

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 551.24:556.3:624.131

В.Г.Зотеев, С.Н.Тагильцев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СКАЛЬНОГО МАССИВА

Формирование трещин в горных породах происходит под влиянием внутренних и внешних напряжений. Важным геологическим процессом, вызывающим современное перераспределение напряжений в массивах горных пород, является денудация. Разрушение и снос больших объемов горных пород влечет за собой разгрузку напряжений, накопленных в массиве. Особенно активно разгрузка происходит вблизи земной поверхности. При постоянной денудации непрерывно происходит и процесс разгрузки.

Верхняя, наиболее деформированная часть пород зоны разгрузки, подвергается воздействию физико-химического выветривания. Здесь образуется глинистый покровный слой, играющий роль относительного водоупора. Ведущее значение в формировании водоносного горизонта имеет нижняя (трещинная) часть зоны разгрузки. Опираясь на закономерности, описывающие, с одной стороны, процессы образования трещин при разгрузке, и, с другой - фильтрационные свойства систем трещин, можно оценить степень зависимости фильтрационных показателей скального массива от процесса разгрузки.

Для большинства рудных месторождений Среднего Урала исходное напряженное состояние массива вмещающих пород характеризуется избыточными горизонтальными напряжениями. Максимальные горизонтальные напряжения, как правило, ориентированы в субширотном направлении, а минимальные - субвертикально. Такая форма эллипсоида напряжений обусловлена влиянием Главного Уральского хребта и Тагильского прогиба. Коэффициент α , характеризующий отношение максимальных горизонтальных напряжений к вертикальным, для Урала колеблется в интервале 2,0-3,0 (Гороблагодатское, Гусевогорское, Первое Северное и др. железорудные месторождения). По последним данным такое же соотношение между субширотными горизонтальными и вертикальными напряжениями характерно для некоторых районов Северного Урала.

Наличие высоких горизонтальных напряжений неизбежно сопровождается формированием мощной зоны разгрузки как на склонах гор, так и в межгорных и речных долинах [1,2,3,4,6]. При этом разгрузка проявляется в виде расслоения массива на систему псевдослоев, разделенных трещинами растяжения, имеющими существенное раскрытие. Для зон разгрузки характерны следующие особенности [3]:

расстояние между трещинами разгрузки тем больше, а их раскрытие тем меньше, чем глубже от свободной поверхности залегает исследуемый интервал (участок массива);

трещины субпараллельны свободной поверхности и имеют существенное раскрытие;

по генезису это типичные трещины растяжения со значительной извилистостью стенок, если только их ориентировка не совпадает с трещинами слоистости (сланцеватости), сформировавшимися в предшествующий разгрузке период;

нижняя граница зоны разгрузки определяется условием равновесия между горизонтальными напряжениями, стремящимися выдавить породу, слагающую дно межгорной или речной долины (дно карьера), и весом вышележащей толщи;

если породы, слагающие дно долины, имеют разную прочность, то наибольшая мощность зоны разгрузки будет характерна для участков, где прочность массива на растяжение по вертикали будет минимальной.

Оценку параметров напряженного состояния скального массива по гидрогеологическим данным можно проводить только на объектах, имеющих высокую степень геолого-гидрогеологической изученности. В пределах изучаемой территории детальные исследования были недавно закончены на Ново-Шемурском месторождении, расположенном на Северном Урале [5]. В процессе разведки месторождения специальные гидрогеологические работы проводились в 22 скважинах. Высокая информативность исследований была обеспечена комплексом опытно-фильтрационных исследований в сочетании с

расходомерией и телефотометрией стенок скважин. Указанный комплекс исследований позволил выделить водоносные интервалы, вскрытые скважинами, задокументировать количество и степень раскрытия трещин, а также оценить их фильтрационные показатели.

Основные результаты исследований авторы отчета [5] представили в виде графиков зависимости количества водоносных зон и количества раскрытых трещин от глубины (рис. 1 и 2). В процессе анализа приведенных графиков хорошо видно, что уменьшение количества раскрытых трещин происходит до глубины примерно 180 м. Можно считать, что данное значение характеризует мощность зоны разгрузки H_p .

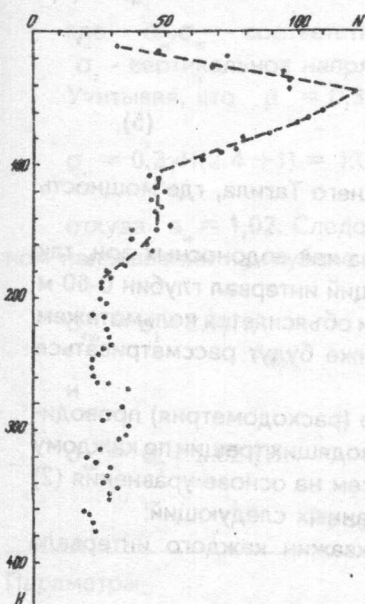


Рис. 1. Изменение количества открытых трещин с глубиной от поверхности земли

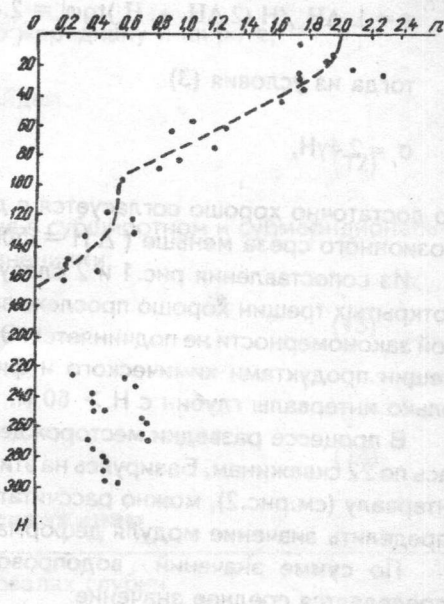


Рис. 2. Изменение количества водоносных зон с глубиной от поверхности земли

По геологическим данным, мощность зоны денудационного среза ΔH в районе месторождения составляет 2000 м. Рудно-скарновый комплекс вытянут в субмеридиональном направлении. Ширина рудной зоны составляет 450 м. Данное значение характеризует базу зоны разгрузки L_p . Средний удельный вес пород рудно-скарновой зон γ принимается равным $0,33 \text{ МН/м}^3$. Угол внутреннего трения ϕ' по литогенетическим трещинам, по аналогии с другими месторождениями, принимается равным 27° , т.е. $\text{tg } \phi' = 0,50$.

Аналитические решения, полученные ранее [3,4], базируются на теории предельного равновесия. Первая зависимость связывает значение базы разгрузки с мощностью зоны, величиной денудационного среза и характеристиками пород массива:

$$L_p = (2\Delta + H_p)H_p \text{tg} \phi' (1 - \mu) / \mu(\Delta H + H_p), \quad (1)$$

где H_p - мощность зоны разгрузки (глубина развития зоны разгрузки от существующей поверхности); ΔH - величина денудационного среза; μ - коэффициент Пуассона.

Вторая аналитическая зависимость позволяет рассчитать значение вертикальной деформации разгрузки:

$$\Delta h_k = \gamma \{ L_p \Delta H (\ln H_p - \ln H_k) - a \text{tg} \phi' \Delta H (H_p - H_k) - 0,25(H_p^2 - H_k^2) \} / E, \quad (2)$$

где Δh_k - деформация (смещение) в к-й точке; H_k - глубина к-й точки от земной поверхности; E - модуль упругости пород в зоне разгрузки; a - коэффициент, определяющий отношение максимальных горизонтальных напряжений σ_k вертикальным, т.е.

$$a = \sigma_k / \gamma H. \quad (3)$$

Указанные уравнения позволяют, в зависимости от степени надежности имеющихся параметров, проводить их взаимную проверку или определять недостающие характеристики. Так, в рассматриваемом случае отсутствуют достоверные определения значений коэффициента Пуассона модуля упругости. Для оценки коэффициента Пуассона можно использовать уравнение (1), так как входящие в него параметры определены достаточно надежно. Получено: $\mu = 0,3$.

Соотношение горизонтальных и вертикальных напряжений может быть определено из уравнения [3,4]:

$$a = L_p \Delta H_p / H_p (2 \Delta H + H_p) \operatorname{tg} \varphi' = 2,4, \quad (4)$$

тогда из условия (3)

$$\sigma_r = 2,4 \gamma H, \quad (5)$$

что достаточно хорошо согласуется с данными по районам г. Кушвы и Нижнего Тагила, где мощность эрозийного среза меньше ($\Delta H = 1500$ м).

Из сопоставления рис. 1 и 2 следует, что закономерное затухание числа как водоносных зон, так и открытых трещин хорошо прослеживается ниже глубины 60 м, вышележащий интервал глубин 0-60 м этой закономерности не подчиняется. Это явление также хорошо изучено [4] и объясняется кольмотажем трещин продуктами химического и физического выветривания, поэтому ниже будут рассматриваться только интервалы глубин с $H > 60$ м.

В процессе разведки месторождения гидрогеологическое опробование (расходомерия) проводилась по 22 скважинам. Базируясь на этих данных и на среднем числе водопроницающих трещин по каждому интервалу (см. рис. 2), можно рассчитать раскрытие отдельных трещин, а затем на основе уравнения (2) определить значение модуля деформации массива. Алгоритм обработки данных следующий:

По сумме значений водопроницаемости всех исследованных скважин каждого интервала определяется среднее значение:

$$k_{m_{cp}} = \sum_{i=1}^{22} k_{m_i} / 22. \quad (6)$$

Далее определяется среднее значение водопроницаемости каждой трещины:

$$T_{тр} = k_{m_{cp}} / n_{тр}, \quad (7)$$

где $n_{тр}$ - количество открытых трещин в пределах рассматриваемого интервала (30 м).

Определяется среднее раскрытие трещин по каждому интервалу:

$$\delta_{тр} = \sqrt[3]{12 \nu T_{тр} / g}, \quad (8)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости воды ($\nu = 0,13$ м²/сутки);

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2 = 7,32 \cdot 10^{10} \text{ м/сутки}^2.$$

Определяется относительное растяжение массива (относительная деформация разгрузки в пределах интервала):

$$E_i = \delta n_{тр} / h_{инт}, \quad (9)$$

где $h_{инт} = 30$ м - длина интервала.

Поскольку относительная деформация разгрузки определяется уравнением

$$E = (\Delta h_{ki} - \Delta h_{ki-1}) / (H_{ki-1} - H_{ki}), \quad (10)$$

то после расчета Δh_k по каждому интервалу на основании уравнения (2) E_i определяется достаточно просто.

Приравняв правые части уравнений (9) и (10) и подставив известные величины L_p , ΔH , $\operatorname{tg} \varphi'$, a и γ , можно определить удовлетворяющее равенству значение модуля деформации. Результаты расчетов приведены в таблице. Анализируя полученные значения, необходимо исключить значение E_i по интервалу 60-90 м, поскольку оно определено на основании минимального раскрытия трещин разгрузки,

рассчитанных исходя из водопроницаемости интервала (по-видимому, на значение $T_{тр}$ в этом интервале оказала влияние частичная коагуляция трещин продуктами выветривания). Три остальных значения E_i , определенные для интервалов глубин 90-120, 120-150 и 150-180 м, достаточно близки между собой, поэтому окончательно можно принять: $E_i = 1,9 \cdot 10^6$ МПа.

Отношение горизонтальных напряжений по субмеридиональному направлению к вертикальным может быть определено из закона Гука при условии, что $E_m = 0$, т.е.

$$E_m = [\sigma_m - \mu(\sigma_{ш} - \sigma_z)]/E = 0, \quad (11)$$

где $\sigma_m, \sigma_{ш}$ - соответственно горизонтальные напряжения по меридиану и широте;
 σ_z - вертикальное напряжение.

Учитывая, что $\mu = 0,3$; $\sigma_{ш} = a_{ш} \gamma H$ и $\sigma_z = \gamma H$, найдем

$$\sigma_m = 0,3 \gamma H (2,4 + 1) = 1,02 \gamma H, \quad (12)$$

откуда $a_m = 1,02$. Следовательно, горизонтальные напряжения в субширотном и субмеридиональном направлении на глубине H определяются соответственно уравнениями:

$$\sigma_{ш} = \sigma_1 = 2,4 \gamma H, \quad (13)$$

и

$$\sigma_m = \sigma_2 = 1,02 \gamma H. \quad (14)$$

Результаты обработки данных по скважинам

Параметры	Значение параметров в интервалах глубин			
	60-90	90-120	120-150	150-180
$\sum l g k_{i, м^2/сут.}$	+0.388	+4.091	+3.008	-2.136
$n_{скв.}$	22	22	22	22
$k_{ср, м^2/сут.}$	1.04	1.54	1.37	0.80
$n_{тр.}$	26	18	14	11
$T_{тр, м^2/сут.}$	0.04	0.085	0.098	0.073
$\delta_{тр, м}$	$0.80 \cdot 10^{-4}$	$0.74 \cdot 10^{-4}$	$0.60 \cdot 10^{-4}$	$0.43 \cdot 10^{-4}$
$n_{тр.} \delta_{тр, м}$	0.092	0.123	0.129	0.1
$E_i, МПа$	$3.3 \cdot 10^6$	$2.22 \cdot 10^6$	$1.81 \cdot 10^6$	$1.62 \cdot 10^6$

Таким образом, рассматривая полученные результаты в целом, можно сделать следующие выводы:

1. На основании геомеханических зависимостей можно получить достоверные значения характеристик напряженного состояния трещиноватости и фильтрационных параметров в скальных массивах.
2. Водоносный горизонт зоны региональной трещиноватости формируется, главным образом, под воздействием процесса разгрузки исходных напряжений скальных массивов.
3. Глинистый слой, покрывающий водоносный горизонт с поверхности, формируется за счет физико-химического выветривания верхней, наиболее деформированной и разрушенной процессом разгрузки части массива горных пород.
4. Водопроницающие трещины образуют в нижней части зоны разгрузки; для этой зоны характерны умеренные и относительно устойчивые значения относительной деформации, количество и раскрытие трещин.
5. При проведении фильтрационных расчетов для зоны региональной трещиноватости наиболее достоверной является простая модель трещиноватости, состоящая из системы параллельных трещин с одинаковым раскрытием и густотой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бадунин В.П. О методах определения мощности зоны разгрузки на примере скального основания Саянской плотины // Труды Ленгидропроекта. - 1970. - №9. - С.23-26.
2. Бондарик Г.К. Трещины донного отпора и зона разгрузки в речных долинах // Разведка и охрана недр. - 1959. - №10. - С.42-45.

3. Зотеев В.Г. Теоретические основы обеспечения устойчивости и формирования скальных откосов глубоких карьеров: Дис. ... д-ра техн.наук. - Свердловск, ИГД Минчермета СССР, 1981. - 395 с.

4. Зотеев В.Г., Семячков А.И., Тагильцев С.Н. Формирование зоны экзогенной трещиноватости в горно-складчатых областях //Изв.вузов. Геология и разведка. - 1990. - №8. - С.80-84.

5. Ново-Шемурское медноколчеданное месторождение: Отчет о результатах геологоразведочных работ с 1975 по 1986г. с подсчетом запасов по состоянию на 01.09.86./Мингео СССР, Уральское ПГО, Северная геологоразведочная экспедиция. - Ивдель, 1986. - 195 с.

6. Прочукан Д.П. Трещины разгрузки в скальных основаниях высоких плотин //Советская геология. - 1964. - №7. - С.64-79.

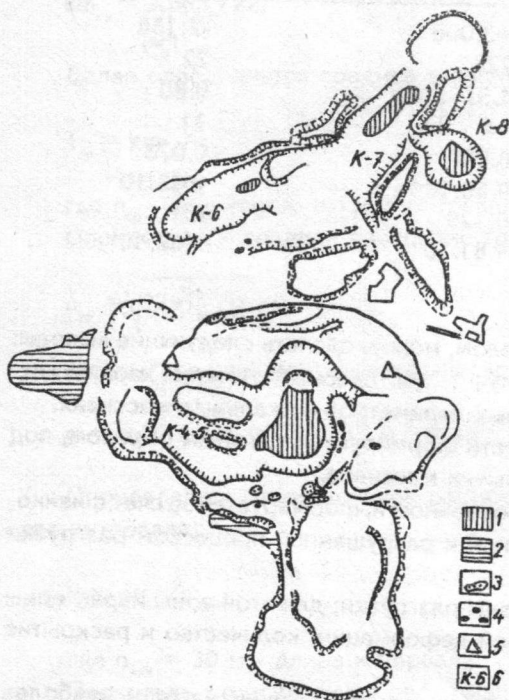
УДК 550.4

О.Г.Кецко, С.Н.Волков, В.И.Кайнов

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕСУРСОПОЛЬЗОВАНИЯ НА РЕГРЕССИВНОЙ СТАДИИ ТЕХНОГЕНЕЗА ЛИПОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Липовское месторождение силикатного никеля, представленное ныне динамичной геотехнической системой, находится на регрессивной нестационарной стадии своего развития. Структура и этапы развития Липовской ГТС отражены в книге «Город Реж и его окрестности: природа, техника, человек» [1]. Эта геотехническая система не только содержит реликты частично отработанных минеральных месторождений (никеленосные коры выветривания, контаминированные пегматиты), но активно преобразует и создает новые ресурсы. Ситуационный план Липовской ГТС приведен на рисунке.

РЕСУРСЫ ЛИПОВСКОЙ ГТС



Ситуационный план Липовской ГТС. Условные обозначения: 1 - карьерные озера; 2 - приотвальные озера; 3 - озера трансаккумулятивные; 4 - автоморфные; 5 - куст водозаборных скважин; 6 - наименование карьеров

I. Минеральные ресурсы:

1. Потерянные руды никеля, железа, марганца и складированные во внешних отвалах забалансовые руды.

2. Пегматитовые жилы, несущие лепидолит-рубеллитовую минерализацию (ограниченное и коллекционное сырье). Известная с начала века Шерлова копь сейчас скрыта под отвалами. В бортах карьера 4-5 обнажены небольшие по мощности жилы, активно обрабатываемые хитниками.

3. Мрамор (в бортах карьеров и во внешних отвалах). Мрамор пригоден в качестве флюса при шахтной плавке, а также для производства облицовочной плитки и других строительных целей.

4. Лигниты (три линзы суммарной мощностью до 30 м) представляют определенный интерес как химическое и энергетическое сырье.

5. Серпентиниты, плотные разновидности которых можно использовать для производства щебня, а возможно и как поделочный камень.

6. Глины представляют интерес для кирпичного производства, мелиорации почв и грунтов.

7. Коллекционное сырье и поделочный камень - это уже упомянутые выше мраморы и серпентиниты, а также листовые черные и бурые опалы с интересным контрастным рисунком, шпинель, рубин и сапфир. Наконец, интересен набор коллекционных минералов, охватывающих разнообразие гипергенных ассоциаций, накладывающихся на своеобразную эндогенную минерализацию метаморфитов, магматитов и пегматитов.

II. Водные ресурсы

По условиям водообмена и ландшафтно-геохимической дифференциации вещества, водные ресурсы Липовской ГТС подразделяются на пять групп: