

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**Сейсмогеологическое моделирование разреза Алтатинской площади
Саратовской области**

АВТОРЕФЕРАТ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

студента 6 курса 631 группы
020302 специальности геофизика
геологического факультета
Лысова Артема Николаевича

Научный руководитель
д.г.-м.н., профессор

подпись, дата

С.И. Михеев

Зав. кафедрой
к.г.-м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2016

ВВЕДЕНИЕ

Условием успешного развития нефтегазовой отрасли, составляющей основу экономики страны, является открытие новых месторождений углеводородного сырья. Этому препятствует относительно невысокая эффективность геологоразведочных работ, в комплексе которых особую роль, вследствие высокой точности и разрешенности получаемых данных занимает сейсморазведка. Поэтому проблема повышения эффективности сейсмического метода при поисках месторождений нефти и газа относится к наиболее актуальным как в нашей стране, так и за рубежом. Особенно актуальна эта проблема при производстве геологоразведочных работ в условиях солянокупольной тектоники, в частности, в Прикаспийской впадине, характеризующихся наличием большого количества факторов, осложняющих применение сейсморазведки и снижающих ее геологическую эффективность. К основным из таких факторов относятся:

- сложная форма поверхности соли, особенно на сводах куполов, с большими углами её наклона;
- сложное геологическое строение надсолевой толщи (наличие многочисленных разрывных нарушений, тонкая слоистость разреза, криволинейность границ раздела и др.);
- значительная изменчивость физических свойств пород в горизонтальном и вертикальном направлениях;
- интенсивный фон регулярных волн-помех различной природы (кратные, боковые, дифрагированные и др.);
- большие (более 5 км) глубины залегания наиболее перспективных подсолевых нефтегазоносных комплексов.

Выполненные исследования привязаны к территории саратовского сегмента внутренней бортовой зоны Прикаспийской впадины. Выбор данной территории определялся тем обстоятельством, что она рассматривается сейчас как наиболее нефтегазоперспективная в европейской части России. В этой связи в ее пределах в последнее время велись и ведутся сейчас масштабные геологоразведочные работы.

К настоящему времени на территории Саратовской области открыты более 120 месторождения нефти, газа и конденсата. Но, в подсолевых отложениях Прикаспийской впадины ни одного месторождения не найдено. Между тем, по оценке НВНИИГГ в Прикаспийской впадине сосредоточено около половины начальных суммарных ресурсов (НСР) УВ сырья Саратовской области. Почти все указанные ресурсы прогнозируются в подсолевом комплексе пород, который особенно труден для изучения геофизическими методами. В результате, пробуренные на спрогнозированные подсолевые нефтегазоперспективные объекты скважины (Черная Падины № 1 и №2, Владимировская, Тимофеевская Южно-Алтатинская и др.) не подтверждают их наличие, не приводят к открытию месторождений. Бесплезно затрачиваются весьма значительные средства (стоимость бурения одной только скважины превышает млрд. руб.). Таким образом, сложилось явное противоречие между имеющимися высокими оценками перспектив нефтегазонасности обсуждаемой территории и результатами поисковых работ. Это свидетельствует о необходимости совершенствования поисковых технологий и, в первую очередь, ведущего геофизического метода – сейсморазведки.

При разработке новых геофизических технологий возникает проблема оценки их эффективности при решении тех или иных геологических задач. Решить данную проблему можно на основе создания и анализа системы эталонов. Причем, необходимо иметь эталоны разного класса (например, один эталон с присутствием нефтегазоперспективного объекта, другой - без него). В принципе эталоном могут служить детально изученные природные объекты или данные моделирования. Первый вариант для территории исследований не реализуем из-за низкой плотности бурения, дефицита сведений о строении и свойствах разреза. Поэтому здесь более перспективно применение средств моделирования геофизических полей среди которых чаще всего сейчас применяется математическое моделирование.

Отметим, что настоящая дипломная работа не является пионерской и

ранее сейсмогеологическое моделирование условий солянокупольной тектоники выполнялась множеством специалистов (Макаркин А.А., Шестюк В.А., Ужакин Б.А. и др.). Но, прежние вычислительные эксперименты были основаны на лучевых представлениях. В дипломной же работе вычисления были основаны на более совершенной волновой теории. Для этого применялась получившая наибольшее признание в мире программа полномасштабного моделирования «TESSERAL -2D» (разработка Tesserallnc, Канада).

Цель настоящей дипломной работе состояла в полномасштабном сейсмогеологическом моделировании условий солянокупольной тектоники с ориентацией на создание эталонов для проверки эффективности новых технологий нефтегазопроисловых работ. Для достижения указанной цели решались следующие частные задачи:

- сбор и анализ имеющейся на территорию саратовского сегмента Прикаспийской впадины геолого-геофизической информации;
- сбор и обобщение опубликованных и рекламных данных о системе «TESSERAL 2D»;
- освоение некоторых практических приемов работы с системой «TESSERAL 2D» (интерактивное описание сейсмогеологических моделей, сохранение результатов вычислений);
- оформление результатов сейсмогеологического моделирования (теоретических сейсмограмм и временных разрезов ОГТ);
- предварительный анализ синтетических сейсмограмм и временных разрезов ОГТ с позиций возможных путей повышения эффективности сейсморазведочных работ.

Геологическое строение территории

В тектоническом отношении ПВ располагается в юго-восточной части Русской плиты Восточно-Европейской платформы.

Тектоническое строение Прикаспийской впадины характеризуется тем, что разрез осадочного чехла в её пределах содержит три структурно-вещественных комплекса: подсолевой, соленосный и надсолевой, отличающихся различными соотношениями структурных планов.

Геологический разрез района работ сложен архейскими и нижнепротерозойскими образованиями кристаллического фундамента, а также верхнепротерозойскими, палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими породами осадочного чехла.

Фундамент в пределах Прикаспийской впадины сложен метаморфическими породами, представленными гнейсами, кварцитами и сланцами. В геологическом прошлом он подвергался интенсивной денудации, разбит на блоки разной формы и величины.

В пределах прибортовой зоны структурный план кровли подсолевых отложений значительно дифференцирован. Здесь выделен ряд поднятий валообразного характера, а также их зон и групп.

Изученность бурением подсолевого интервала разреза невелика. На саратовско-оренбургском сегменте Прикаспийской впадины пробурено порядка 30 скважин, вскрывающих подсолевой верхнепалеозойский комплекс. Самая глубокая скв.1 Черная Падина, остановлена в среднефранских отложениях (забой 5910 м).

Формирование подсолевого осадочного комплекса на территории Прикаспийской впадины происходило в условиях смены трансгрессивных и регрессивных циклов, что приводило к формированию карбонатных, депрессионных и обломочных шлейфовых комплексов. На регрессивных этапах происходило накопление преимущественно терригенных комплексов. В период раннепермского этапа карбонатного осадконакопления

Прикаспийская впадина получила наиболее яркую морфологическую выраженность за счет формирования карбонатных трендов, что послужило одной из причин накопления мощной толщи пермских соленосных отложений. Чаще всего границы Прикаспийской впадины проводятся по кромке нижнепермского бортового уступа. С началом кунгурского века начинается компенсация Прикаспийского глубоководного бассейна. Дальнейшее накопление мощной толщи терригенных образований верхнепермско-триасового возраста сопровождалось проявлением интенсивной соляной тектоники. Соляная тектоника создала многочисленные соляные структуры – соляные гряды и купола, разделяющие их прогибы и мульды, что можно проиллюстрировать сейсмогеологическим разрезом. Общепринято обособление в надсолевом разрезе верхнепермско-триасового, юрского-палеогенового и неогеново-четвертичного этажей. Кровля подсолевого мегакомплекса на саратовском участке нижнепермского бортового уступа Прикаспийской впадины залегает на глубинах примерно от 1,5 км до 2-2,5 км. Южнее происходит погружение до 5-7 км. Соленосный комплекс представлен ярко выраженными соляными грядами и куполами, разделенными прогибами и мульдами. Наиболее сильно дислоцированным является верхнепермско-триасовый комплекс отложений. Толщины юрских, меловых и палеогеновых, а также неоген-четвертичных отложений увеличиваются при переходе через бортовую зону в Прикаспийскую впадину. Часто вершинные и склоновые части соляных куполов и гряд осложнены тектоническими разрывными нарушениями.

Сейсмогеологические условия

Территория Прикаспийской впадины и её бортовой зоны характеризуется очень сложными глубинными сейсмогеологическими условиями. В разрезе изучаемой территории существует множество акустически жестких отражающих и преломляющих границ раздела. Однако их прослеживание представляет значительные трудности. Так, изучение

границ соляных куполов осложняется тем обстоятельством, что в межкупольных мульдах нередко развиты пласты и толщи терригенных и карбонатных пород, пластовые скорости в которых равны скоростям в соли или больше них. Относительно низкая плотность соли (примерно $2,15 \text{ г/см}^3$) приводит к тому, что и терригенные толщи с пластовой скоростью, меньшей скорости в соли, но характеризующиеся более высокой плотностью, нередко не отличаются от соли по акустической жесткости. Поэтому, начиная с некоторых глубин, возникает ситуация, когда эта граница разделяет литологические толщи, практически неразличимые по акустической жесткости. В этой ситуации отраженные волны на границе соли с вмещающими породами не формируются. Сложности картирования поверхности соли определяются также сложной формой её поверхности, особенно на сводах куполов. Очень большое влияние на волновое поле оказывает сложное геологическое строение надсолевой толщи (гетерогенность, тонкая слоистость, разрывные нарушения и др.

Задачи исследования в связи с перспективами нефтегазоносности

К настоящему времени на территории Саратовской области открыты более ста двадцати месторождения нефти, газа и конденсата. Но, в подсолевых отложениях Прикаспийской впадины ни одного месторождения не найдено. С наименее разведанной Прикаспийской НГП в Саратовской области связываются наибольшие перспективы прироста запасов УВ сырья. По оценке НВНИИГГ в Прикаспийской впадине сосредоточено около половины начальных суммарных ресурсов (НСР) УВ сырья Саратовской области. При этом их освоенность составляет всего 0,3% по сравнению с 17% для области в целом. НСР Саратовской области по состоянию на 1.01.93г. оцениваются в 1976,6 млн.т.н.э, из них 877,9 млн.т.н.э. приходятся на ПНГП. Важно подчеркнуть, что Саратовская часть Прикаспийской НГП характеризуется наиболее высокими удельными плотностями прогнозных ресурсов углеводородов. Но, на настоящий момент на этой территории открыто всего

5 мелких залежей в надсолевых отложениях. Это Спортивное, Старшиновское, Куриловское, Узеньское и Таловское. Нефтегазоносность подсолевого карбонатного осадочного комплекса на территории Саратовской области доказана притоками нефти и газа на Ерусланской, Лободинской и Упрямовской площадях. В скв. 1 Черная Падина приток газа получен из среднефранских отложений. Практически в каждой из скважин, расположенных по обрамлению и во внутренней части бортовой зоны ПВ при испытании пластов нижнепермских карбонатных отложений отмечены газопроявления (скважины: № 2Ю. Алтатинская, Алтатинская №3,5,6 и др.);

Методические и методологические основы геофизического моделирования геологических разрезов

При проектировании геофизических работ и интерпретации получаемых материалов используют различные виды моделирования: физическое, аналоговое, математическое. Под моделью в общем понимании подразумевается любой образ какого-либо объекта, процесса или явления. В геофизике примером может служить понятие объекта, формирующего аномалии физического поля. На настоящий момент при проведении геофизических исследований часто используют термин физико-геологическая модель (ФГМ). Такая модель - это система абстрактных возмущающих тел и вызванных ими аномальных геофизических эффектов. Она в обобщенном виде отражает геологические объекты, их размеры, форму, глубину залегания и петрофизические свойства. По сути физико-геологическая модель - это обобщенная петрофизическая модель и геофизические поля, соответствующие этой модели. При составлении петрофизической модели используются данные лабораторных исследований физических свойств, геофизических исследований скважин (ГИС), а также способов изучения их по полевым геофизическим материалам. Наделение элементов модели некоторыми типичными, например, средними значениями физических и геометрических параметров подразумевает обобщение данных о совокупности реальных геологических объектов. Степень детализации

модели зависит от характера и количества априорной информации, распределения физических свойств геологических элементов модели, размеров физических неоднородностей, условий их залегания и задач исследования. При прочих равных условиях с уменьшением информации о моделируемом объекте, ФГМ становится более обобщенной и грубой. Г.С. Вахромеев и А.Ю. Давыденко классифицируют ФГМ на детерминированные и вероятно-статистические. Первые составляют исходя из предположения о том, что неслучайные численные характеристики, описывающие объект моделирования, однозначно определяют соответствующие неслучайные физические поля. Вероятно-статистические модели основаны на представлении о случайности численных характеристик аномалиобразующих объектов и геофизических полей. При геофизическом моделировании чаще всего составляются детерминированные ФГМ. При реализации физико-геологического моделирования возникают проблемы оценки адекватности модели реальным разрезам и ее параметризация. Адекватность реальному объекту для ФГМ можно проверить дополнительными исследованиями или бурением. Одним из основных критериев адекватности является соответствие теоретических физических полей наблюдаемым.

Программно-алгоритмический комплекс полномасштабного моделирования Tesseral-2D

В настоящей работе для построения модели и расчета синтетических волновых полей был использован программно-алгоритмический комплекс Tesseral -2D. Это разработка канадской компании TesseraltechnologiesInc. (2008 г.), получившая признание специалистов во всем мире. Полномасштабное сейсмическое моделирование, положенное в основу пакета Tesseral-2D, долгое время не применялось в практике геофизических исследований из-за нехватки вычислительной мощности и информационных ресурсов компьютерной техники. Использовались менее точные способы моделирования – лучевой или конечно-разностный, основанный на решении скалярного волнового уравнения. Благодаря разработке

оптимизированных алгоритмов, пакет Tesserai-2D в настоящее время способен работать даже на персональных компьютерах в среде MicrosoftWindows, и при этом позволяет достаточно быстро и с хорошей точностью моделировать процессы распространения сейсмических и акустических волн в неоднородных сложнопостроенных средах. Важное преимущество обсуждаемого пакета перед другими, в частности реализующими лучевой способ расчета волнового поля, заключается в том, что для моделирования сложных сейсмических эффектов: интерференционных, сложноотраженных волн от субвертикальных границ, псевдоанизотропии и т. п., нет необходимости в использовании специальных программных продуктов. С помощью данного пакета могут быть смоделированы практически все сейсмические эффекты, характерные для упругой модели среды.

Анализ результатов полномасштабного моделирования

В нашем случае моделировался разрез краевой части Алтатинско-Никольской зоны поднятий (для краткости далее будем называть Алтатинской площадью). В ее пределах рядом специалистов прогнозируется крупная палеозойская платформа визейско-башкирского, возможно и нижнепермского возраста типа Карачаганак. В модели задавались два соляных купола, сопряженные с мульдами, выполненными пермо-триасовым преимущественно терригенным комплексом отложений, которые с несогласием перекрыты юрскими отложениями. В ходе исследований было сформировано и проанализировано две модели, отличающихся строением подсолевого комплекса отложений. Прототипом при построении модели была выбрана детальная модель разреза месторождения Карачаганак. В одной из составленной при подготовке работы модели, названной «КУПОЛ-ОБЪЕКТ» имитировался подсолевой разрез с характерными особенностями Карачаганакского карбонатного массива. В ней надверейский карбонатный комплекс (Π_1 - Π'_2) в восточной части профиля взят в увеличенной мощности.

Для западной части профиля отображено присутствие компенсационной терригенной толщи среднего карбона (P'_2 - P_2) выклинивание которой происходит в восточном направлении. В зоне выклинивания данного комплекса происходит разрастание мощности подстилающего комплекса нижнего и среднего карбона (P_2 – P''_2) и изменение его состава с терригенно-карбонатного глубоководного на карбонатный мелководный. Аналогичные изменения мощности и состава происходят и по карбонатной толще верхнего девона (P''_2 - P_3).

К сожалению, буровая и сейсмическая изученность Алтатинско-Никольской зоны поднятий невелика. По этой причине построить более достоверную сейсмогеологическую модель, с высокой степенью адекватности отражающую строение реального разреза, было невозможно.

Помимо анализа результатов стандартной обработки в ходе исследований решались также нестандартные задачи анализа эффективности полевых систем, направленные на их оптимизацию. При расчетах моделировались все типы волн (продольные, поперечные, обменные, кратные и частично-кратные), группирование источников и приемников не задавалось. Это, наряду с интерференцией волн и не полным подавлением волн-помех системой ОГТ привело к сильной зашумленности временного разреза смотрите рисунок 3.1.6. Для того чтобы ответить на вопрос можно ли добиться лучшего качества разреза за счет группирования элементов полевой интерференционной системы был реализован вариант лабораторного группирования сейсмоприемников. Задавалось группирование 15 сейсмоприемников на базе 75 м. Полученный в результате такого группирования временной разрез ОГТ, представленный на рисунке 3.1.7, отличается значительно лучшей прослеживаемостью регулярных волн. Среднеквадратичное значение отношение сигнал/помеха для надсолевого и подсолевого интервалов разреза повысилось более чем в полтора раза (анализировался интервал в пределах мульды, ПК0⁰⁰-20⁰⁰; t_0 : 0.3-2.5 с. и 2.4-4 с.). Разрешенность сейсмической записи практически не изменилась.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вновь отметим, что настоящая дипломная работа не является пионерской и ранее сейсмогеологическое моделирование условий солянокупольной тектоники выполнялась множеством специалистов (Макаркин А.А., Шестюк В.А., Ужакин Б.А. и др.). Но, прежние вычислительные эксперименты были основаны на лучевых представлениях. Целью же настоящей дипломной работы являлось полномасштабное сейсмогеологическое моделирование условий солянокупольной тектоники на базе более совершенной волновой теории. Для достижения указанной цели было решено несколько частных задач. Основная из них заключается в формировании системы тестовых данных (сейсмогеологические модели, теоретические сейсмограммы и временных разрезов ОГТ) для тестирования эффективности технико-методических приемов сейсморазведки. Приведен пример такого тестирования, основанный на вычислительном эксперименте с группированием приемников сейсмических колебаний. Ограниченное время подготовки дипломной работы не позволило проанализировать и продемонстрировать эффективность других технико-методических приемов сейсморазведки. Имея сформированные синтетические профили, сделать это не сложно. Автор дипломной работы надеется, что начатая им работа будет продолжена и разработанные модели будут способствовать повышению эффективности нефтегазопоисковых работ в сложных сейсмогеологических условиях.