



**РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД
ВЕДУГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Ю. Н. Шапошник, С. А. Неверов, А. А. Неверов, А. И. Конурин

*Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, E-mail: shaposhnikyury@mail.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Представлена горно-геологическая характеристика Ведугинского месторождения и физико-механические свойства горных пород. Приведены результаты расчета показателя качества пород Центральной и Юго-Восточной рудных зон Ведугинского месторождения. Приведена методика определения устойчивости пород по Q -рейтингу. Установлена устойчивость пород месторождения на основе рейтинговой классификации устойчивости массива пород, разработанной в Норвежском геотехническом институте Бартоном.

Горные породы, рудная зона, показатель качества пород, рейтинговая классификация

RATING EVALUATION OF THE ROCK MASS OF THE VEDUGINSKY DEPOSIT

Yu. N. Shaposhnik, S. A. Neverov, A. A. Neverov, and A. I. Konurin

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: shaposhnikyury@mail.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

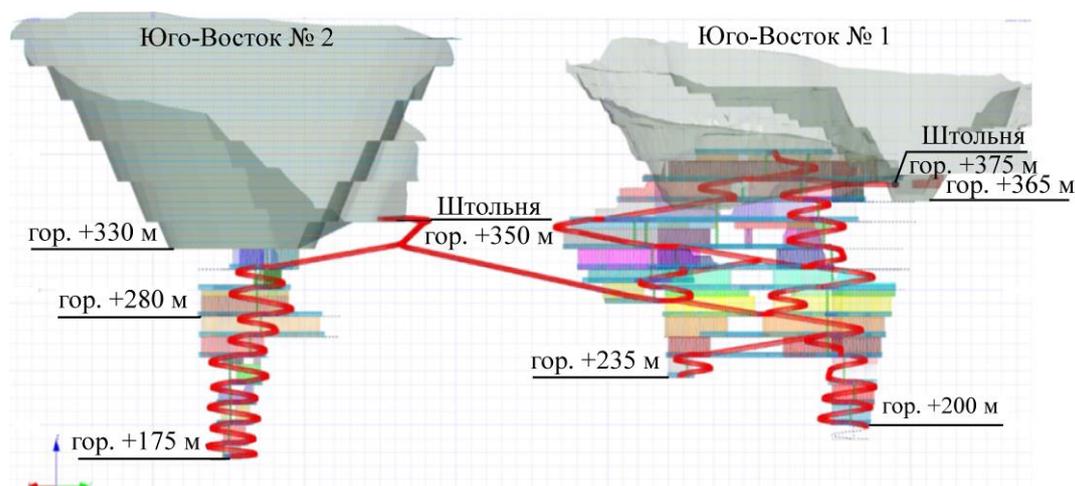
The mining and geological characteristics of the Veduginsky deposit and physico-mechanical rock properties are presented. The results of calculating the quality index of rocks of the Central and Southeast ore zones of the Veduginsky deposit are presented. A methodology for determining rock stability by Q -rating is given. The rock stability of the deposit is determined on the basis of Barton's rating classification of rock mass stability developed at the Norwegian Geotechnical Institute.

Rocks, ore zone, rock quality index, rating classification

В геологическом строении месторождения принимают участие четвертичные отложения (суглинки, щебень коренных пород, дресвяно-щебнистые и глыбово-щебнистые грунты), среднерифейские сланцы (углеродисто-серицитовые, местами серицитизированные, окварцованные, сульфидизированные), метаалевропелиты, кварциты, метапесчаники, метаалевролиты [1, 2].

Рудными телами на месторождении являются сульфидизированные метасоматиты березитовой формации, имеющие зональное строение. Рудная зона с перерывами протягивается на 2.5 км при ее ширине от 100 до 300 м. Рядом крупных субмеридиональных разрывных нарушений она разбита на тектонические блоки, в пределах каждого из которых располагается по нескольку рудных тел. В пределах минерализованной зоны породы интенсивно смяты, рассланцованы и претерпели интенсивные метасоматические преобразования [3–5]. В процессе оценки месторождения по пространственному положению его площадь была поделена на участки: Западный, Промежуточный, Центральный, Восточный и Юго-Восточный (рисунок).

Объектами для подземного способа добычи являются два участка Ведугинского золоторудного месторождения: Центральная рудная зона, с глубиной распространения запасов до гор. 105 м, и Юго-Восточная, с глубиной распространения до гор. + 160 м.



Контуры карьеров и проектируемые горные выработки Юго-Восточной рудной зоны

По Ведугинскому месторождению выделены следующие литологические коды: кварцевые метапесчаники, кварциты (код 220); частое тонкое (0.1 – 3 см) переслаивание темно-серых-хлорит-серицитовых сланцев с метаалевролитами (алевропелитовые ритмиты с градационной слоистостью) (код 215); зеленовато-серые, серые метаалевролиты, алевросланцы серицит-хлорит-кварцевые (код 210); темно-серые, серые, зеленовато-серые хлорит-серицитовые сланцы тонко сланцеватые (код 200); черные, темно-серые тонкосланцеватые углеродисто-хлорит-серицитовые сланцы (код 320); темно-серые, черные углеродисто-хлорит-серицитовые сланцы с многочисленными маломощными (1 – 5 мм) алевритистыми слоями (код 315); темно-серые тонко-нитевиднослоистые пелитоморфные полосчатые кварц-хлорит-серицитовые сланцы углеродистые (код 310); зеленовато-серые, зеленые тонкослоистые полосчатые пелитоморфные кварц-хлорит-серицитовые и серицит-хлоритовые сланцы (код 300); серо-зеленые, серые хлорит-серицитовые сланцы алевритистые тонкослоистые (код 330). Физико-механические свойства горных пород Ведугинского месторождения представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Физико-механические свойства горных пород

Наименование	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град	Коэффициент Пуассона	Модуль Юнга, ГПа
		на сжатие	на растяжение				
Кварц-хлорит-серицитовые сланцы	2800	75	$\frac{10}{5}$	$\frac{14.1}{7.8}$	$\frac{39}{44}$	$\frac{0.2}{0.2}$	7.7
Метаалевролиты	2800	90	$\frac{17}{7}$	$\frac{20.8}{11.4}$	$\frac{43}{53}$	$\frac{0.14}{0.18}$	8.7
Темно-серые сланцы	2800	100	$\frac{14}{9}$	$\frac{21.4}{11.8}$	$\frac{52}{46}$	$\frac{0.14}{0.2}$	7.7
Хлорит-серицитовые сланцы	2800	95	$\frac{14}{8}$	$\frac{16.4}{9}$	$\frac{48}{43}$	$\frac{0.18}{0.19}$	5.8
Метапесчаники кварцевые	2800	150	$\frac{20}{12}$	$\frac{31.8}{24.5}$	$\frac{55}{57}$	$\frac{0.14}{0.16}$	13
Черные углеродистые сланцы	2800	110	$\frac{20}{12}$	$\frac{24.4}{14.9}$	$\frac{45}{42}$	$\frac{0.19}{0.2}$	7.7
Бедная руда (кварц-серицитовые метасоматиты)	2800	100	$\frac{18}{8}$	$\frac{23.9}{17.3}$	$\frac{42}{45}$	$\frac{0.17}{0.2}$	8.5

Примечание: В числителе — максимальное значение, в знаменателе — среднее.

Оценка устойчивости пород заключается в прогнозе их поведения при обнажении в процессе проходки и поддержания выработок. На практике выбор крепи в значительной степени определяется предшествующим опытом ее эксплуатации в сравнимых условиях.

Категории по устойчивости горных пород используются в нормативных источниках, таких как ПТЭ [6], СНиП [7], Правила безопасности при ведении горных работ [8]. В мировой практике широкое распространение получила рейтинговая система. Достоверность рейтинговой системы обоснована наблюдениями, проведенными в ряде горных предприятий в мире. Преимущества данной системы заключаются в простоте применения и получения оптимальных параметров крепи с учетом максимального числа факторов, определяющих устойчивость горных выработок [9–11]. Q -система — рейтинговая классификация устойчивости массива пород, разработанная в Норвежском геотехническом институте Бартоном и др. в 1974 г.. Устойчивость обнажений руд и пород определяется эмпирическим методом Бартона (Q -рейтинг), оценивающим влияние таких факторов, как прочность и качество пород, глубина разработки, сечение выработок и напряженное состояние в окружающем массиве, количество и состояние трещин, в том числе степень их изменения [12]. Система Бартона применяется в методах эмпирического проектирования при оценке устойчивости массива горных пород и крепления горных выработок.

Численное значение Q определяется по формуле:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF},$$

где RQD — показатель качества породы; J_n — показатель количества систем трещин; J_r — показатель шероховатости поверхности трещин; J_a — показатель изменчивости (сцепления) трещин; J_w — водный фактор; SRF — фактор снижения напряжений.

На основании выполненных расчетов показателей качества пород [13, 14] по керну разведочных скважин установлено, что качество пород RQD (по трещиноватости пород) в основном хорошее и добротное, лишь у кварцевых метапесчаников и кварцитов — плохое (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Показатели качества пород Центральной рудной залежи

Тип пород	Код литологии	RQD	Показатель трещиноватости	Качество породы	Категория и степень устойчивости пород по ПТЭ
Сланцы темно-серые хлорит-серицитовые	200	57.3	Средне трещиноватая	Добротная	III средней устойчивости
Переслаивание темно-серых-хлорит-серицитовых сланцев с метаалевролитами (алевропелитовые ритмиты с градационной слоистостью)	215	50.5	Средне трещиноватая	Добротная	III средней устойчивости
Темно-серые тонко нитевиднослоистые пелитоморфные полосчатые кварц-хлорит-серицитовые сланцы углеродистые	310	74.9	Средне трещиноватая	Хорошая (крепкая)	II устойчивые
Темно-серые, черные углеродисто-хлорит-серицитовые сланцы с многочисленными маломощными (1–5 мм) алевритистыми слоями	315	61.7	Средне трещиноватая	Хорошая (крепкая)	II устойчивые
Кварцевые метапесчаники, кварциты	220	34.3	Сильно трещиноватая	Плохая (слабая)	IV неустойчивые

На основании выполненных расчетов средний показатель RQD для Центральной рудной залежи равен 55.7, а по ранее выполненным исследованиям для глубины 300 м RQD = 63.6 [15], что показывает достаточно хорошую корреляцию между полученными результатами расчетов. Для условий Юго-Восточной рудной зоны показатели качества пород приведены в табл. 3. На основании выполненных расчетов средний показатель RQD для Юго-Восточной рудной залежи равен 63.08, а по ранее выполненным исследованиям для глубины 300 м RQD = 78.6 [15], что говорит о том, что ранее выполненные исследования показывают достаточно завышенные результаты. Таким образом, по Юго-Восточной рудной залежи встречаются устойчивые и средней устойчивости породы, чаще — устойчивые.

ТАБЛИЦА 3. Показатели качества пород Юго-Восточной рудной залежи

Тип пород	Код литологии	RQD	Показатель трещиноватости	Качество породы	Категория и степень устойчивости пород
Метаалевролиты зеленовато-серые, серые метаалевролиты, алевросланцы серицит-хлорит-кварцевые	210	62.8	Средне трещиноватая	Хорошая (крепкая)	II устойчивые
Темно-серые сланцы, темно-серые, серые, зеленовато-серые хлорит-серицитовые сланцы тонко сланцеватые	200	40.4	Средне трещиноватая	Добротная	III средней устойчивости
Переслаивание темно-серых-хлорит-серицитовых сланцев с метаалевролитами	215	67.5	Средне трещиноватая	Хорошая (крепкая)	II устойчивые
Кварцевые метапесчаники, кварциты	220	66.2	Средне трещиноватая	Хорошая (крепкая)	II устойчивые
Метаритмиты темно-серого цвета	230	78.5	Средне трещиноватая	Хорошая (крепкая)	II устойчивые

На основании данных инженерно-геологических журналов разведочных скважин принято количество систем трещин пород для разных участков месторождения.

Показатель количества систем трещин для Центральной рудной залежи: сланцы темно-серые хлорит-серицитовые $J_n = 9$ (три системы трещин); переслаивание темно-серых-хлорит-серицитовых сланцев с метаалевролитами (алевропелитовые ритмиты с градиционной слоистостью) $J_n = 4$ (две системы трещин); темно-серые тонко-нитевиднослоистые пелитоморфные полосчатые кварц-хлорит-серицитовые сланцы углеродистые $J_n = 6$ (две системы трещин плюс беспорядочная (случайная)); темно-серые, черные углеродисто-хлорит-серицитовые сланцы с многочисленными маломощными (1 – 5 мм) алевритистыми слойками $J_n = 4$ (две системы трещин); кварцевые метапесчаники, кварциты $J_n = 4$ (две системы трещин);

Показатель количества систем трещин для Юго-Восточной рудной залежи: метаалевролиты зеленовато-серые, серые метаалевролиты, алевросланцы серицит-хлорит-кварцевые $J_n = 4$ (две системы трещин); темно-серые сланцы, темно-серые, серые, зеленовато-серые хлорит-серицитовые сланцы тонко сланцеватые $J_n = 6$ (две системы трещин плюс беспорядочная (случайная)); переслаивание темно-серых-хлорит-серицитовых сланцев с метаалевролитами $J_n = 4$ (две системы трещин); кварцевые метапесчаники, кварциты $J_n = 4$ (две системы трещин); метаритмиты темно-серого цвета $J_n = 4$ (две системы трещин).

При гладких, волнистых трещинах показатель шероховатости поверхности трещин $J_r = 1$; при шероховатых, волнистых (при чистых, неровных, иногда гладких или ступенчатых) $J_r = 4$.

При неизменных стенках трещин, имеющих только пятно на поверхности (изменение цвета) показатель изменчивости трещин для пород с кодом литологии 310, 200, 315 показатель изменчивости (сцепления) трещин $J_a = 1$, пород с кодом литологии 215, 220 (чистые трещины с кварцевым заполнителем) $J_a = 0.75$.

Для подземных горных выработок Юго-Восточного участка прогнозируются притоки, м³/сут: максимальный 890.4, минимальный 43.2, средний 216, а, следовательно, 150 л/мин, т. е. водоприток и давление средние, возможно эпизодическое вымывание заполнителя трещин. Таким образом, водный фактор $J_w = 0.66$. В условиях одиночных сдвиговых зон в крепкой породе (не содержат глины) и при глубине выработки более 50 м фактор снижения напряжений $SRF = 2.5$. Выявленная устойчивость горных пород Центральной и Юго-Восточной рудных зон Ведугинского месторождения приведена в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. Устойчивость пород

Тип пород	RQD	Значение Q -рейтинга	Категория горного массива по Q -рейтингу	Степень устойчивости горного массива	Категория по ПТЭ
Центральная рудная залежь					
Сланцы темно-серые хлорит-серицитовые	57.3	3.50	D	слабый	IV
Переслаивание темно-серых-хлорит-серицитовых сланцев с метаалевролитами (алевропелитовые ритмиты с градиционной слоистостью)	50.5	1.56	D	слабый	IV
Темно-серые тонко-нитевиднослоистые пелитоморфные полосчатые кварц-хлорит-серицитовые сланцы углеродистые	74.9	5.15	C	средний	III
Темно-серые, черные углеродисто-хлорит-серицитовые сланцы с многочисленными маломощными (1 – 5 мм) алевритистыми слоями	61.7	6.36	C	средний	III
Кварцевые метапесчаники, кварциты	34.3	10.61	C	средний	III
Юго-Восточная рудная залежь					
Метаалевролиты зеленовато-серые, серые метаалевролиты, алевросланцы серицит-хлорит-кварцевые	62.8	19.44	B	крепкий	II
Темно-серые сланцы, темно-серые, серые, зеленовато-серые хлорит-серицитовые сланцы понкосланцеватые	40.4	8.34	C	средний	III
Переслаивание темно-серых-хлорит-серицитовых сланцев с метаалевролитами	67.5	20.89	B	крепкий	II
Кварцевые метапесчаники, кварциты	66.2	20.49	B	крепкий	II
Метаритмиты темно-серого цвета	78.5	24.30	B	крепкий	II

Таким образом, наиболее устойчивыми являются породы Юго-Восточной рудной залежи, среднее значение которых $Q = 18.69$ (породы крепкие, устойчивость по ПТЭ — устойчивые). Среднее значение пород Центральной рудной залежи $Q = 5.43$ (устойчивость пород средняя, устойчивость по ПТЭ — средняя). Данный подход оценки устойчивости массива наиболее объективен и максимально уменьшает степень влияния человеческого фактора.

ВЫВОДЫ

Определена устойчивость массива пород Ведугинского месторождения по рейтинговой классификации Норвежского геотехнического института. На основании проведенных исследований керна разведочных скважин для золоторудного Ведугинского месторождения установлено, что среднее значение показателя качества пород RQD для Центральной рудной залежи составляет 55.7 (массив добротный, устойчивость по ПТЭ средняя), для условий Юго-Восточ-

ной рудной зоны — 63.08 (массив крепкий, устойчивость по ПТЭ — устойчивый). Среднее значение Q -рейтинга пород Центральной рудной залежи $Q = 5.43$ (устойчивость пород средняя, устойчивость по ПТЭ средняя), для условий Юго-Восточной рудной зоны — 18.69 (массив крепкий, устойчивость по ПТЭ — устойчивый). Результаты расчетов можно использовать в дальнейшем для выбора параметров крепления горных выработок и конструктивных параметров систем разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Technical report** “Geological engineering surveys. Mining and processing enterprise for the development of the Veduginskoye deposit, Russian Drilling Company LLC, St. Petersburg, 2014. (in Russian) [Технический отчет “Инженерно-геологические изыскания. Горнодобывающее и перерабатывающее предприятие для отработки месторождения “Ведугинское”. — СПб.: ООО “Русская буровая компания”, 2014.]
2. **Abrosimova N. A., Bortnikova S. B., and Edelev A. V.** Forms of finding potentially toxic elements in dump rocks of the Veduginsky gold deposit, News of universities. Mining Journal, 2013, no. 5, pp. 35–42. (in Russian) [Абросимова Н. А., Бортникова С. Б., Еделев А. В. Формы нахождения потенциально токсичных элементов в отвальных породах Ведугинского месторождения золота // Изв. вузов. Горный журнал. — 2013. — № 5. — С. 35–42.]
3. **Sazonov A. M., Ro-Manovsky A. E., Shvedov G. I. et al.** Veduginsky gold-sulfide deposit (Yenisei Ridge), Ores and Metals, 1994, no. 2, pp. 86–97. (in Russian) [Сазонов А. М., Романовский А. Э., Шведов Г. И. и др. Ведугинское золотосульфидное месторождение (Енисейский кряж) // Руды и металлы. — 1994. — № 2. — С. 86–97.]
4. **Kolgogosheva A. N.** Characterization of the physico-mechanical properties of eluvial deposits of the Veduginsky deposit of the Krasnoyarsk Territory, Problems of Geology and Subsoil Development: Proceedings of the XVIII International symposium students and young scientists, Tomsk, 2014, vol. 1, pp. 459–461. (in Russian) [Колчогошева А. Н. Характеристика физико-механических свойств элювиальных отложений Ведугинского месторождения Красноярского края // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVIII Междунар. симп. студентов и молодых ученых. — Томск: 2014. — Т. 1. — С. 459–461.]
5. **Sazonov A. M., Romanovsky A. E., Leontiev S. I., and Zvyagina E. A.** Microtectonics of the shale stratum of the Veduginsky gold-sulfide-disseminated deposit (Yenisei Ridge), Problems of geology of Siberia: abstracts of scientific readings, dedicated 100th birthday of prof. V. A. Khokhlova, 1994, vol. 2, pp. 98–99. (in Russian) [Сазонов А. М., Романовский А. Э., Леонтьев С. И., Звягина Е. А. Микротектоника сланцевой толщи Ведугинского золотосульфидно-вкрапленного месторождения (Енисейский кряж) // Проблемы геологии Сибири: тезисы докладов науч. чтений, посвящ. 100-летию со дня рождения проф. В. А. Хохлова. — 1994. — Т. 2. — С. 98–99.]
6. **Rules** for the technical operation of mines, mines and mines, developing the field of non-ferrous, rare and precious metals, Moscow, Nedra, 1981, 109 pp. (in Russian) [Правила технической эксплуатации рудников, приисков и шахт, разрабатывающих месторождения цветных, редких и драгоценных металлов. — М.: Недра, 1981. — 109 с.]
7. **Set of rules** 91.13330.2012. Underground mining. Updated edition of SNiP II-94-80. (in Russian) [СП 91.13330.2012. Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80.]
8. **Federal norms** and rules in the field of industrial safety “Safety rules for mining and processing of solid minerals” dated December 11, 2013, no. 599 (as amended on November 21, 2018). (in Russian) [Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых” от 11 декабря 2013, № 599 (с изменениями на 21 ноября 2018).]

9. **Kuzmin E. V. and Uzbekova A. R.** Rating classifications of rock massifs: prerequisites for creation, development and scope, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2004, no. 4, pp. 201–202. (in Russian) [**Кузьмин Е. В., Узбекова А. Р.** Рейтинговые классификации массивов скальных пород: предпосылки создания, развитие и область применения // *ГИАБ*. — 2004. — № 4. — С. 201–202.]
10. **Zenko D. K. and Uzbekova A. R.** The main factors affecting the stability of arrays in the Benyavsky (RMR) and Barton (Q) criteria, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2004, pp. 273–275. (in Russian) [**Зенько Д. К., Узбекова А. Р.** Основные факторы, влияющие на устойчивость массивов в критериях Бенявского (RMR) и Бартона (Q) // *ГИАБ*. — 2004. — С. 273–275.]
11. **Gubinsky N. O.** Determination of the rating of a rock massif according to D. Lobshire's geomechanical classification for the conditions of a diamond deposit, *Bulletin of MGTU*, 2009, vol. 12, no. 4, pp. 694–701. (in Russian) [**Губинский Н. О.** Определение рейтинга массива горных пород по геомеханической классификации Д. Лобшира для условий алмазного месторождения // *Вестник МГТУ*. — 2009. — Т. 12. — № 4. — С. 694–701.]
12. **Zhirnov A. A., Abdrakhmanov S. U., Shaposhnik Yu. N., and Konurin A. I.** Assessment of the stability of the rock mass and the choice of the type and parameters of the fastening of the workings at the Oryol polymetallic deposit, *Mining Journal*, 2018, no. 3, pp. 51–57. (in Russian) [**Жирнов А. А., Абдрахманов С. У., Шапошник Ю. Н., Конуринов А. И.** Оценка устойчивости массива горных пород и выбор типа и параметров крепления выработок на Орловском полиметаллическом месторождении // *Горный журнал*. — 2018. — № 3. — С. 51–57.]
13. **GOST 25100.** Soils. Classification, Moscow, 2010. (in Russian) [**ГОСТ 25100.** Грунты. Классификация. — М., 2010.]
14. **SP 23.13330.2011.** Foundations of hydraulic structures. Updated edition of SNiP 2.02.02-85 (as amended by no. 1). (in Russian) [**СП 23.13330.2011.** Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85 (с изменением № 1).]
15. **The project “Gold ore deposit” Veduginskoe.** Construction of a mining and processing enterprise for open-cast mining of a deposit. Sub-section 6. Technological solutions. Part 2. Mining and geological, hydrogeological and engineering-geological conditions, *Polymetal Engineering CJSC*, St. Petersburg, 2014. (in Russian) [**Проект “Золоторудное месторождение “Ведугинское”.** Строительство горнодобывающего и перерабатывающего предприятия для отработки месторождения открытым способом. Подразд. 6. Технологические решения. Ч. 2. Горно-геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические условия // ЗАО “Полиметалл Инжиниринг”. — СПб., 2014.]