

УДК 622

А.К. Федосеев

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ПРОВАЛА НАД ТЕХНОГЕННОЙ КАРСТОВОЙ ПОЛОСТЬЮ В СОЛЯНЫХ ПОРОДАХ

*Выполнено математическое моделирование процесса разрушения пород надсоли-
ной толщи калийного рудника БКПРУ-1.*

Ключевые слова: калийный рудник, надсолевой комплекс, водопритоки, карсто-
вая воронка.

Семинар № 3

Аварийное затопление калийного рудника БКПРУ-1 началось в конце октября 2006 года. Первое поступление рассолов зафиксировано в районе рассолосборника на 4–5 западных панелях около геологоразведочной скважины № 17. В течение первых десяти дней водоприток в рудник достиг 1200 м³/час. В связи с таким высоким дебитом откачка рассолов была прекращена, горные работы остановлены, процесс затопления рудника стал неуправляемым.

Выполненный химический анализ состава рассолов не оставлял сомнений, что в горные выработки поступают воды из надсолевого комплекса. Это однозначно свидетельствовало о нарушении сплошности водозащитной толщи (ВЗТ), вероятней всего в восточной части 3–4 западных панелей, где отработаны два сильвинитовых пласта АБ (1964–1965 гг.) и КрII (1976–1977 гг.).

На момент аварии максимальные оседания земной поверхности на данном участке превысили 3,7 м. Доступ в выработанное пространство оказался невозможным, вследствие этого точное место прорыва вод не могло быть установлено. Одна из важнейших оперативных задач была направ-

лена на оценку первоначальных последствий повышенных водопритоков в рудник, которые связаны с размывом соляных пород верхней части ВЗТ, что ведет к образованию карстовой полости и создает угрозу обрушения или внезапного проседания вышележащих пород. Это представляло опасность для функционирования расположенных в данном районе трассы федеральной железной дороги, ТЭЦ и промышленных объектов рудника.

Для прогноза возможных размеров карстовой воронки над предполагаемым местом поступления рассолов в горные выработки выполнялось математическое моделирование процесса разрушения пород надсолианой толщи вследствие размыва верхней части ВЗТ. В расчетах принималось, что латеральный размер карстовой полости не ограничивается вплоть до обрушения вышележащих пород. Математическое моделирование проводилось в двух вариантах: в упругой постановке и с учетом пластического деформирования пород соляно-мергельной толщи (СМТ). Характер разрушения пород надсолианой толщи оценивался по прочностным и деформационным критериям.

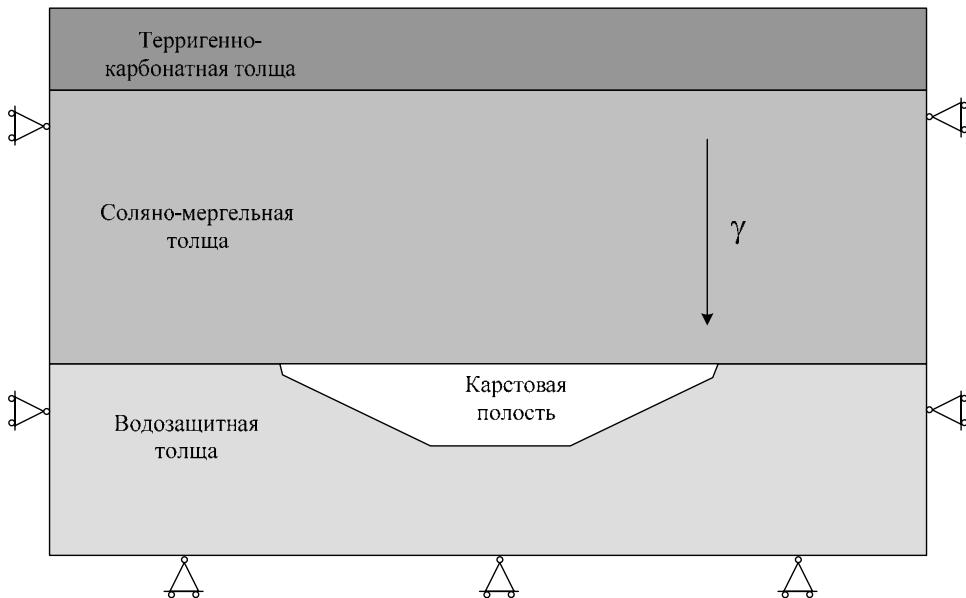


Рис. 1. Расчетная схема

На рис. 1 представлена расчетная схема для определения изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) надсолевых отложений при увеличении размеров карстовой полости вследствие размыва водозащитной толщи (ВЗТ) над выработанным пространством.

Граничные условия задавались исходя из начального литостатического напряженного состояния верхней части породного массива: горизонтальные перемещения на боковых гранях и вертикальные – на нижней принимались равными нулю. Расчетная область находилась в условиях действия массовых сил, интенсивностью γ , (удельный вес). Принятые к расчету свойства и мощности элементов разреза определялись по данным бурения в прилегающих к месту прорыва ВЗТ скважинах.

Критерием разрушения породной толши над карстовой полостью при решении упругой задачи являлось:

1) выполнение неравенства:

$$R = \frac{\tau_{\max}}{\sqrt{(\sigma_p + \sigma)[2\sigma_p -}} \\ \frac{\tau_{\max}}{-2\sqrt{\sigma_p(\sigma_p + \sigma_c)} + \sigma_c} \geq 1$$

где $\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$,

$\sigma = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$, σ_1 , σ_3 – главные напряжения, определяемые по результатам математического моделирования;

2) наличие растягивающих напряжений: $\sigma_1 > 0$.

При решении пластической задачи уравнение $R = 1$ являлось условием локализации пластических деформаций, а положительные значения горизонтальных напряжений, как и в упругой задаче, определяли условие разрушения надсолевой толши.

Возникновение в кровле карстовой полости зон действия растягивающих напряжений характеризовало возможность обрушения пород, что позволило отразить динамику формирования провала.

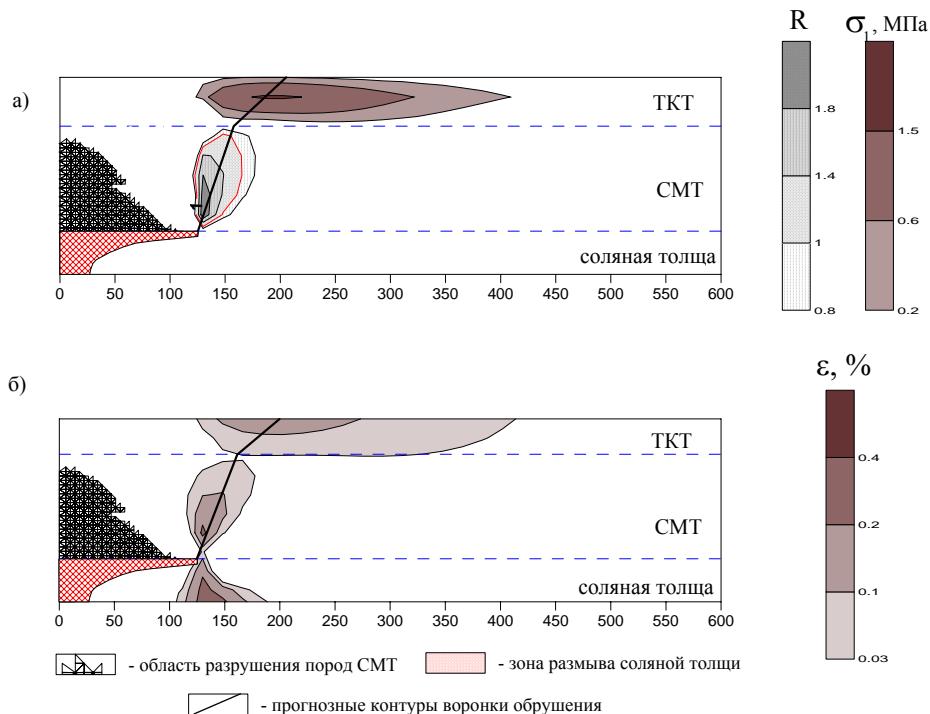


Рис. 2. Оценка разрушения пород надсолевой толщи по прочностным (а) и деформационным (б) критериям (упругая постановка задачи)

Для обоих вариантов задачи критерием образования провала на земной поверхности являлось распространение области нарушения сплошности или зоны пластических деформаций на всю мощность надсолевой толщи. Контрольные оценки производились и по условию формирования в надсоляной толще горизонтальных деформаций растяжения ($\varepsilon \geq 0$).

Решение задачи об изменении НДС надсолевых отложений при увеличении размеров карстовой полости в условиях обрушения налегающей толши на каждой итерации осуществлялось методом конечных элементов (для решения пластической задачи использовался метод сечущей матрицы). При появлении в элементах кровли полости растягивающих напряжений эти элементы исключались из дальнейшего расчета

путем обнуления их механических свойств. Анализ напряженно-деформированного состояния пород в окрестности карстовых полостей показал, что их устойчивость практически не зависит от высоты полости. Это означает, что при заданных свойствах пород и глубине залегания водозащитной толщи основным варьируемым параметром для определения возможной ширины провала является горизонтальный размер карстовой полости. По результатам расчета упругой задачи (рис. 2) провал над карстовой полостью формируется при протяженности зоны размыва верхней части соляной толщи, равной 250 м, а радиус возможной воронки обрушения на земной поверхности составляет 200 м. Данный размер может рассматриваться в качестве верхней оценки.

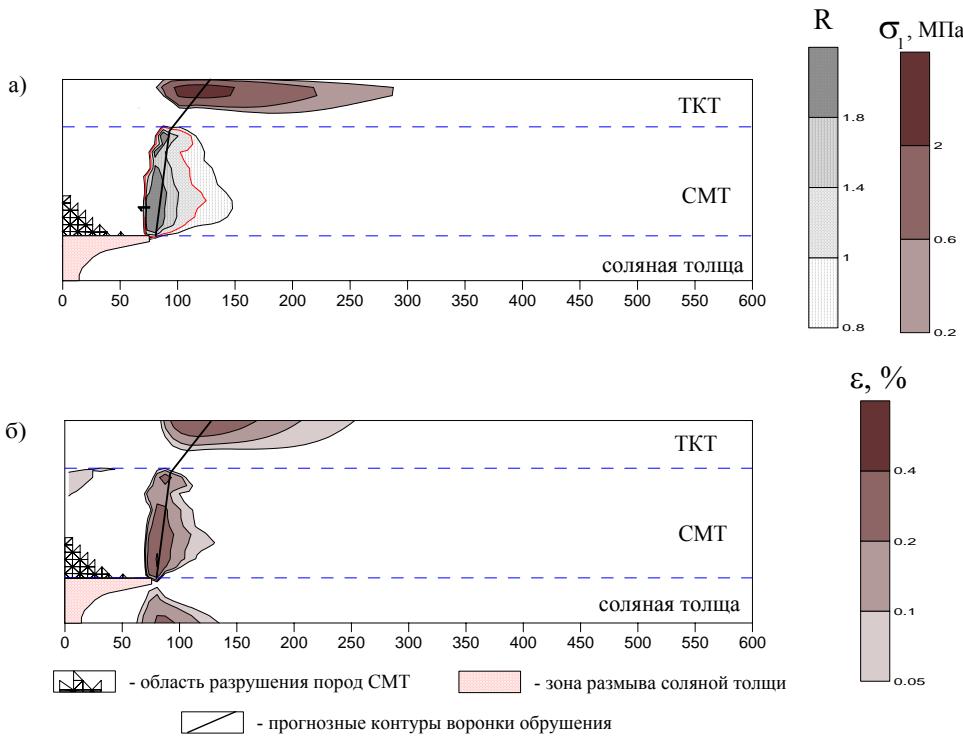


Рис. 3. Оценка разрушения пород надсолевой толщи по прочностным (а) и деформационным (б) критериям (пластическая постановка задачи)

Результаты, отражающие развитие в СМТ пластических деформаций, показывают, что образование воронки реализуется при протяженности карстовой полости 150 м (рис. 3). Ее радиус на земной поверхности в качестве нижней оценки составил 130 м.

Ввиду повышенных рисков для ответственных объектов, расположенных на аварийном участке (железная дорога, ТЭЦ и др.), прогнозный радиус возможной воронки обрушения на земной поверхности принимался, равным 200 м. Контуры воронки от-

страивались от предполагаемого места течи.

В конце июля 2007 года в районе предполагаемого места прорыва вод в горные выработки сформировался провал на земной поверхности, который активно развивался в течение нескольких месяцев. К январю 2008 года поперечные размеры составляют 330x210 метров. Затопление рудника и размыв карстовой полости продолжается, что в настоящее время и предопределляет постепенное увеличение провала. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Федосеев А.К. – Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь,
mvp@icmm.ru