

## ХАРАКТЕР И СТЕПЕНЬ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ПОРОД ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОХОТСКО-ЧУКОТСКОГО ВУЛКАНОГЕННОГО ПОЯСА НА ПРИМЕРЕ ПРИМОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.С. Козлов

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия, e-mail: mr.vkla@mail.ru

**Аннотация:** Актуальность статьи обусловлена строительством и обработкой новых золото-серебряных месторождений в сложных инженерно-геологических условиях на Дальнем Востоке. Рассмотрены параметры трещиноватости Приморского золото-серебряного месторождения, такие как: характер поверхности трещин; ориентировка углов трещин в массиве пород; тип минерального заполнителя; модули кусковатости и трещиноватости массива пород; оценка структурной нарушенности пород массива по методике Дири (RQD); коэффициент и модуль зон ослабления. Оценка характера и степени трещиноватости массива пород Приморского месторождения показала, что преобладают трещины тектонического характера, что обуславливается региональными факторами. По механизму образования – это трещины отрыва. Преобладающими поверхностями открытых трещин являются волнистые, шероховатые. В целом для массива пород месторождения выделяется 2 типа заполнителя трещин: ослабляющий прочностные свойства массива пород и усиливающий прочностные свойства массива пород. Установлено, что степень трещиноватости массива пород месторождения крайне неравномерная. Таким образом, влияние сложных эндогенных процессов, связанных с историей геологического развития и образованием месторождения приводит к формированию локальных инженерно-геологических условий, определяющих устойчивость массива горных пород при вскрытии его горными выработками.

**Ключевые слова:** Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, инженерно-геологические условия, золото-серебряные месторождения, эпипермальные месторождения, региональные факторы, зональные факторы, Приморское месторождение, оценка характера и степени трещиноватости, локальные инженерно-геологические условия.

**Благодарность:** Работа выполнена в рамках реализации программы «Приоритет-2030», руководитель проекта профессор И.В. Абатурова.

**Для цитирования:** Козлов В. С. Характер и степень трещиноватости массива пород золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса на примере Приморского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 11-2. – С. 95–105. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_112\_0\_95.

**The nature and degree of fracturing of the rock mass of gold and silver deposits of Okhotsk-Chukchi volcanic belt on the example of Primorsky deposit**

V.S. Kozlov

<sup>1</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia, e-mail: mr.vkla@mail.ru

---

**Abstract:** The relevance of the article is due to the construction and development of new gold and silver deposits in difficult engineering and geological conditions in the Far East. The article considers the fracturing parameters of the Primorsky gold and silver deposit, such as: the nature of the crack surface; orientation of the crack angles in the rock mass; type of mineral aggregate; modules of lumpiness and fracturing of the rock mass; assessment of structural disturbance of the rocks of the massif by the Dir method (RQD); coefficient and modulus of weakening zones. An assessment of the nature and degree of fracturing of the Primorsky deposit rock mass showed that tectonic cracks predominate, which is caused by regional factors. According to the mechanism of formation, these are separation cracks. The predominant surfaces of open cracks are wavy, rough. In general, 2 types of crack filler are allocated for the rock mass of the deposit: weakening the strength properties of the rock mass; strengthening the strength properties of the rock mass. It is established that the degree of fracturing of the rock mass of the deposit is extremely uneven. Thus, the influence of complex endogenous processes associated with the history of geological development and the formation of the deposit leads to the formation of individual engineering and geological conditions that determine the stability of the rock mass when it is opened by mining.

**Key words:** Okhotsk-Chukotka volcanic belt, engineering and geological conditions, gold and silver deposits, epithermal deposits, regional factors, zonal factors, Primorsky deposit, assessment of the nature and degree of fracturing, individual engineering and geological conditions.

**Acknowledgements:** The work was carried out as part of the implementation of the Priority 2030 program, project manager Professor I.V. Abaturova.

**For citation:** Kozlov V. S. The nature and degree of fracturing of the rock mass of gold and silver deposits of Okhotsk-Chukchi volcanic belt on the example of Primorsky deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(11-2):95-105. [InRuss]. DOI:10.25018/0236\_1493\_2022\_112\_0\_95.

---

## Введение

Интенсификация и существенное усиление условий подземного строительства, когда добыча полезных ископаемых осуществляется во все более сложных инженерно-геологических условиях (большие глубины, структурно-тектонические нарушения, проявления высокого горного давления) влечет за собой рост требований к точности прогноза развития инженерно-геологических процессов [1 – 2]. Полное и достоверное изучение, оценка степени и характера трещиноватости, зон ослабления массива пород, позволяет построить инженерно-геологическую модель месторождения и дать своевременный прогноз изменения инженерно-геологических условий,

определяющих устойчивость стенок и кровли подземных выработок [3 – 4].

## Методы

Изучение характера и степени трещиноватости массива горных пород в контексте современного этапа развития научного направления и промышленности проводится с использованием качественных и количественных характеристик [5], которые в свою очередь рассматривают массив пород с региональных и локальных факторов. Среди региональных рассматривают: историю геологического развития, структурно-тектонические условия, приуроченность месторождений к крупным тектоническим структурам, литолого-петрографический состав по-

род [6]. Среди локальных выделяют: проявление тектонических процессов более низкого порядка, а также метасоматические изменения пород непосредственно на месторождениях [7–8].

Накопленный опыт наблюдений и инженерно-геологических исследований за зонами ослабления на золото-серебряных месторождениях, позволяет выделить важные показатели, влияющие на устойчивость массива пород:

- характер поверхности трещин, как определяющий величину сцепления по ней;
- ориентировку углов трещин в массиве пород, совпадение направлений трещин и выемочной части приводит к активизации горно-геологических процессов;
- тип минерального заполнителя так как именно он определяет прочность пород при взрыве и ударе [8–9];
- модули кусковатости и трещиноватости массива пород;
- оценка структурной нарушенности пород массива по методике Дири (RQD);

- коэффициент и модуль зон ослабления [10].

## Результаты

Охотско-Чукотской вулканогенный пояс представляет собой окраинно-континентальную геологическую структуру планетарного масштаба [11], вмещающий в себя Приморское месторождение. Район месторождения находится в пределах Вилигинско-Калалагинской вулканотектонической структуры, в строении которой участвуют вулканические грабены и вулканоструктуры более высоких порядков. Крупным элементом территории является Тикская кольцевая структура IV порядка с центральным ядром и интрузивным обрамлением, в пределах которой сформирована Калалагинская просадка вмещающее месторождение [12–13].

Главными разломами территории являются разрывные нарушения СЗ простирания Восточный и Западный, а в осевой части проходит Центральный разлом. По времени образования они более

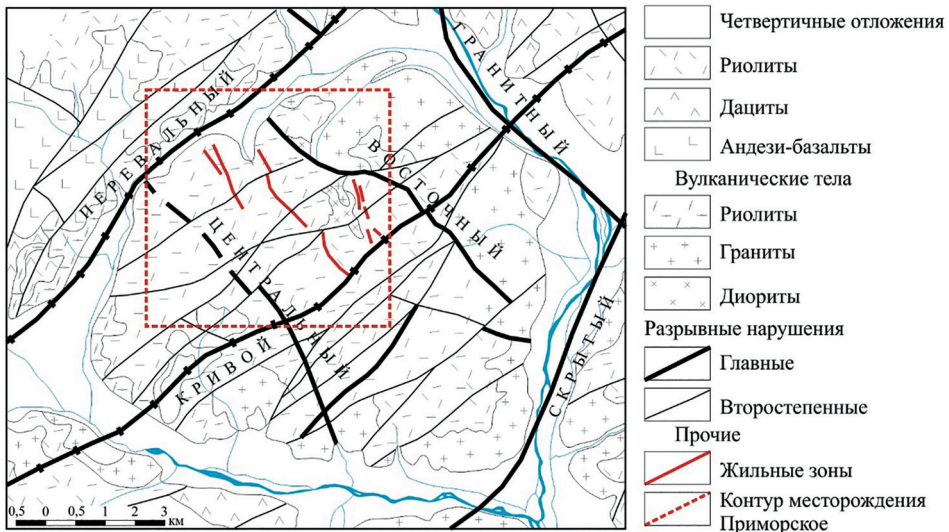


Рис. 1. Тектоническая схема Приморского месторождения (согласно исследованиям Дукацкой геологоразведочной экспедиции, 1988 г.)

Fig. 1. Tectonic scheme of the Primorsky deposit (according to the research of the Ducat geological exploration expedition, 1988)

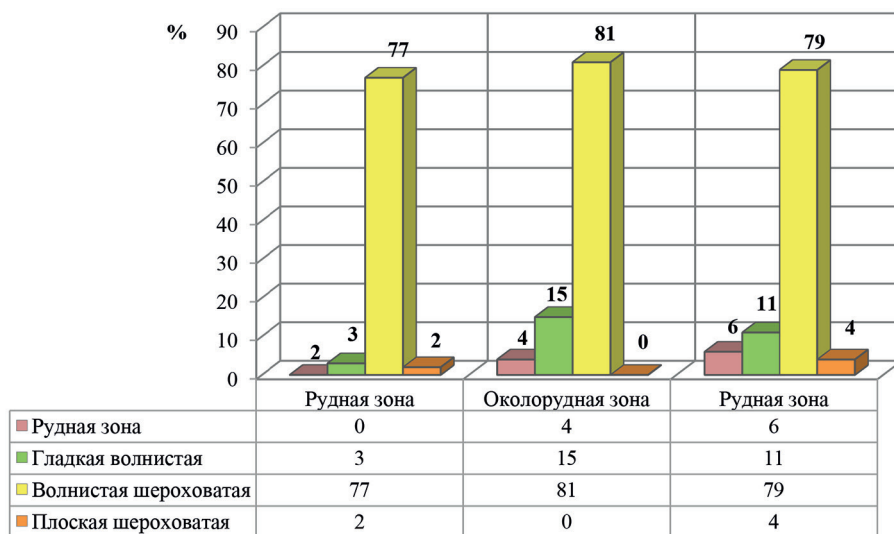


Рис. 2. Соотношение типов поверхностей открытых трещин во вмещающих, околорудных породах и рудной зоне в процентах

Fig. 2. Ratio of the types of surfaces of open cracks in host, near-ore rocks and ore zone as a percentage

древние и считаются дорудными. Более молодые — синрудные и пострудные нарушения представлены поперечными разломами северо-восточного и субширотного простирания Граничный, Перевальный, Кривой (рис. 1) [14].

В строении массива пород Приморского месторождения выделяются: вмещающие породы (андезибазалты, игнибриты риолитов); околорудные породы (каолинит-кварцевые, кварц-хлорит-серицитовые, хлорит-эпидотовые метасоматиты); рудная зона (породы кварцевые, родонит-кварцевые состава) [15]. Для всех пород характерны как открытые, так и залеченные трещины.

Преобладающими поверхностями открытых трещин являются волнистые шероховатые с неровными краями, и составляют 77% (для вмещающих пород), 81% (для околорудных) и 79% (рудная зона), реже встречаются гладкие волнистые иногда с бороздами скольжения (рис. 2).

Для открытых трещин преобладающими углами наклона по отношению к оси зерна являются 60–90° — они со-

ставляют 34,4% (вмещающих), 39,3% (околорудных) и 54,3% (рудной зоны). Так же во всех породах выделяются трещины под углами 0–30° и 30–60°, составляют от 22% до 33% (рис. 3).

Минеральный состав заполнителя открытых трещин на Приморском месторождении разнообразен. Для вмещающих и околорудных пород характерно различие, как по процентному содержанию, так и по минеральному составу заполнителя поверхности трещин (рис. 4). Во вмещающих, околорудных породах и рудной зоне преобладают гидроокислы железа и омарганцевание по поверхности трещин.

В околорудных породах отмечается относительно большее процентное содержание трещин, заполненных глиной трения — 19,9%, при содержании 16,8 и 5,1% во вмещающих и рудной зоне, соответственно. Кроме того, в массиве в целом отмечаются трещины, поверхность которых выполнена карбонатным материалом, хлоритом, на их долю приходится не более 10–11%. Еще одним отличием является то, что для около-

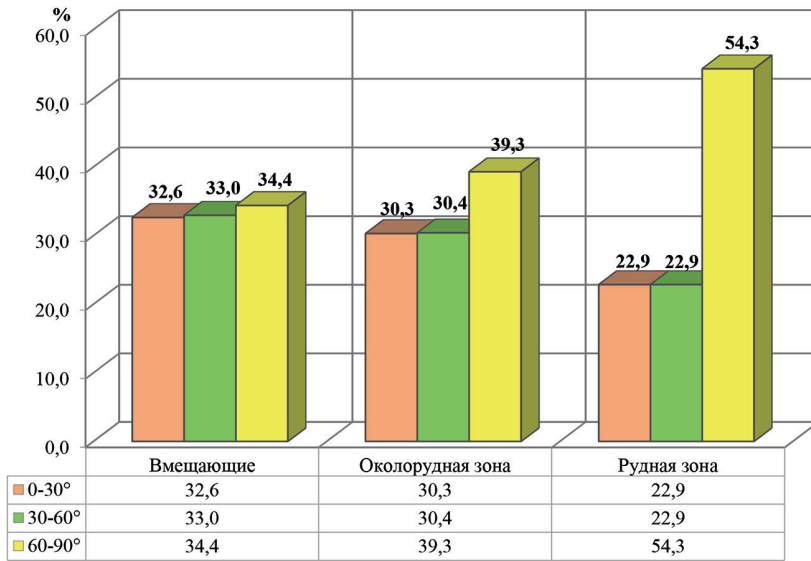
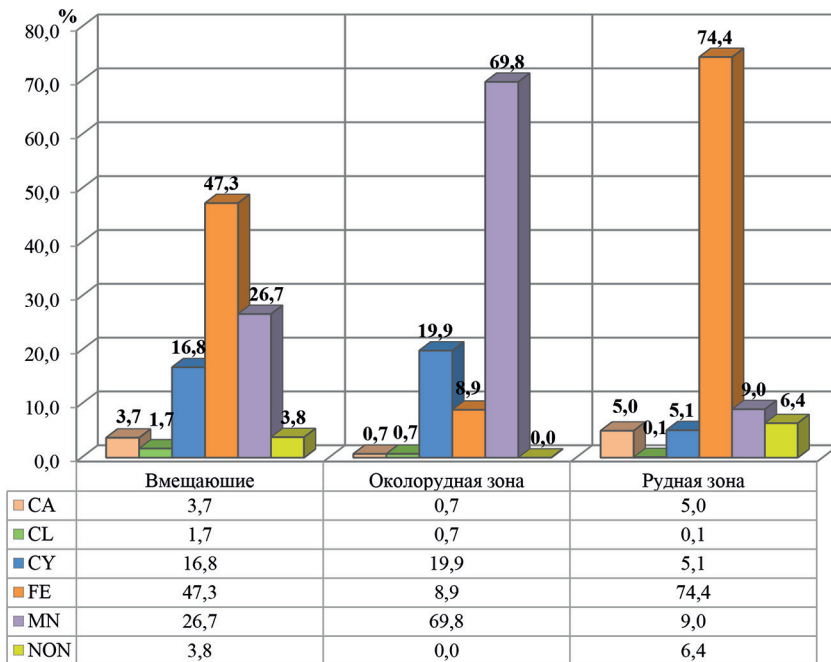


Рис. 3. Распределения ориентировки открытых трещин в вмещающих, околорудных породах и рудной зоне в процентах

Fig. 3. Distribution of orientation of open cracks in host, near-ore rocks and ore zone as a percentage



CA – карбонатный материал, CL – хлорит, CY – глина трения, FE – окислы железа, MN – оксид марганца, NON – без заполнителя

Рис. 4. Соотношение типов минерального заполнителя открытых трещин по поверхности в висячем, лежащем боку и рудных зонах в процентах

Fig. 4. The ratio of the types of mineral aggregate of open cracks on the surface in the hanging, lying side and ore zones as a percentage



Рис. 5. Залеченные трещины карбонат-кварцевым материалом  
 Fig. 5. Healed cracks with carbonate-quartz material

рудных пород характерно отсутствие трещин без заполнителя.

Залеченные трещины на месторождении Приморское разноориентированы, имеют вид прожилков и жил залечены кварцем, карбонатом, пиритом. Мощность таких прожилков меняется от 1 – 3 мм до 20 – 30 см (рис. 5).

Для оценки степени трещиноватости массива пород использовались классификационные показатели: модуль кусковатости (Мк), модуль трещиноватости (Мт), показатель качества пород (RQD) [16 – 17].

Статистическая обработка данных Мт, Мк, RQD для всего массива показала, что преобладает категория сильнотрещиноватых пород, на их долю приходится 53,4%, категория среднетрещиноватых – 28,2%, категория раздробленных

составляет 18,3%, а слаботрещиноватые породы вообще отсутствуют (рис. 6).

Для полной оценки степени трещиноватости пород, массив был разделен на участки по пространственному взаимоотношению (вмещающие, околорудные породы и рудная зона). Наиболее трещиноватыми являются вмещающие и околорудные породы (56,2% и 58,5%), а наиболее раздробленными рудные тела (30,7%). Рассматривая соотношение категорий пород по степени трещиноватости можно сказать, что вмещающие и околорудные породы сложены преимущественно сильнотрещиноватыми и среднетрещиноватыми породами (рис. 7).

Оценка зон ослабления показала, что максимальные суммарные мощности во вмещающих породах равны 41,7 м, в рудной зоне 13,2 м; в околорудной зоне

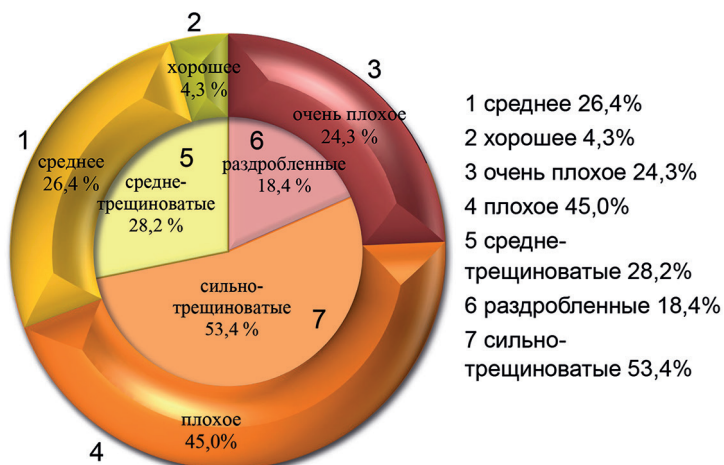


Рис. 6. Содержание в массиве месторождения пород различного качества по RQD и степени трещиноватости

Fig. 6. The content of rocks of various quality in the deposit array according to RQD and degree of fracturing

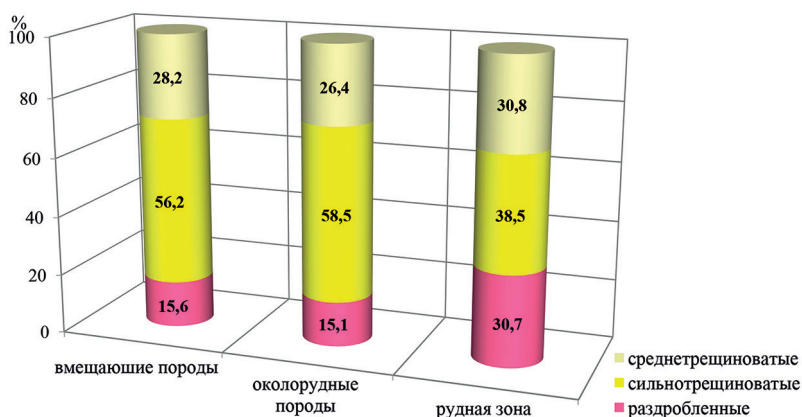


Рис. 7. Содержание в массиве пород по степени трещиноватости  
 Fig. 7. Content of rocks in the massif according to degree of fracturing

6,3 м. Сам коэффициент зон ослабления меняется от 1,3 до 78,1%, в рудной зоне 0–61,6% в вмещающих породах и в околорудных 2,6–56,3%, породы в таких зонах представлены щебнем, реже дресвой (рис. 8).

На схеме пространственной неоднородности состояния пород видно, что ослабленные зоны развиты во всех типах пород и на всю глубину вскрытого разреза и их образование связано не только с тектонической деятельностью (рис. 9) [18–19]. Наибольшее развитие таких зон отмечается в верхней части разреза, что соответствует экзогенным процессам и в околорудных и рудных зонах.

### Обсуждение результатов

Таким образом оценка характера и степени трещиноватости массива пород

Приморского месторождения показала, что преобладают трещины тектонического характера, что обуславливается региональными факторами. По механизму образования – это трещины отрыва [20]. Преобладающими поверхностями открытых трещин являются волнистые, шероховатые.

Проявление различных типов метасоматоза способствовало к формированию различного типа заполнителя открытых трещин [21]. В целом для массива пород месторождения выделяется два типа заполнителя трещин:

Ослабляющий прочностные свойства массива пород, представленные хлоритом и глинок трения. Поверхность стенок открытых трещин со следами такого заполнителя покрыты как бы тонкой пленкой или тонким слоем порошковых разностей. Поверхности таких



Рис. 8. Зона ослабления, представленная щебнем  
 Fig. 8. The weakening zone represented by rubble

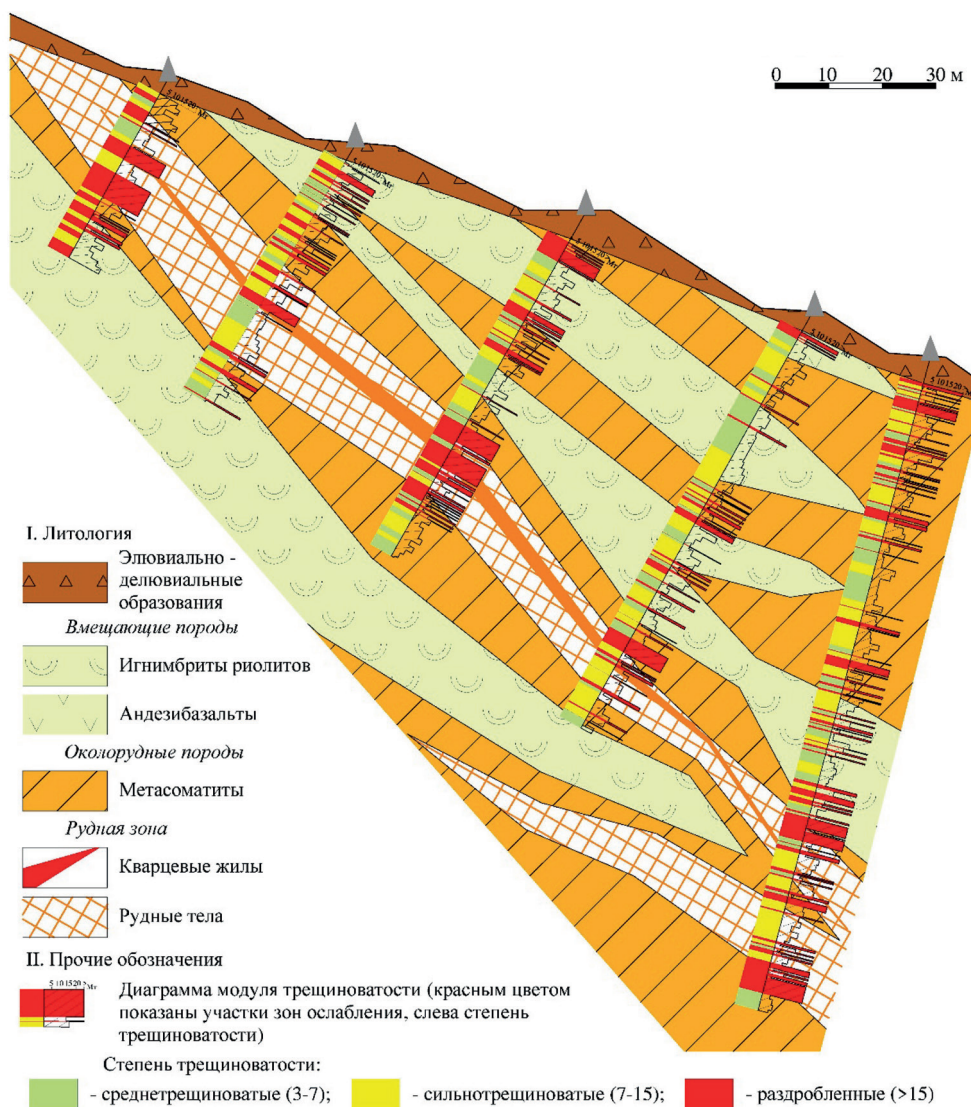


Рис. 9. Схема пространственной неоднородности состояния пород  
 Fig. 9. Scheme of spatial heterogeneity of the state of rocks

трещин блестящие, гладкие, жирные на ощупь;

Усиливающие прочностные свойства массива пород, представленные карбонатом, кварцем.

Установлено, что степень трещиноватости массива пород месторождения крайне неравномерная. В разрезе отмечается чередование участков зон ослабления с породами, имеющими  $Mt$  от 5

до 15 тр/м, при этом RQD меняется от 90 до 20%.

### Заключение

Для месторождения Приморское характерна зональность изменения характера и степени трещиноватости пород, связанная с действием процессов формирования массива пород, тектонических и гидротермальных изменений,



а также процессов оруденения, которые привели к формированию характерной зональности по степени трещиноватости массива пород. Наиболее раздробленными породами являются рудные тела и околорудные зоны. Вещающие породы относятся к среднетрещиноватым.

Автор выражает признательность коллективу ООО «Гидрогеологии, инженерной-геологии и геоэкологии», которая является стратегическим партнером ФГБОУ ВО «УГГУ» в программе стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абатурова И. В., Савинцев И. А., Стороженко Л. А., Нугманова Э. Д., Козлов В. С. Этапность изучения инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых от разведки до отработки // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2020. — № 7. — С. 83–91. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-83-91.

2. Вербило П. Э., Трушко О. В. Оценка несущей способности междукамерных целиков в блочном горном массиве // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. — 2018. — № 2. — С. 305–318.

3. Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Savintsev I. A. Methodological bases for obtaining information on engineering and geological conditions of mineral deposits / Engineering and Mining Geophysics 2021. 2021, vol. 2021, pp. 1–6. DOI: 10.3997/2214-4609.202152136.

4. Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Pisetsky V. B., Savintsev I. A. Use of geological and structural analysis in evaluating engineering and geological conditions of mineral deposits / Engineering and Mining Geophysics 2020. 2020, vol. 2020, pp. 1–9. DOI: 10.3997/2214-4609.202051096.

5. Korchak S. A., Abaturova I. V., Savintsev I. A., Storozhenko L. A. Methodology for studying the fracturing of rock massifs at different stages of the study of mineral deposits / Engineering and Mining Geophysics 2021. 2021, vol. 2021, pp. 1–11. DOI: 10.3997/2214-4609.202152066.

6. Корчак С. А., Савинцев И. А., Стороженко Л. А. Актуализация методов изучения степени и характера трещиноватости массивов горных пород на месторождениях твердых полезных ископаемых // Инженерная и рудная геофизика 2020. — М., 2020. — С. 102. DOI: 10.3997/2214-4609.202051128.

7. Lee D. S., Kang J. H. Geometric and kinematic characteristics of fracture system in the sancheong anorthosite complex, Korea // The Journal of the Petrological Society of Korea. 2016, vol. 25, no. 4, pp. 389–400. DOI: 10.7854/JPSK.2016.25.4.389.

8. Chen Z., Li X., Huang X., Jin Z. A method for estimating the rheological properties of fractured rock inside a shear zone // Pure and Applied Geophysics. 2022, vol. 179, no. 2, pp. 1–10. DOI: 10.1007/s00024-022-03007-x.

9. Li Y., Shen J., Cai W., Zhou X. Fractured formation evaluation by seismic attenuation derived from array acoustic log waves based on modified spectral ratio method and an extended Biot's poroelastic model // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2022, vol. 209, article 109838. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109838.

10. Рац М. В. Чернышев С. И. Трещиноватость и свойства трещиноватых пород. — М.: Недра, 1980. — 160 с.

11. Константинов М. М., Стружков С. Ф. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. — М.: Научный мир, 2005. — 320 с.

12. Акинин В. В., Миллер Э. Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. — 2011. — № 3. — С. 249–290.

13. Котляр И. Н., Русакова Т. Б. Меловой магматизм и рудоносность Охотско-Чукотской области: геолого-геохронологическая корреляция. — Магадан: СВКНИИ ДВ РАН, 2004. — 152 с.

14. Шило Н. А., Гончаров В. И., Альшевский А. В., Ворцепнев В. В. Условия формирования золотого оруденения в структурах Северо-Востока СССР. — М.: Наука, 1988. — 181 с.
15. Умитбаев Р. Б. Охотско-Чаунская металлогеническая провинция (строение, рудоносность, аналоги). — М.: Наука, 1986. — 287 с.
16. Xu S., Tang X. M., Chen M., Su Y. D., Qian Y. P., Sun D. Estimation of directional crack density and fluid properties from well logs in vertical wells // *Geophysics*. 2021, vol. 86, no. 4, pp. 113–124. DOI: 10.1190/geo2020-0710.1.
17. Korchak S. A., Abaturova I. V., Savintsev I. A. Kinematic fracture analysis as the main tool for predicting the mechanism of deformation of a rock mass // *Engineering and Mining Geophysics* 2020. 2020, vol. 2020, pp. 1–10. DOI: 10.3997/2214-4609.202051127.
18. Волков А. В., Сидоров А. А., Томсон И. Н., Алексеев В. Ю. О многоярусном эпипермальном оруденении // *ДАН*. — 2003. — Т. 391. — № 2. — С. 219–222.
19. Сидоров А. А., Белый В. Ф., Волков А. В., Савва Н. Е., Колова Е. Е. Золото-серебряносный Охотско-Чукотский вулканогенный пояс // *Геология рудных месторождений*. — 2009. — Т. 51. — № 6. — С. 492–507.
20. Тагильцев С. Н., Панжин А. А. Геомеханические закономерности горизонтальных и вертикальных деформаций массива горных пород в районе Качканарского железорудного месторождения // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 3-1. — С. 235–245. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-235-245.
21. Kim C. M., Han R., Kim J. S., Sohn Y. K., Jeong J. O., Jeong G. Y., Yi K. Fault zone processes during caldera collapse: Jangsan Caldera, Korea // *Journal of Structural Geology*. 2019, vol. 124, pp. 197–210. DOI: 10.1016/j.jsg.2019.05.002. **WJAS**

## REFERENCES

1. Abaturova I. V., Savintsev I. A., Storozhenko L. A., Nugmanova E. D., Kozlov V. S. The stages of studying the engineering and geological conditions of mineral deposits from exploration to development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2020, no. 7, pp. 83–91. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-83-91.
2. Verbilo P. E., Trushko O. V. Assessment of the load-bearing capacity of inter-chamber pillars in a block mountain massif. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2018, no. 2, pp. 305–318. [In Russ].
3. Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Savintsev I. A. Methodological bases for obtaining information on engineering and geological conditions of mineral deposits. *Engineering and Mining Geophysics* 2021. 2021, vol. 2021, pp. 1–6. DOI: 10.3997/2214-4609.202152136.
4. Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Pisetsky V. B., Savintsev I. A. Use of geological and structural analysis in evaluating engineering and geological conditions of mineral deposits. *Engineering and Mining Geophysics* 2020. 2020, vol. 2020, pp. 1–9. DOI: 10.3997/2214-4609.202051096.
5. Korchak S. A., Abaturova I. V., Savintsev I. A., Storozhenko L. A. Methodology for studying the fracturing of rock massifs at different stages of the study of mineral deposits. *Engineering and Mining Geophysics* 2021. 2021, vol. 2021, pp. 1–11. DOI: 10.3997/2214-4609.202152066.
6. Korchak S. A., Savintsev I. A., Storozhenko L. A. Actualization of methods for studying the degree and nature of fracturing of rock massifs in deposits of solid minerals. *Inzhenernaya i rudnaya geofizika 2020* [Engineering and ore geophysics 2020], Moscow, 2020, pp. 102. [In Russ]. DOI: 10.3997/2214-4609.202051128.
7. Lee D. S., Kang J. H. Geometric and kinematic characteristics of fracture system in the sancheong anorthosite complex, Korea. *The Journal of the Petrological Society of Korea*. 2016, vol. 25, no. 4, pp. 389–400. DOI: 10.7854/JPSK.2016.25.4.389.
8. Chen Z., Li X., Huang X., Jin Z. A method for estimating the rheological properties of fractured rock inside a shear zone. *Pure and Applied Geophysics*. 2022, vol. 179, no. 2, pp. 1–10. DOI: 10.1007/s00024-022-03007-x.

9. Li Y., Shen J., Cai W., Zhou X. Fractured formation evaluation by seismic attenuation derived from array acoustic log waves based on modified spectral ratio method and an extended Biot's poroelastic model. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2022, vol. 209, article 109838. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109838.

10. Rats M. V. Chernyshev S. I. *Treshchinovatost' i svoystva treshchinovatykh porod* [Fracturing and properties of fractured rocks], Moscow, Nedra, 1980, 160 p.

11. Konstantinov M. M., Struzhkov S. F. *Metallogeniya zolota i srebra Okhotsko-Chukotskogo vulkanogennoy poyasa* [Metallogeny of gold and silver of the Okhotsk-Chukchi volcanic belt], Moscow, Nauchnyy mir, 2005, 320 p.

12. Akinin V. V., Miller E. L. Evolution of calc-alkaline magmas of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt. *Petrologiya*. 2011, no. 3, pp. 249–290. [In Russ].

13. Kotlyar I. N., Rusakova T. B. *Melovoy magmatizm i rudonosnost' Okhotsko-Chukotskoy oblasti: geologo-geokhronologicheskaya korelyatsiya* [Cretaceous magmatism and ore content of the Okhotsk-Chukotka region: geological-geochronological correlation], Magadan, SVKNII DV RAN, 2004, 152 p.

14. Shilo N. A., Goncharov V. I., Al'shevskiy A. V., Vortsepnev V. V. *Usloviya formirovaniya zolotogo orudneniya v strukturakh Severo-Vostoka SSSR* [Conditions for the formation of gold mineralization in the structures of the North-East of the USSR], Moscow, Nauka, 1988, 181 p.

15. Umitbaev R. B. *Okhotsko-Chaunskaya metallogenicheskaya provintsiya (stroenie, rudonosnost', analogi)* [Okhotsk-Chaunskaya metallogenic province (structure, ore content, analogs)], Moscow, Nauka, 1986, 287 p.

16. Xu S., Tang X. M., Chen M., Su Y. D., Qian Y. P., Sun D. Estimation of directional crack density and fluid properties from well logs in vertical wells. *Geophysics*. 2021, vol. 86, no. 4, pp. 113–124. DOI: 10.1190/geo2020-0710.1.

17. Korchak S. A., Abaturova I. V., Savintsev I. A. Kinematic fracture analysis as the main tool for predicting the mechanism of deformation of a rock mass. *Engineering and Mining Geophysics 2020*. 2020, vol. 2020, pp. 1–10. DOI: 10.3997/2214-4609.202051127.

18. Volkov A. V., Sidorov A. A., Thomson I. N., Alekseev V. Yu. On multistage epithermal mineralization. *Doklady Akademii nauk*. 2003, vol. 391, no. 2, pp. 219–222. [In Russ].

19. Sidorov A. A., Bely V. F., Volkov A. V., Savva N. E., Kolova E. E. Gold-silver bearing Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*. 2009, vol. 51, no. 6, pp. 492–507. [In Russ].

20. Tagil'tsev, S.N., Panzhin A. A. Geomechanical regularities of horizontal and vertical deformations of the rock mass in the area of the Kachkanar iron ore deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 3-1, pp. 235–245. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-235-245.

21. Kim C. M., Han R., Kim J. S., Sohn Y. K., Jeong J. O., Jeong G. Y., Yi K. Fault zone processes during caldera collapse: Jangsan Caldera, Korea. *Journal of Structural Geology*. 2019, vol. 124, pp. 197–210. DOI: 10.1016/j.jsg.2019.05.002.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Козлов Владислав Сергеевич — инженер, e-mail: mr.vkla@mail.ru,  
Уральский государственный горный университет,  
ORCID ID: 0000-0002-9435-957X.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

V.S. Kozlov, Engineer, e-mail: mr.vkla@mail.ru,  
Ural State Mining University, 620144, Ekaterinburg, Russia,  
ORCID ID: 0000-0002-9435-957X.

Получена редакцией 16.06.2022; получена после рецензии 01.10.2022; принята к печати 10.10.2022.  
Received by the editors 16.06.2022; received after the review 01.10.2022; accepted for printing 10.10.2022.