metallogeny of East Asia], Vladivostok, Dal'nauka, 2010, 330 p.

24. Chebotarev M. V. Geological structure of the South Khingyan manganese deposit and the material composition of its ores. *Sovetskaya geologiya*. 1958, no. 8, pp. 114–136. [In Russ].

25. Arkhipov G. I. *Dal'nevostochnaya chernaya metallurgiya: zhelezorudnosyr'evaya baza i vozmozhnosti razvitiya* [Far Eastern ferrous metallurgy: iron ore raw material base and development opportunities], Khabarovsk, IGD DVO RAN, 2005, 232 p.

26. Usikov V. I. 3D models of relief and structure of the upper part of the earth's crust of the Amur region. *Russian Journal of Pacific geology*. 2011, no. 6, pp. 14–33. [In Russ].

27. Rasskazov M., Rasskazova A., Potapchuk M., Tereshkin A. Geomechanical substantiation of measures of safety in the process of development of the Southern Hingansk deposit. *Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development: Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM 2019)*. London, Taylor & Francis Group, 2020, pp. 793–799.

28. Rasskazov I. Y. Numerical modeling of the modern tectonic stress field in the area of the junction of the Central Asian and Pacific belts. *Russian Journal of Pacific geology*. 2006, no. 5, vol. 25, pp. 104–114. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Рассказов Максим Игоревич*¹ — научный сотрудник,

e-mail: rasm.max@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-9130-8072,

*Потапчук Марина Игоревна*¹ — канд. техн. наук,

ведущий научный сотрудник,

e-mail: potapchuk-igd@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-3769-243X,

*Усиков Виталий Игнатьевич*¹ — канд. экон. наук,

ведущий научный сотрудник,

e-mail: v-i-usikov@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-9871-9181,

*Курсакин Геннадий Андреевич*¹ — д-р техн. наук,

главный научный сотрудник,

ORCID ID: 0000-0001-7782-4663,

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН.

Для контактов: Рассказов М.И., e-mail: rasm.max@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*M.I. Rasskazov*¹, Researcher,

e-mail: rasm.max@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-9130-8072,

*M.I. Potapchuk*¹, Cand. Sci. (Eng.),

Leading Researcher,

e-mail: potapchuk-igd@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-3769-243X,

*V.I. Usikov*¹, Cand. Sci. (Econ.), Leading Researcher,

e-mail: v-i-usikov@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-9871-9181,

*G.A. Kursakin*¹, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher,

¹ Mining Institute of the Far Eastern Branch of RAS, 680000, Khabarovsk, Russia.

Corresponding author: M.I. Rasskazov, e-mail: rasm.max@mail.ru.

Получена редакцией 05.07.2025; получена после рецензии 18.08.2025; принята к печати 10.10.2025.

Received by the editors 05.07.2025; received after the review 18.08.2025; accepted for printing 10.10.2025.