

УДК 622.831

А.К. Федосеев

О ВКЛАДЕ РИФОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ФОРМИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН В СОЛЯНОЙ ТОЛЩЕ

Построена модель формирования осадочного чехла над рифогенными образованиями. Показано, что в соляной толще над рифогенными постройками в процессе формирования осадочного чехла создаются предпосылки к образованию зон трещиноватости. На основании многовариантных численных экспериментов определены основные факторы, влияющие на возможное формирование природно-ослабленных зон в соляной толще над рифом, и проведена оценка их влияния. Ключевые слова: рифы, осадочный чехол, напряженно-деформированное состояние, трещины, механика растущих тел.

Рифовые образования имеют широкое развитие в разрезе осадочного чехла Урало-Поволжья [1]. Многочисленную и разнообразную по своему строению группу составляют рифы позднедевонско-раннекаменноугольного возраста. На территории Соликамской впадины, в строении которой принимает участие верхнепермская галогенная формация, данные структуры в виде одиночных рифов и их массивов формировались в позднедевонскую эпоху в условиях глубоководного шельфа. Эти образования оказали определяющую роль на структурный план вышележащей части разреза. Однако их роль этим не ограничивается. Результаты анализа и обобщения сейсморазведочных материалов на площади Верхнекамского месторождения солей показали наличие осложнений волновой картины в интервале подошвы соляной толщи [2], которые по ряду признаков соответствуют зонам разрывных нарушений [3]. Эти осложнения встречаются, в основном, на крыльях структур облекания девонско-турнейских рифо-

вых массивов и над стыками блоков фундамента.

Косвенным подтверждением присутствия разрывных нарушений в осадочном чехле над рифогенными образованиями является очаговое распределение вторичного преобразования пород соляной толщи, проявляющееся в замещении каменной солью трех и более продуктивных пластов калийной залежи. Ранее для нефтеперспективных интервалов геологического разреза установлено уменьшение скоростей сейсмических волн [4] и их повышенное затухание [5] по периферии рифогенных образований (аномалии "кольцевого" типа).

Геомеханическое обоснование возможности влияния рифогенных формаций на состояние соляной толщи рассматривалось в работе [6]. Комплекс выполненных методических исследований выявил снижение прочностных свойств соляных пород над рифогенными постройками девонско-турнейского возраста [7].

Приуроченность выявленных осложнений строения соляной толщи к рифогенным постройкам может быть

обусловлена изменением литостатического поля напряжений при формировании перекрывающих толщ.

Для оценки достоверности этой гипотезы выполнялось математическое моделирование изменения напряженно-деформированного состояния осадочного чехла в процессе его формирования. Этот анализ включал исследование распределения напряжений в осадочной толще и оценку возможности образования в ней зон повышенной трещиноватости. Геомеханические исследования проводились для разработанных на основе решения прямой задачи сейсморазведки обобщенных физико-геологических моделей девонских и пермских рифогенных образований. При построении моделей принимался ряд допущений: породы осадочного чехла залегают согласно; риф имеет однородное строение; накопление отложений, перекрывающих риф, происходило в условиях некомпенсированного прогибания.

Формирование осадочного чехла над рифогенными образованиями может быть представлено в виде процесса последовательного наращивания слоев различных осадочных пород, и, таким образом, подпадает под общую постановку краевой задачи дискретного наращивания стареющего тела [6]. В первом приближении не учитывался реологический характер деформирования породного массива в процессе осадконакопления, а изменение свойств происходило дискретно, по мере формирования новых слоев. Однако, даже в такой постановке отсутствие информации о силовых воздействиях на породный массив в процессе его формирования, а также об изменении его физико-механических свойств в геологическом времени может стать существенным препятствием при математиче-

ском моделировании процесса осадконакопления.

Деформирование любого выделенного элемента геологического разреза в отсутствие других силовых источников (например, тектонических движений) осуществляется под действием собственного веса и веса вышележащих пород. Если предположить, что на постседиментационной стадии формирования произвольного элемента разреза не происходит значительного перемещения материала, то $\gamma h = const$ (γ - удельный вес пород, h - мощность отложений) на любой момент геологического времени. Данное допущение существенно упрощает постановку задачи и снижает неопределенность расчетной модели, поскольку в этом случае на каждом шаге решения нагрузку вышележащих пород можно задать исходя из современных плотностных свойств и мощностей.

На участках субгоризонтального залегания пластов для условий литостатического поля напряжений, на основе современного геологического разреза и закона изменения модуля деформации, можно построить итерационную процедуру для определения "исходной" мощности геологических пластов (условной мощности невосомого слоя). Тогда основной задачей параметрического обеспечения является оценка изменения механических свойств пород в процессе осадконакопления и литофикации.

Априори можно утверждать, что в геологическое время происходит увеличение прочностных и деформационных показателей пород. Однако количественные выражения этих зависимостей для различных литологических разностей неизвестны. Можно выделить три основных этапа упрочнения (рис.1): за счет начального гра-

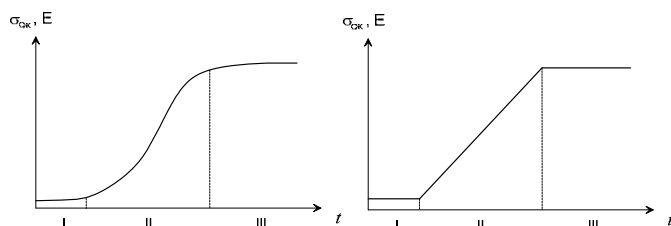


Рис. 1. Изменение прочностных и деформационных свойств пород в процессе осадконакопления

витационного уплотнения материала, вследствие установления новых физико-химических связей и переход к современным свойствам. Решающую роль будет очевидно играть второй этап, поэтому для упрощения модели литификации аппроксимируем кривую кусочно-линейной функцией, с преобразованием пологих участков в горизонтальные. Тогда достаточно рассмотреть линейный закон упрочнения и варьировать только его градиент.

Численная реализация математических моделей проводилась с использованием осесимметричной схемы метода конечных элементов [7]. Решение осуществлялось поэтапно в приращениях перемещений с учетом сформированного на предыдущей стадии начального поля напряжений. Полученное распределение перемещений и соответствующее поле напряжений рассматривались как начальные для следующего этапа решения. В рамках принятого алгоритма это отражало процесс постепенного деформирования структурных элементов осадочного чехла. Полный цикл математического моделирования продолжался до соответствия геомеханической схемы расчета современной физико-геологической модели осадочного чехла. Для выявления основных закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния осадочного чехла рассматривался геологический разрез, состоящий из

однородных по конечным свойствам и законам упрочнения слоев одинаковой мощности.

Полученные результаты показали (рис. 2), что наличие рифовых построек отражается на характере распределения напряжений в вышележащих толщах. На-

пример, в осадочных отложениях, приуроченных к склоновой части рифа, наблюдается увеличение вертикального напряжения (рис. 2, б). В то же время у основания рифа имеет место относительная разгрузка. Распределение радиальных (рис. 2, а) и тангенциальных (рис. 2, в) напряжений характеризуется наличием зон пониженных сжимающих напряжений над рифом в средней и верхней частях осадочного чехла. Зона повышенных касательных напряжений (рис. 2, г), так же как и вертикальных, приурочена к склоновой части рифа. При этом характер распределения напряжений указывает, что зона влияния рифа увеличивается с удалением от его свода вверх по разрезу.

Опасность образования в соляной толще трещин субвертикальной ориентации оценивалась по параметру

$$S = \tau_n / \sigma_n,$$

адекватному критерию Кулона-Мора (τ_n , σ_n - касательное и нормальное напряжение соответственно). Очевидно, что чем больше параметр S , тем выше вероятность образования зон вертикальной трещиноватости в осадочном чехле на стадии его формирования.

На рис. 3 представлено характерное распределение критериального параметра в осадочных отложениях над рифом. Зона его максимума находится непосредственно над склоном рифа.

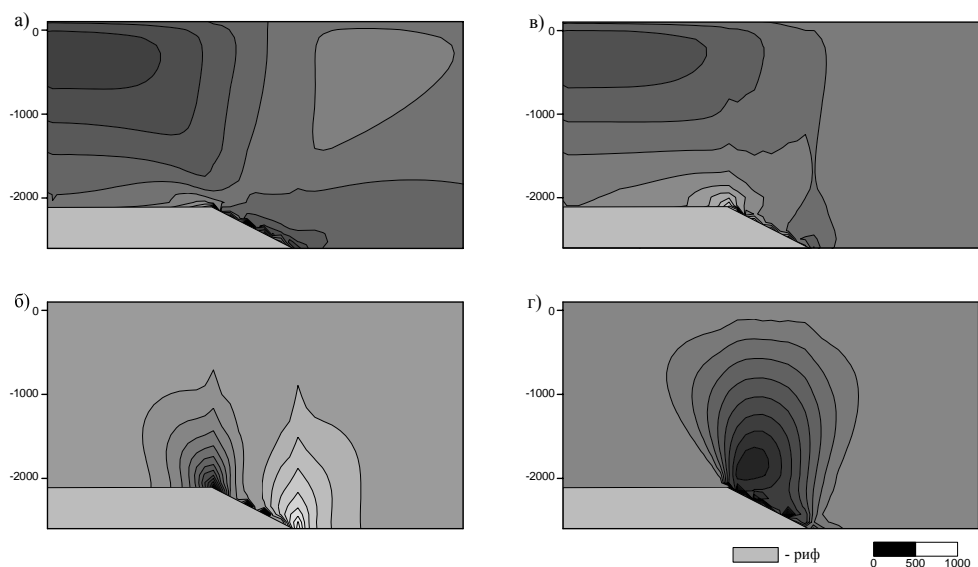


Рис. 2. Изменение напряженно-деформированного состояния осадочного чехла над рифом

С удалением вверх по разрезу зона влияния рифа увеличивается, а степень его воздействия уменьшается. Вторая зона повышенных значений критерия расположена в верхней части осадочного чехла, и именно она оказывает непосредственное влияние на возможность образования трещин в соляной толще.

Для оценки влияния тех или иных факторов на результаты моделирования и снижения параметрической неопределенности модели были проведены многовариантные численные экспе-

рименты. По их результатам были выявлены следующие закономерности:

- уменьшение градиента роста механических параметров (коэффициента упругости) ведет к незначительному понижению значений критерия (а, значит, и к уменьшению вероятности образования трещин) в верхних слоях осадочного чехла. В целом, картина распределения остается неизменной;

- изменение начальных свойств пород практически не оказывает влияния на характер распределения критерия и на его зависимость от градиента;

- увеличение современных средних механических свойств ведет к снижению значений критерия в верхних слоях осадочного чехла; понижение же ведет к росту критериального параметра;

- увеличение крутизны склона рифа, как и увеличение его высоты при постоянной крутизне, ведет к росту критериального па-

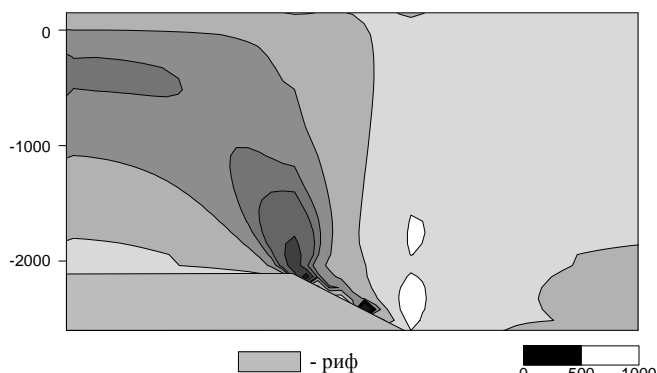


Рис. 3. Распределение критериального параметра S

раметра в диапазоне соляной толщи;

- наличие в осадочной толще пластов с пониженными по сравнению с вмещающими породами механическими свойствами (характерный пример - артинский горизонт) приводит к расширению зоны повышенных значений критерия в соляной толще с одновременным снижением этих значений. В случае если пониженными свойствами обладают пласты, непосредственно облегающие риф, наблюдается заметное повышение значений критерия в интервале соляной толщи;

- рифогенные образования пермского периода, ввиду их небольших размеров, сами по себе оказывают незначительное влияние на формирование зон возможной повышенной

трещиноватости в соляном зеркале, однако при соответствующем расположении относительно девонских рифов могут усиливать влияние последних.

Как следует из полученных закономерностей, для оценки влияния рифогенных структур на возможность образования трещин в соляной толще иногда может оказаться достаточным знание современных характеристик рифа и осадочной толщи над ним. В то же время устойчивость результатов по начальным свойствам пород и законам их упрочнения делают осмысленной задачу усложнения модели процесса литофикации за счет учета физической, химической, термодинамической и других составляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирчинк М.Ф., Мкртчян О.М., Хатянов Ф.И. и др. Рифы Урало-Поволжья, их роль в размещении залежей нефти и газа и методика поисков. М., Недра, 1974.

2. Санфиоров И.А., Семерикова И.И. Отображение в сейсмических волновых полях геологических моделей разрывно-складчатых зон на Верхнекамском месторождении калийных солей. Построение физико-геологической модели и системный подход при истолковании результатов геофизических исследований. Пермь: Пермский ун-та, 1993. С.13-14.

3. Лисин В.П., Маловичко А.А., Неволин Л.П. и др. Выделение тектонических нарушений в отложениях терригенного девона на территории Удмуртской АССР по данным МОГТ. Геология, поиски и разведка горючих полезных ископаемых. Пермь, 1983. С.36-44.

4. Неволин Л.П., Новоселицкий В.М., Санфиоров И.А. Многовариантные структурные построения на основе использования закономерностей латеральной изменчивости сейсмических скоростей в пределах разнотипных локальных поднятий. Геология, поиски и

разведка месторождений горючих полезных ископаемых. Пермь, 1982. С. 50-57.

5. Ованесов Г.П., Алексеев Г.П., Белолыков Н.И. и др. Геологическая эффективность геофизических работ в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. М.: Недра, 1980. 253 с.

6. Барях А.А., Еремина Н.А., Кудряшов А.И., Прийма Г.Ю., Санфиоров И.А. О влиянии рифогенных образований на структуру верхних этажей осадочного чехла. Докл. АН, 1998, том 363, № 3.

7. Асанов В.А., Барях А.А., Кудряшов А.И., Санфиоров И.А. Взаимосвязь физико-механических свойств соляных пород с особенностями геологического строения массива. Пробл. безопасн. и совершенств. горных работ. (Мельниковские чтения). Тез. докл. Межд. конф. Пермь, 1999.

8. Арутюнян Н.Х., Дроздов А.Д., Наумов В.Э. Механика растущих вязкоупругопластических тел. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 472 с.

9. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. 541 с. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Федосеев Антон Кимович – мл. научный сотрудник, лаб. механики горных пород, Горный Институт УрО РАН, e-mail: rm_anton_mi-perm.ru