

Применение методики прогноза и оценки зон АВПД на основе глубинно-скоростной модели среды, построенной по сейсмическим данным, полученным в Западной Сибири и сопредельных территориях.

Оболенская А.А.* (Яндекс.Терра), Кузнецов И.К. (Яндекс.Терра), Миткалев Д.В. (ООО «Пургеофизика»), Обухова М.А. (Яндекс.Терра), Сазыкин М.К. (ОАО «Лукойл»)

Человечество столкнулось с проблемой аномально высокого пластового давления (АВПД) впервые в процессе бурения, когда обнаружилось, что наличие АВПД способно вызывать осложнения при бурении. В дальнейшем было убедительно доказано, что наличие зон с АВПД благоприятно сказывается на коллекторских свойствах вмещающих пород, увеличивает время естественной эксплуатации месторождений, повышает удельные запасы газа и дебиты скважин, способствует сохранности скоплений углеводородов, свидетельствует о наличии в нефтегазоносных бассейнах ловушек (Еганьянц, 1999). Таким образом, изучение зон АВПД необходимо как для поиска новых месторождений, так и для уменьшения риска аварий при бурении.

Одним из главнейших факторов, определяющих характер существующих в природе подземных гидродинамических систем, является давление. Пластовое давления – давление жидкости или газа в поровом пространстве горной породы, находящейся в условиях естественного залегания в порах непроницаемых пластов. Гидростатическое давление - давление в исследуемой точке пласта, развиваемое весом покоящегося столба флюида, насыщающего вышележащие отложения по вертикали. Нормальное пластовое давление в любых геологических условиях будет равно гидростатическому давлению столба минерализованной воды (плотность 1000-1100 кг/м³) от поверхности до данного подземного пласта. Следовательно, согласно такому определению, аномальные пластовые давления характеризуются любым отклонением от нормального давления.

Коэффициент аномальности (K_a) – отношение пластового давления к условному гидростатическому, определенное для глубины залегания исследуемого пласта.

$$K_a = P_{пл} / P_{у.гидр.}$$

Где K_a - коэффициент аномальности (безразмерный); $P_{пл}$ – пластовое давление, Па; $P_{у.гидр.}$ – условно гидростатическое давление, Па. (М.Д. Белонин, 2005)

Главными условиями генезиса и сохранности АВПД выступает закрытость флюидальной системы, а также затрудненный водо-(флюидальный) обмен внутри региональной системы природных резервуаров. Повышенные давления возникают в результате уменьшения порового пространства, либо в результате увеличения объема флюидов.

Теорий о происхождении АВПД много, в этом состоит трудность изучения этой проблемы. Многие авторы признают полигенность АВПД в зависимости от конкретных геологических условий района. Всего выдвигается более 20 возможных механизмов образования АВПД.

Для прогноза проявления АВПД в каждом конкретном районе требуется комплексный анализ всей имеющейся геологической и геофизической информации.

Разноплановость и многогранность предлагаемых теоретических механизмов генерации АВПД, предложенных разными авторами, объясняются следующими причинами: а) наличием двух учений о происхождении нефти; б) полигенностью природы АВПД в) существенным увеличением объема данных по АВПД благодаря увеличению глубин бурения; г) отсутствием экспериментальных (в т.ч. натуральных) исследований АВПД, отставанием теоретических разработок от практических задач бурения в условиях его проявления; д) неправильным подходом к изучению механизма генерации АВПД, при котором его причину часто ищут в пределах локальной структуры (иногда даже в пределах участка складки), на которой его зафиксировали.

АВПД развиты в месторождениях всего мира, например, таких, как Хасси-Мессауд, Хасси-Рмель, Статфьорд, Келли-Снайдер, Вентура, Чиконтепек, Маллоса, Эльбурс, Экофиск, Бованенковское, Вуктыльское, Карадаг, Котур-Тепе, Анастасиевско-Троицкое и т.д. (Е.В. Курчерук, 1986)).

Доклад посвящен изучению АВПД в Западной Сибири, а также акваториях Карского моря, где на данный момент, несмотря на достаточную изученность региона в целом, наличие АВПД изучено не до конца.

Диссертация А.И. Гальченко (Гальченко, 1991) является незаменимым фундаментальным трудом, посвященным процессу уплотнения глинистых осадков в Западной Сибири и основанным на огромном количестве фактического скважинного материала. При условии, что на территории Западной Сибири генезис АВПД определяется преимущественно факторами уплотнения, эта работа может иметь большой вес для прогноза АВПД.

Как известно, из всех пород глины являются достаточно высоко проницаемыми по напластованию и значительно менее проницаемы по вертикали. Таким образом, в региональных глинистых отложениях создаются благоприятные условия закрытости по латерали. Поэтому в ряде случаев в глинистых породах наблюдается АВПД, вызванное аномальным уплотнением пород. Исследователи, занимающиеся вопросами уплотнения пород, используют для оценки деформаций преимущественно глинистые породы, поскольку наложенные эпигенетические изменения в них минимальны. Таким образом принимается, что петрофизические параметры глинистых пород в вертикальном разрезе зависят только от эффективного напряжения. Несжимаемость материала скелета у глин в несколько раз меньше, чем у песка, также у глин поры обычно вытянуты в плоскости, нормальной к направлению максимального напряжения, тогда как в песке поры практически изометричны. Поэтому глины в процессе литогенеза уплотняются больше, чем пески, и изучать уплотнение в них надежнее. (Козлов, 2006; Белонин и др, 2005)

Для целей поиска АВПД в глинистых породах важно иметь представление о нормальном уплотнении глин на конкретной изучаемой территории, полученное по фактическим наблюдениям. А.И. Гальченко получил кривые нормального уплотнения глин и песков для различных глубин на территории Западной Сибири.

Интервалам разреза с аномально высоким поровым давлением по сравнению с нормальным давлением в тех же породах и на той же глубине свойственны повышенные пористость, температура, коэффициент Пуассона, а также пониженные объемные плотности, эффективное давление и интервальные скорости. Аномалии скоростей и плотности на контактах пластов с АВПД проявляются в аномалиях коэффициентов отражения. Следовательно, «сейсмическим образом» АВПД являются пониженные скорости в пласте и амплитудные аномалии: отрицательные, если берется амплитуда отражения от кровли пласта с АВПД, положительное- если от подошвы. Если скорость накопления осадков больше, чем скорость их естественной дегидратации под влиянием гравитационного уплотнения, поровый флюид принимает на себя часть веса перекрытия. Таким образом поровый флюид разгружает контакты зерен и снижает контактную упругость породы, а следовательно, и скорость волн. (Е.А.Козлов,2006)

Причин и гипотез возникновения АВПД очень много, как и факторов (быстрое осадконакопление, температурные факторы, тектонические напряжения итд), ответственных за его возникновение. В то время, как прямые замеры АВПД являются хотя и самыми достоверными, но точечными методами, остальные методы (например, основанные на оценке УЭС пород или сейсмическом поглощении), как правило, чувствительны только к определенной группе факторов или зависят и от многих других причин, зачастую не связанных с АВПД). Существует множество методов прогноза и оценки АВПД (до, после и в процессе бурения).

Для исследования проблемы АВПД по сейсмическим данным был выбран подход, описанный в книге (Белонин и др, 2005) а также информацию о кривых уплотнения Гальченко (Гальченко, 1991).

При определении пластового (порового) давления используется уравнение 1:

$$P_{нор} = P_{н.гидр} + \frac{g(\bar{\delta}_{г.н.}^{Ha} - \bar{\delta}_{н.в.})\Delta H}{lg \frac{P_2}{P_1} + \frac{\alpha(P)}{2,3} \Gamma_1 \Delta H} lg \frac{P_n}{P_a} \quad (УРАВНЕНИЕ1)$$

где $P_{н.гидр}$ - нормальное гидростатическое давление, Па; $\bar{\delta}_{г.н.}^{Ha}$ -средневзвешенная плотность горной породы для глубины H_a , кг/м³; $\bar{\delta}_{н.в.}$ -средневзвешенная плотность пластовой воды, кг/м³; ΔH - интервал рассматриваемых глубин (H_1 и H_2), м; P_n , P_a - значения интервальной скорости соответственно при нормальном и аномальном пластовом давлении; P_1 , P_2 - значения интервальной скорости соответственно на глубине H_1 и H_2 ; $a(P)$ - среднее значение температурного коэффициента глин в интервале температур; Γ_1 - средний геотермический градиент, °С/м. (Белонин, и др, 2005).

Интервальная скорость находится в процессе обработки данных, в процессе построения толстослоистой глубинно-скоростной модели. Перед этим проводится комплекс процедур обработки сигнала, учет влияния неоднородностей верхней части разреза, корреляция основных отражающих горизонтов, итеративная послойная глубинная миграция, после каждой итерации которой для изучаемого слоя при помощи скоростного анализа в глубинной области определяются

кинематические параметры, которые, в свою очередь, пересчитываются в интервальные скорости. Для каждого изучаемого слоя, вдоль опорного горизонта, являющегося его кровлей, проводится скоростной анализ в глубинной области и кинематико-динамическое преобразование. В результате для каждой точки ОГТ рассчитываются годографы отраженных волн в табличном виде. Далее решается обратная задача двумя специальными методами: R-способом и способом взаимных точек, и одновременно рассчитывается критерий однородности слоя. Следующим этапом является решение прямой задачи, на выходе которой получается табличный годограф (ОГТ-время-удаление), и решается обратная задача для «фиксации» горизонта в глубинно-скоростной модели. Затем вычисления переходят на следующую итерацию, где последовательность повторяется для следующего нижележащего горизонта, и т.д. пока не будут отработаны все опорные горизонты модели. Полученная модель пересчитывается в разрез поровых давлений потрассно с использованием формулы (УРАВНЕНИЯ 1). По соотношению нормального и пластового (порового) давлений рассчитывается коэффициент аномальности (K_a), по которому и выделяются зоны АВПД.

В результате выполнен расчет порового давления по сейсмическим данным по глубинно-скоростной модели, который затем был сопоставлен с результатами, полученными другими исследователями по ГИС, а также с прямыми замерами на скважине 2099 Хальмерпаютинской – расположенной на изучаемом профиле.

Отмечается хорошее совпадение прогнозных значений по данным сейсморазведки и прямого замера в скважине, при этом прогноз по данным ГИС, выполненный предыдущими исследователями, имеет большие расхождения с прямыми замерами, чем прогноз по сейсмическим данным.

Из всех геофизических маркеров, по мнению автора, интервальная скорость является одним из наиболее эффективных и универсальных, так как не является толерантной ни к поведению плотности пород, ни к температурному фактору, а также к тектоническим напряжениям, наличию свободного газа в разрезе итд. В определенной степени можно утверждать, что если мы используем интервальные скорости как маркер прогноза АВПД, то установление истинной природы возникновения АВПД прекращает быть критичным моментом исследований, а точность прогноза при этом остается достаточно высокой для того, чтобы принимать такой прогноз во внимание в процессе нового бурения на площади исследований.

Список литературы:

1. Еганьянц, Рудольф Тигранович, "Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений" 1999 г
2. М.Д.Белонин, В.И.Славин, Д.В.Чиллинггар Аномально высокие пластовые давления. Происхождение, прогноз, проблемы освоения залежей углеводородов 2005г
3. Е.А.Козлов Модели среды в разведочной сейсмологии 2006
4. А.И.Гальченко Способы оценки и прогноза геофлюидальных давлений на основе данных ГИС в нефтегазовых районах Западной Сибири 1991