Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XX, вып. 2, 1976 г.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРИ ПРОГНОЗЕ РУДНИЧНЫХ ВОДОПРИТОКОВ

Э.И.Ткачук

Важнейшей особенностью отработки месторождений полезных ископаемых является исключительная по размерам область влияния систем горных выработок. Протяженность выработок и интервал глубин их расположения может измеряться многими сотнями метров и километрами. В связи с этим достоверный прогноз инженерно-геологических и гидрогеологических условий отработки месторождений немыслим без учета закономерностей пространственной изменчивости состава, состояния и свойств пород. Весьма важными при этом являются исследования зависимостей показателей трещиноватости и фильтрационных свойств от глубины залегания пород, в особенности при прогнозе шахтных и рудничных водопритоков. Такие исследования проведены в процессе инженерно-геологического изучения условий отработки Урупского месторождения (Северный Кавказ) в связи с прогнозом водопритоков на глубоких (до 800 м) горизонтах.

Рудовмещающая толща представлена девонскими вулканогенно-осадочными метаморфизованными образования, главным образом кварцевыми альбитофирами, туфами кислого и среднего состава с подчиненным развитием диабазовых порфиритов и кремнистых сланцев. Трещины преимущественно тектонического происхождения и хаотичной ориентировки. Девонская толща имеет моноклинальное падение в южном направлении под углом 30–40°, осложнена несколькими тектоническими разломами и перекрыта горизонтально залегающими осадочными прочносцементированными породами нижней юры, главным образом песчаниками и алевролитами общей мощностью до 400 м.

Основное внимание уделено изучению рудовмещающей толщи. Постановка исследований и незначительное различие трещинной проницаемости отдельных петрографических типов пород позволяет рассматривать девонские образования в целом.

В связи с тем, что глубокие горизонты будут отрабатываться в пределах тех же структурно-геологических элементов, которые вскрыты подготовительными горными выработками, наиболее важно исследование изменения показателей трещиноватости и фильтрационных свойств в зависимости от глубины залегания пород. Для этой цели использованы данные изучения 52 площадок в горных выработках, 78 больших шлифов, 1100 м керна, а также результаты 21 опытной откачки. Трещиноватость в шлифах изучена по методике ВНИГРИ. Площадь исследованных шлифов составляет в среднем 10 $см^2$ и изменяется от 5 до 23 $см^2$. Трещиноватость в горных выработках изучена визуально, для замеров ширины трещин использованы 10-кратные лупы. Размер наблюдательных площадок 0,5х0,5 м.

Основная масса трещин залечена кварцем, реже кальцитом и гидроокислами железа. Раскрытые трещины не превышают 1% от общего их количества, трещинная пористость составляет около 0,05%. Тем не менее основное внимание уделено изучению раскрытых трещин. Исследованы объемная плотность трещин, их раскрытие и трещинная проницаемость. Полученные результаты представлены в таблице, где для каждой характеристики x показаны среднее значение ее логарифмов $\lg x$, стандарт логарифмов σ и наиболее правдоподобная оценка среднего $\bar{x}$.

Параметры распределения характеристик раскрытых трещин

Характеристика	Параметр	В шлифах	В горных выработках	По данным откачек
Объемная плотность Т, 1/м	$\lg T$	0,85	1,0	-
	σ	0,60	0,30	-
	$\bar{T}$	14	14	-
Раскрытие трещин b, мкм	$\lg b$	1,45	2,10	1,70
	σ	0,21	0,21	0,19
	$\bar{b}$	30	140	55
Трещинная проницаемость $K_п$, мд	$\lg K_п$	-0,05	2,15	1,28
	σ	0,95	0,70	0,57
	$\bar{K}_п$	8,4	507	41
Глубина опробования Н, м	$\lg H$	2,1	2,0	1,6
	σ	0,18	0,27	0,32
	$\bar{H}$	140	120	50

Логарифмический масштаб измерений принят в связи с логнормальным законом распределения раскрытия, густоты трещин и трещинной проницаемости.

Зависимость объемной плотности раскрытых трещин от глубины залегания пород (рис.1) позволяет выделять два множества: „трещиноватых" ($T > 0$) и

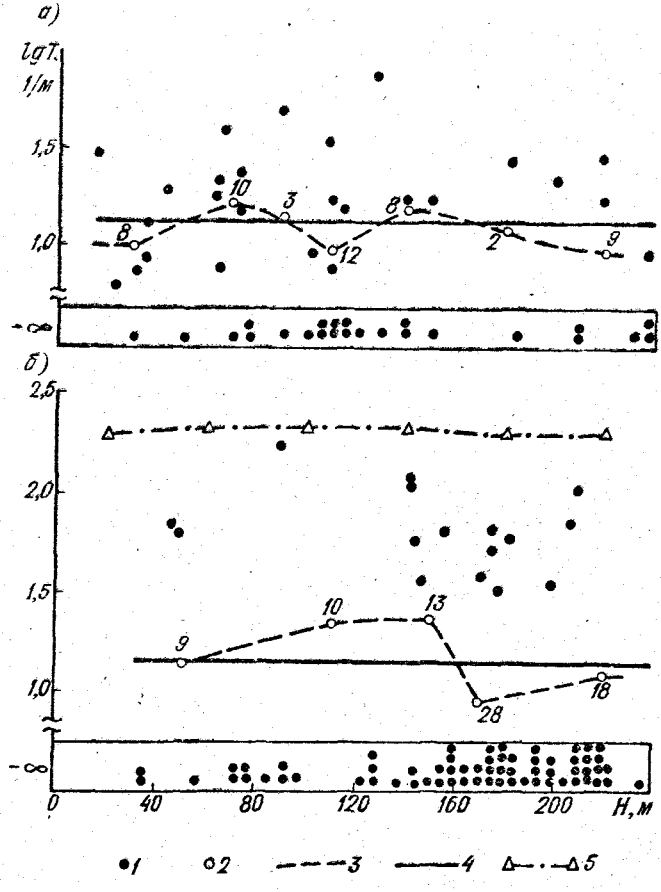


Рис.1. Зависимость логарифмов объемной плотности раскрытых трещин lgT от глубины залегания пород H по результатам изучения площадок в горных выработках (а) и шлифов (б): 1 - частные значения; 2 - логарифмы средних арифметических; 3, 4 - соответственно эмпирическая и теоретическая линии регрессии lgT по H ; 5 - эмпирическая линия регрессии по результатам изучения заполненных минеральным веществом трещин керна скважин

„нетрещиноватых" ($T = 0$, $lgT = -\infty$) объектов, что объясняется большим расстоянием между раскрытыми трещинами, которое в среднем составляет около 18 см. В таких условиях трещиноватая горная порода по отношению к размерам шлифов и наблюдательных площадок выступает в форме неоднородной среды. Однако по отношению к горным выработкам та же порода представляет собой квазиоднородную среду, что позволило вычислить средние арифметические значения объемной плотности трещин T для различных интервалов глубин. Логарифмы этих значений (рис.1) свидетельствуют об отсутствии зависимости объемной плотности трещин от глубины залегания пород: эмпирические линии регрессии изменяются незакономерно, случайно и несущественно отклоняются от логарифма средней объемной плотности трещин. Полу-

ченный вывод не отвергается статистической проверкой гипотез о равенстве коэффициентов регрессии нулю и о возможности использования в качестве оценки генерального среднего T = I4, если выборочное среднее равно поинтервальному T.

Аналогичный вывод получен ранее для трещинных коллекторов нефти и газа в интервале глубин до I–2 км, а также при изучении изменчивости объемной плотности трещин минеральным веществом, рассматриваемого участка (рис.I). Отмеченные обстоятельства позволяют принимать в качестве обобщенного показателя объемной плотности раскрытых трещин в исследованных структурно-геологических условиях T = I4 независимо от глубины залегания пород.

При построении поля корреляции использовались среднеарифметические значения ширины трещин по результатам нескольких измерений (рис.2). В интервале опробования пород опытными откачками среднее раскрытие трещин b вычислялось по коэффициенту фильтрации, с учетом функциональной связи его с коэффициентом проницаемости $K_п$ и известной формулы

$$K_п = A\, b^3 T, \qquad (1)$$

где T = I4; A = I,09 · 10^6 (в связи с хаотичной ориентировкой трещин).

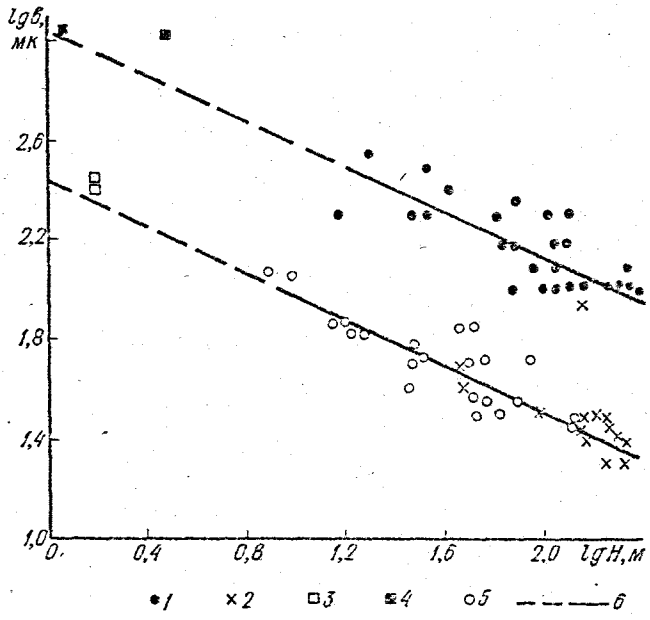


Рис.2. Зависимость логарифмов раскрытия трещин lgb от логарифмов глубин залегания пород lgH :
1 – по результатам изучения горных выработок; 2 – шлифов; 3, 4 – соответственно естественных и искусственных обнажений; 5 – по данным опытных откачек; 6 – теоретические линии регрессии и их экстраполяция на малые глубины

Зависимости между логарифмами b и H прямолинейные, что свидетельствует о степенной форме связи раскрытия трещин с глубиной залегания пород. Несмотря на значительное различие средней ширины трещин в шлифах и стенках скважин (см. таблицу), полученные данные подчиняются общей закономерности:

$$\lg b = 2{,}45 - 0{,}48 \lg H. \qquad (2)$$

Результаты изучения раскрытия трещин в горных выработках существенно отличаются от полученной зависимости

$$\lg b = 3{,}05 - 0{,}47 \lg H. \qquad (3)$$

Однако равенство объемных плотностей раскрытых трещин в шлифах и горных выработках может свидетельствовать, что во втором случае наблюдаются в сущности микротрещины, расширенные в процессе формирования «ослабленной зоны" горных выработок до видимых размеров. При этом расширение происходит в основном пропорционально первоначальной ширине трещин, что подтверждается равенством коэффициентов регрессии уравнений (2) и (3), а также несущественным различием дисперсии частных значений логарифмов раскрытия трещин в шлифах и горных выработках. Эмпирическое значение «коэффициента расширения трещин" равно 4; с учетом этого уравнение (3) не отличается от зависимости (2).

Экстраполяция уравнений (2) и (3) на малые глубины залегания пород приводит к минимальным значениям средних раскрытий трещин в обнажениях (рис.2), что свидетельствует о принципиальной возможности оценки параметров раскрытой трещиноватости массивов в процессе инженерно-геологической съемки. Однако при этом требуется тщательная подготовка обнажений: в связи с выветриванием заполнителя трещин большинство значений раскрытия завышены.

Зависимость (2) подтверждается результатами иных исследований. Обобщая эти результаты, а также полученные данные, можно отметить, что они являются отражением общей закономерности, которая с некоторым приближением имеет вид

$$\lg b = 2{,}5 - 0{,}5 \lg H. \qquad (4)$$

Для условий рассматриваемого участка характеризуемая зависимость в натуральном масштабе для несмещенных оценок может быть описана следующим образом:

$$b = 300/\sqrt{H}. \qquad (5)$$

Коэффициенты уравнения (4) могут изменяться в зависимости от структурно-геологических особенностей скальных массивов. В частности, свободный член уравнения может увеличиваться или уменьшаться соответственно увеличению или уменьшению прочности пород и мощности слоя. Коэффициент регрессии может варьировать в зависимости от пространственной ориентировки трещин, несколько уменьшаясь по алгебраическому значению в случае

преимущественного развития горизонтальных трещин напластования и увеличиваясь в зонах повышенной трещиноватости с преобладающими субвертикальными разрывами. Косвенным подтверждением последнего могут служить коэффициенты регрессии логарифмов максимальных раскрытий трещин по логарифмам глубин, которые по результатам наблюдений в горных выработках, шлифах и скважинах (рис.2) характеризуются достаточной устойчивостью и равны 0,3.

Выявленные закономерности изменения характеристик раскрытых трещин с глубиной достаточны для оценки изменчивости фильтрационных свойств пород. Например, на основании формулы (1) и уравнения (4), учитывая постоянство объемной плотности трещин, легко найти, что средние значения коэффициентов проницаемости пород с хаотично расположенной сетью тектонических трещин изменяются пропорционально $H^{-1,5}$.

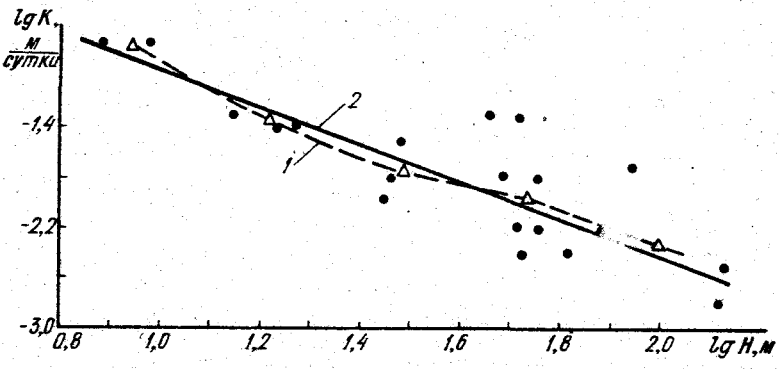


Рис.3. Зависимость логарифмов коэффициентов фильтрации lgK рудовмещающих пород от средних логарифмов интервалов опробования пород опытными откачками lgH : поле корреляции; 1, 2 – соответственно эмпирическая и теоретическая линии регрессии lgK по lgH

Полученный вывод подтверждается результатами изучения зависимости коэффициентов фильтрации от глубины залегания пород (рис.3):

$$lgK = 0,6 - 1,5\ lgH. \qquad (6)$$

Зависимость (6) в натуральном масштабе для несмещенных оценок имеет вид:

$$K = 5/H\sqrt{H},$$

что применительно к коэффициенту трещинной проницаемости с некоторым приближением позволяет записать

$$lgK_{п} = 3,7 - 1,5\ lgH. \qquad (7)$$

Уравнение (7) может быть получено также из выражений (1) и (5). Оно удовлетворительно описывает изменчивость логарифмов средних значений трещинной проницаемости пород в шлифах и в горных выработках с учетом эмпирического „коэффициента расширения трещин". При этом коэффициент регрессии логарифмов максимальных значений трещинной проницаемости по логарифмам глубин составляет 0,9.

В формировании рудничных водопритоков в девонских породах большую роль играют фильтрационные свойства перекрывающих их юрских образований. Изучение зависимости коэффициентов фильтрации песчаников и алевролитов от глубины залегания пород по данным 74 опытных откачек и нагнетаний позволило найти

$$\lg K = 1{,}3 - 1{,}62 \lg H,$$

что по коэффициенту регрессии несущественно отличается от уравнения (6).

Кроме изменчивости показателей раскрытых трещин и фильтрационных свойств по глубине залегания пород, исследованы зависимости параметров интенсивности трещиноватости от расстояния до тектонических разломов и рудного тела. Результаты исследований позволили расчленить изученный скальный массив на инженерно-геологические элементы и охарактеризовать их показателями трещиноватости и фильтрационных свойств. Полученное инженерно-геологическое расчленение послужило основой качественной оценки обводненности проектируемых горных выработок. Количественная оценка ожидаемых водопритоков получена с учетом охарактеризованных выше зависимостей и результатов изучения изменчивости дебитов водопроявлений во времени, что позволило найти формулы прогноза применительно к условиям рассматриваемого участка. Результаты прогноза подтверждаются натурными наблюдениями.