

А.И. Конурин, А.А. Еременко, В.Н. Филиппов

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВАХ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ

Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) горных пород на Таштагольском филиале ОАО «Евразруда» при проведении массовых и технологических взрывов. Приведена классификация методов оценки НДС массива горных пород и степени удароопасности на Таштагольском месторождении: микросейсмический контроль на базе сейсмостанции; электропрофилирование; подземное электроразведывание на малых базах; измерение деформаций; керновое бурение; регистрация электромагнитной эмиссии. Установлено, что исследование напряженного состояния горных пород, основанное на изменении параметров упругих волн, позволяет прогнозировать интенсивность динамических явлений при ведении горных работ. Определено влияние имеющихся в породе структурных неоднородностей на акустический сигнал. Выполнен сравнительный анализ сейсмограмм массовых взрывов, технологических взрывов и динамических явлений различных энергетических классов. Доказано, что с увеличением напряженного состояния горных пород трещины сжимаются, улучшается акустический контакт неоднородностей с вмещающими породами, интенсивность отраженной волны становится меньше. Показано, что по изменению времени спада акустического сигнала можно судить об изменении напряженного состояния пород при подготовке и отработке блоков.

Ключевые слова: месторождения, руда, технологии, горные работы, напряженное состояние, динамические явления, горный удар, безопасность горных работ.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-153-160

Современный этап отработки рудных месторождений Западной Сибири характеризуется переходом горных работ к освоению участков, находящихся в сложных горно-геологических условиях, расположенных в сближенных рудных телах; в рудных телах, залегающих на небольшом расстоянии от земной поверхности под водными объектами; в целиках, оставленных для ограничения деформаций массива в окрестности производственных и природных объектов. Ведение горных работ в таких усло-

виях требует особых мер контроля напряженного состояния вмещающего и рудного массивов, деформаций земной поверхности. Это накладывает значительные ограничения на используемые на рудных месторождениях технологические схемы отработки, ведет к уменьшению производительности очистных и подготовительных работ. Значительно осложняет процесс отработки и тот факт, что большинство рудных месторождений расположены в сейсмоактивных зонах и проведение массовых и технологиче-

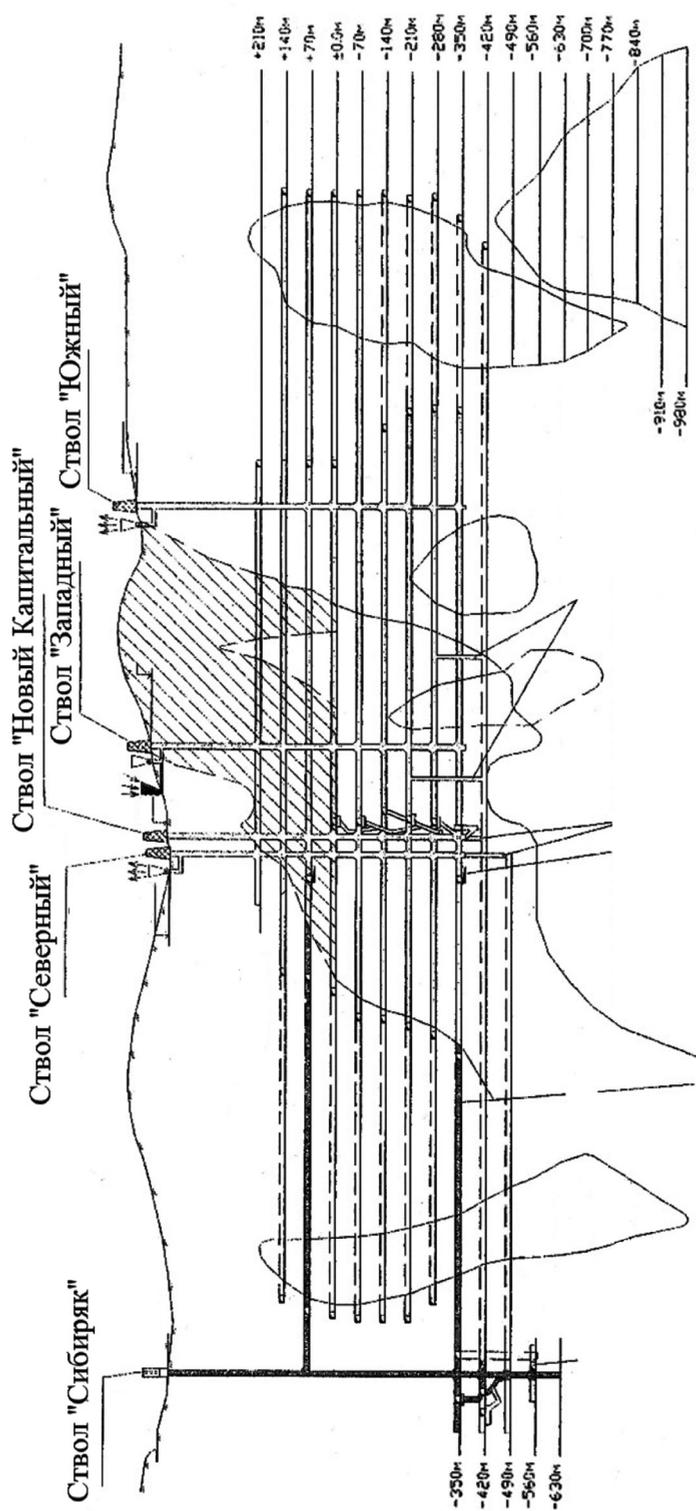


Рис. 1. Вертикальная проекция Ташгагольского месторождения

ских взрывов часто приводит к возникновению в массиве динамических явлений различной мощности.

В тектонически и сейсмически активных районах Алтае-Саянской складчатой горной области ведется разработка подземным способом ряда крупных рудных месторождений, таких как Таштагольское, Шерегешевское, Абаканское и др. Характерная особенность региона, где расположены месторождения — высокий уровень сейсмической активности, обусловленный тектоническими процессами и ростом уровня напряжений в массиве горных пород [1, 2].

Таштагольское месторождение вскрыто пятью стволами шахт: «Ново-Капитальная», «Западная», «Северная», «Южная» и стволом «Сибиряк». Стволы шахт «Южная» и «Западная» являются только вентиляционными (рис. 1). В настоящее время все стволы (кроме ствола «Сибиряк») находятся в зоне влияния горных работ. В районе стволов отмечается местная концентрация горизонтальных деформаций, в результате чего происходят нарушения крепи и армировки, что вызывает необходимость производить остановку работы на ремонтно-восстановительные работы [3].

Ствол шахты «Ново-Капитальная» пройден до горизонта -350 м диаметром в свету 7,5 м, оборудован двумя скипами, клетью. Служит для выдачи сырой руды на поверхность, спуска и подъема людей, материалов и оборудования с функций воздухоподающего ствола.

Ствол «Западный» пройден до горизонта -350 м. В настоящее время он находится в зоне опасных сдвижений на границе зоны трещин. Ствол служит для выдачи горной массы с гор. -350 м на горизонт -280 м.

Ствол шахты «Северная» пройден до горизонта -350 м диаметром в свету 4,5 м и оборудован клетьевым подъемом, служит для выдачи отработанного

воздуха из шахты, спуска и подъема людей и грузов. Ствол находится в зоне опасных сдвижений.

Ствол шахты «Южная» пройден до горизонта -210 м диаметром в свету 4,5 м, далее до горизонта -350 м состоящим с сечением 4 м<sup>2</sup> и служит для выдачи отработанного воздуха.

Существующая ортовая схема подготовки горизонтов адаптирована к применению системы этажно-принудительного обрушения на протяжении длительного времени проходила совершенствования как по элементам, так и по способам подготовки блоков и отбойки руды, при этом вариант системы разработки с отбойкой руды на компенсационные камеры эллипсоидной формы и зажатую среду позволяет вести эффективную отработку в сложных горно-геологических условиях на больших глубинах в условиях повышенной удароопасности [4].

На горнорудных предприятиях Горной Шории и Хакасии отработка рудных запасов осуществляется в целиках в слепых сближенных рудных телах под реками и другими водоемами, что приводит к созданию в массиве зон, опасных не только по горным ударам, но и масштабному изменению гидрогеологической ситуации. Для исключения этих явлений необходим надежный прогноз горно-геологических и геомеханических условий разработки, снижающих риск геодинамических явлений.

Освоение глубоких горизонтов обострило проблемы прогноза и предотвращения горных ударов, наносящих значительный материальный ущерб промышленным предприятиям и объектам, находящимся в зонах влияния очистных пространств (рис. 2). Оработка месторождений ведется в регионах с высокой плотностью населения, с развитой промышленностью, в зонах интенсивного развития туризма. Сохранение сплошности земной поверхности, недопущение

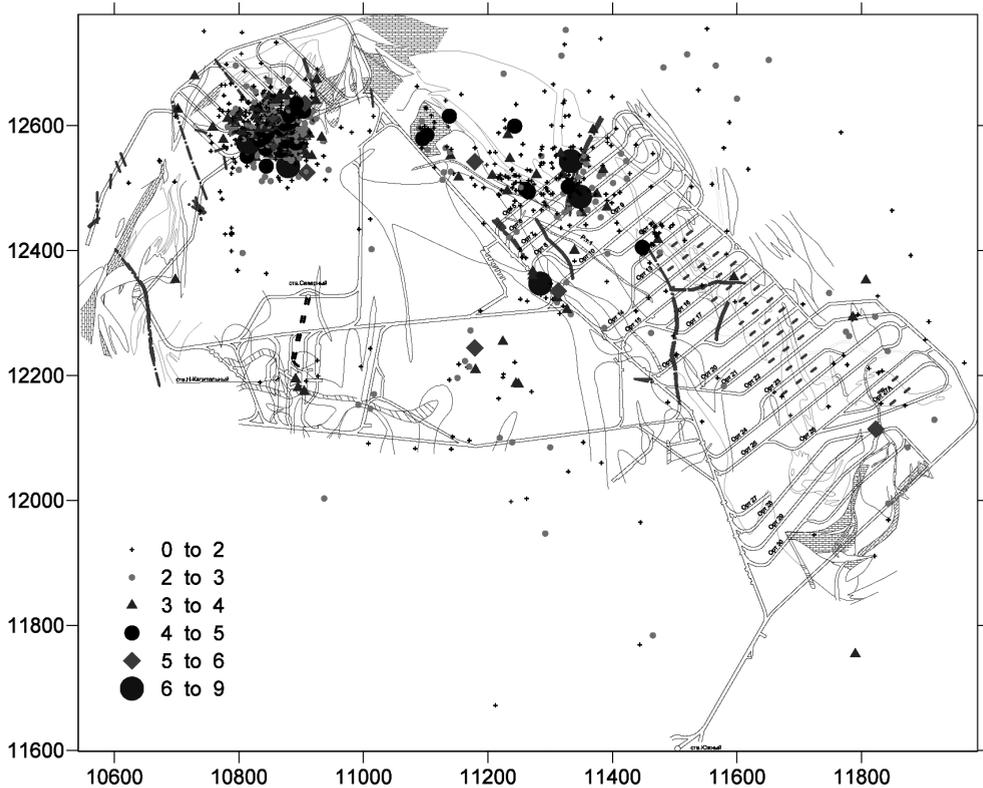


Рис. 2. Гипоцентры толчков в 1 полугодии 2015 г.



Рис. 3. Классификация используемых методов оценки НДС массива

ее значительных деформаций, предупреждение появления динамически опасных зон и ограничение влияния уже имеющихся очагов сейсмических и динамических явлений — неперенное условие успешного развития горнопромышленных регионов Сибири.

Для оценки НДС массива горных пород и степени удароопасности на месторождении применяются следующие региональные и локальные методы: микросейсмический контроль на базе сейсмостанции; электропрофилирование; подземное электроразондирование на малых базах; измерение деформаций; керновое бурение; регистрация электромагнитной эмиссии.

Данный комплекс позволяет следить за изменением напряженного состояния участков горного массива, определять категорию удароопасности в рабочих забоях.

Схема применяемого в настоящее время комплекса методов контроля НДС

массива на таштагольском руднике приведена на рис. 3.

Для исследования напряженного состояния горных пород и интенсивности динамических явлений при ведении горных работ был выполнен анализ сейсмических данных, основанный на измерении параметров упругих волн. На исследуемом участке массива горных пород располагались приемники упругих колебаний. В зоне измерений определялось амплитудное значение сигнала и длительность его спада (рис. 4).

В породе имеются рассеиватели акустической волны: трещины, дайки и др. Зарегистрированный акустический сигнал, является суперпозицией волн различного типа: продольных, поперечных и поверхностных (волны Релея, Лява и псевдорелеевские).

Поверхностные волны характеризуются пониженными, сравнительно с прямой волной, кажущимися скоростями, низкочастотным спектром и оказывают

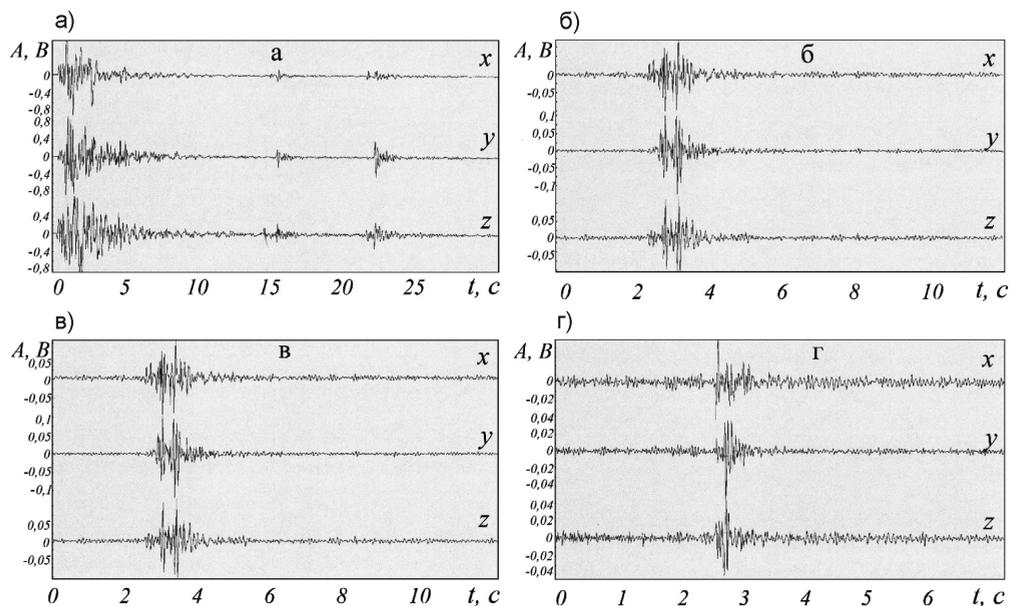


Рис. 4. Сейсмограммы: массовый взрыв ( $1,41 \cdot 10^7$  Дж, ЭК 7,1, гор. -380:-280, 07.07.2012) и последующее динамическое явление (а); технологический взрыв ( $1,24 \cdot 10^4$  Дж, ЭК 4,1, гор. -70:0, 28.07.2012) (б); динамическое явление (ЭК 5,6, 02.09.2012) (в); динамическое явление (ЭК 4,1, 06.09.2012) (г)

существенное влияние на больших расстояниях от источника.

Волны Релея — это интерференционные поверхностные волны, поляризованные в вертикальной плоскости и распространяющиеся вдоль дневной поверхности со скоростью меньшей, чем идущие по тому же пути прямые поперечные и продольные волны. При этом скорость волны Релея не зависит от ее длины. С удалением от поверхности Земли вглубь среды амплитуда колебаний, связанных с волной Релея, сначала несколько возрастает, а затем быстро уменьшается. При глубине, примерно равной 1,5–2 видимым длинам волны, амплитуда колебаний в 10–20 раз меньше, чем на поверхности.

При наличии в верхней части поверхности Земли слоя с пониженной скоростью образуется так называемая псевдорелеевская волна, скорость которой зависит от ее длины (наблюдается дисперсия скорости). Для волн, длина которых значительно больше мощности слоя, скорость увеличивается с длиной волны; когда скорость в верхнем слое меньше, чем в нижнем, то скорость убывает с ростом длины волны.

Третьим видом поверхностных волн является волна Лява — поперечная поверхностная волна, поляризованная горизонтально (перпендикулярно распространению волн). Волна Лява возникает, когда под тонким слоем залегают пласт, характеризующийся большей скоростью волн. С углублением в нижний пласт амплитуда колебаний волн Лява быстро убывает [5–7].

Кроме того, при распространении акустических волн, наблюдается явление дифракции, в результате чего возникают дифрагированные волны (волны огибания). Источниками дифракции являются изломы и шероховатости акустических границ, включения тел неправильной формы и т.д. При определенных соотношениях скоростей продольных и поперечных волн и углов их падения на границу образуются волны обменные, на границе меняющие свой тип. В слоистой среде возникают волны многократно отраженные, пути пробега которых бывают весьма сложными [8].

С увеличением напряженного состояния горных пород трещины сжимаются, улучшается акустический контакт неоднородностей с вмещающими породами, число отражателей и интенсивность отраженной волны становится меньше.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- исследование напряженного состояния горных пород, основанное на изменении параметров упругих волн, позволяет прогнозировать интенсивность динамических явлений при ведении горных работ;
- с увеличением напряженного состояния горных пород трещины сжимаются, улучшается акустический контакт неоднородностей с вмещающими породами, число отражателей и интенсивность отраженной волны становится меньше;
- по изменению времени спада акустического сигнала можно судить об изменении напряженного состояния пород при подготовке и обработке блоков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко А. А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на железорудных месторождениях Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2013. — 192 с.
2. Курленя М. В., Еременко А. А., Шрепп Б. В. Геомеханические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири. — Новосибирск: Наука, 2001. — 184 с.

3. Курленя М. В., Еременко А. А., Никитин В. Н., Скляр Н. И. Опыт прогноза динамических явлений при производстве массовых взрывов // Горный журнал. — 1994. — № 6.
4. Еременко А. А., Гайдин А. П., Еременко В. А. Отработка технологических блоков при массовом обрушении руд в условиях напряженно-деформированного состояния массива горных пород. — Новосибирск: Наука, 2002. — 112 с.
5. Паффенгольц К. Н. Геологический словарь в двух томах. Т. 1 / Коллектив авторов. Под ред. К. Н. Паффенгольца, 2-е изд., испр. — М.: Недра, 1978. — 486 с.
6. Рябинкин Л. А. Теория упругих волн: учебн. пособие для вузов. — М.: Недра, 1987. — 182 с.
7. Викторов И. А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. — М.: Наука, 1966. — 169 с.
8. Ямщиков В. С. Волновые процессы в массиве горных пород: учебник для вузов. — М.: Недра, 1984. — 271 с. **ГИАБ**

### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Конурин Антон Игоревич<sup>1</sup> — кандидат технических наук, младший научный сотрудник, e-mail: akonurin@yandex.ru,

Еременко Андрей Андреевич<sup>1</sup> — доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе, e-mail: eremenko@ngs.ru,

Филиппов Владимир Николаевич<sup>1</sup> — кандидат технических наук, инженер, e-mail: filippov.vn@yandex.ru,

<sup>1</sup> Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН.

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 7, pp. 153–160.

UDC 622.831

**A.I. Konurin, A.A. Eremenko, V.N. Filippov**

## ASSESSMENT FEATURES FOR ROCK MASS CONDITIONS UNDER PRODUCTION BLASTING AND GEODYNAMIC EVENTS

The analysis of the stress-strain state of the rocks on the mine Tashtagol of «Evrzruda» during mass and technological explosions. A classification of methods for assessing stress-strain state of the rock mass and the degree of bump hazard in the fields Tashtagol: microseismic monitoring on the basis of the seismic station; electric profiling; electric profiling underground at small bases; measurement of strain; core drilling; registration electromagnetic emissions.

It was found that the study stressed state of rocks, based on the change in the parameters of elastic waves, allows to predict the intensity of the dynamic phenomena during mining operations. The effect of existing structural inhomogeneities in the rock at the tail of the acoustic signal. A comparative analysis of seismograms mass explosion, the explosion of technological and dynamic phenomena of different energy classes.

It is proved that with the increase of the stress state of rock cracks compressed, improves acoustic contact with the enclosing rocks irregularities, the number of reflectors and the intensity of the reflected wave becomes smaller.

It is shown that a change in the decay time of the acoustic signal can be seen to change the stress state of rocks in the preparation and testing units.

Key words: deposits, ore, technology, mining, the state of stress, dynamic phenomena, mountain pass, the safety of mining operations.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-153-160

## AUTHORS

Konurin A.I.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher, e-mail: akonurin@yandex.ru,  
Eremenko A.A.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Science, e-mail: eremenko@ngs.ru,  
Filippov V.N.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Engineer, e-mail: filippov.vn@yandex.ru,  
<sup>1</sup> Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia.

## REFERENCES

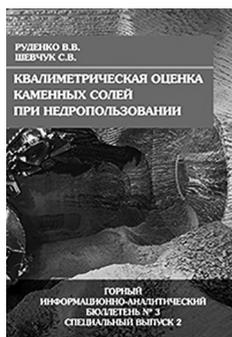
1. Eremenko A.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii burovzryvnykh работ na zhelezorudnykh mestorozhdeniyakh Zapadnoy Sibiri* (Improving the technology of drilling and blasting at the iron ore deposits in Western Siberia), Novosibirsk, Nauka, 2013, 192 p.
2. Kurlenya M.V., Eremenko A.A., Shrepp B.V. *Geomekhanicheskie problemy razrabotki zhelezorudnykh mestorozhdeniy Sibiri* (Geomechanical problems of development of iron ore deposits in Siberia), Novosibirsk, Nauka, 2001, 184 p.
3. Kurlenya M.V., Eremenko A.A., Nikitin V.N., Sklyar N.I. *Gornyy zhurnal*. 1994, no 6.
4. Eremenko A.A., Gaydin A.P., Eremenko V.A. *Otrabotka tekhnologicheskikh blokov pri massovom obrushenii rud v usloviyakh napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gornykh porod* (Testing of process units at a mass collapse of the ore in a stress-strain state of the rock mass), Novosibirsk, Nauka, 2002, 112 p.
5. Paffengolts K.N. *Geologicheskii slovar' v dvukh tomakh. T. 1. Kollektiv avtorov. Pod red. K.N. Paffengoltsa, 2-e izd.* (Geological dictionary in two volumes. Vol. 1. Team of authors; K.N. Paffengolts (Ed.), 2nd edition), Moscow, Nedra, 1978, 486 p.
6. Ryabinkin L.A. *Teoriya uprugikh voln, uchebnoe posobie dlya vuzov* (The theory of elastic waves. Higher educational aid), Moscow, Nedra, 1987, 182 p.
7. Viktorov I.A. *Fizicheskie osnovy primeneniya ultrazvukovykh voln Releya i Lemba v tekhnike* (Physical fundamentals of ultrasonic Rayleigh and Lamb waves in the art), Moscow, Nauka, 1966, 169 p.
8. Yamshchikov V.S. *Volnovye protsessy v massive gornykh porod: uchebnyk dlya vuzov* (Wave processes in rock mass. Textbook for high schools), Moscow, Nedra, 1984, 271 p.



---

## НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»

---



### Квалиметрическая оценка каменных солей при недропользовании

Автор: Руденко В.В., Шевчук С.В.

Год: 2017

Квалиметрия недр, как область горной науки, сформировалась в конце XX века и сегодня является современным и актуальным научным направлением. Научное направление «Квалиметрия недр» получило признание в России и за рубежом (Монголия, Китай, Казахстан, Узбекистан, Германия, Болгария, Венгрия, Киргизия, Сирия) по результатам научно-исследовательских работ, научных докладов на Международных симпозиумах, маркшейдерских конгрессах, приглашений по чтению лекций и полученных грандов студентами на НТТМ ВДНХ, г. Москва, НТТМ г. Новочеркасск, НТТМ г. Санкт-Петербург. Изложен обобщенный опыт по квалиметрической оценке твердых, россыпных и жидких полезных ископаемых. Изложена разработанная принципиальная структурная схема квалиметрической оценки месторождения каменных солей.