

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**Прогнозирование аномально высоких пластовых давлений в различных  
геологических условиях**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студентки 4 курса 403 группы  
направление 05.03.01 геология  
геологического ф-та  
Григорьевой Алены Ивановны

Научный руководитель  
к.г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Б.А. Головин

Зав. кафедрой  
к.г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2019

**Введение.** Проблема изучения аномальных пластовых давлений в нефтегазопромысловом деле возникла давно. Интерес к ней значительно возрос, из-за того, что промышленность приступила к практическому освоению глубокозалегающих залежей нефти и газа. Большие глубины обладают значительными резервами для поисков залежей углеводородов, однако, освоение недр в условиях таких глубин сталкивается с серьезными техническими проблемами и, в первую очередь, с аномально высокими пластовыми давлениями. В настоящее время аномально высокие пластовые давления встречены практически во всех типах нефтегазоносных бассейнов и на различных глубинах.

Сложные горно-геологические условия (прежде всего аномально высокие и низкие давления, температура, различные геологические нарушения, наличие мощных толщ солевых отложений, многолетнемерзлых пород и т. п.) во многих нефтегазоносных областях затрудняют бурение, проведение геофизических работ, разработку месторождений углеводородов. И чем больше поисковых работ происходит на больших глубинах, тем очевиднее вывод: дальнейший прирост запасов углеводородов немыслим без умения осваивать залежи в зонах аномально высоких пластовых давлений.

Целью бакалаврской работы является изучение аномально пластовых давлений в различных геологических условиях.

Задачами выпускной квалификационной работы являются:

- изучение причин возникновения аномально высоких пластовых давлений;
- изучение методов прогноза аномально высоких пластовых давлений;
- проследить закономерность изменения аномально высоких пластовых давлений в северо-западной зоне бортовой части Прикаспийской впадины.

Бакалаврская работа состоит из введения, четырех разделов: Раздел 1 Общие сведения о давлениях; Раздел 2 Причины возникновения АВПД; Раздел 3 Методы прогноза АВПД; Раздел 4 Результаты прогнозирования АВПД в различных геологических условиях, а так же заключения, списка использованных.

## **Основное содержание работы. Раздел 1 «Общие сведения о давлениях».**

Пластовое давление – давление флюида (вода, нефть, газ) в пластах-коллекторах, находящихся в условиях естественного залегания.

Поровое давление – давление жидкости или газа в порах пород – неколлекторов, пород – покрышек.

Аномально высокое пластовое давление – давление флюида в поровом пространстве горной породы, превышающее условное гидростатическое давление не менее чем на 30%.

Аномально высокие давления почти всегда сопровождаются повышением пористости глин, понижением солености поровых вод, а также повышением температуры. Наряду с этим отмечается уменьшение электрического сопротивления, увеличение электропроводности и времени пробега звуковой волны, уменьшение объемного веса пород и ослабление сигналов импульсного нейтронного каротажа. Химические изменения заключаются в повышении содержания растворимого органического вещества у верхней границы зоны аномально высокого давления и увеличении концентрации сульфатных и бикарбонатных ионов в поровых водах. В зоне высокого давления концентрация сульфатных ионов в поровых водах глинистых отложений может повыситься в 2-3 раза. Концентрация сульфатных и бикарбонатных ионов в поровых водах зон аномально высокого давления выше концентрации хлоридов. В нефтяных скважинах аномально высокие пластовые давления обычно наблюдаются на глубинах более 1200 м, однако они были встречены и на глубине всего 460 м. Чаще всего аномальные давления отмечаются в молодых быстро отложившихся осадочных толщах, но могут быть обнаружены в породах практически любого возраста.

**Раздел 2 «Причины возникновения АВПД».** Природа аномально высоких пластовых давлений, механизм его образования - один из вопросов нефтяной геологии, по которому в настоящее время имеется большое количество

различных гипотез. Аномально высокие пластовые давления могут иметь различное происхождение.

Необходимым условием существования аномально высокого пластового давления и его поддержания является изолированность или полупрозрачность пласта. Поскольку породы редко бывают полностью непроницаемыми, вода, находящаяся в пласте с аномально высоким пластовым давлением, фильтруется в окружающие породы до тех пор, пока избыточное давление не снизится до гидростатического. В течение геологического времени пластовые флюиды вполне могут мигрировать через глины, несмотря на очень низкую проницаемость ( $10^{-4}$ - $10^{-11}$  мкм<sup>2</sup>). Эффективность глины как экрана зависит в основном от ее толщины и существования капиллярных каналов. Соль может служить примером идеального экрана не только из-за своей пластичности под нагрузкой, но и благодаря тому, что она практически непроницаема.

Основные причины образования аномальных давлений: уплотнение глинистых пород и связанное с ним выделение флюидов, катагенетическое преобразование пород и органического вещества, явления осмоса, вторжение высоконапорных флюидов из глубоких недр, процессы тектогенеза, геотермического расширения и другие отражают многообразие геологических условий земной коры, различие конкретных геологических условий тех или иных регионов. Величина избыточных давлений в коллекторах зависит от литологопетрографических характеристик, физических свойств этих коллекторов, от удельного объема флюидов, поступивших в коллектор из глин. Поскольку возникшее в коллекторе избыточное давление может легко перераспределяться по проницаемому пласту, возможность его сохранения и длительного существования зависит от многих параметров коллектора. Таких как его мощность, проницаемость, пористость, выдержанность, наличие гидравлической взаимосвязи с другими горизонтами и др. В замкнутых, изолированных от областей разгрузки литологически невыдержанных пластах (особенно в линзах), возникшее

АВПД, по мнению сторонников данной гипотезы, сохраняется длительное геологическое время.

Гипотезы возникновения АВПД:

- Эффект горного давления;
- Тепловое расширение воды;
- Вторичное увеличение объема залежи в зонах высоких температур;
- Тектоника;
- Соляной диапиризм;
- Аномально высокие пластовые давления в породах, богатых органическим веществом;

Таким образом, аномально высокое пластовое давление возникает под действием разных причин, но главными из них являются замкнутая линзовидная форма резервуара, ее запечатанность со всех сторон непроницаемыми породами. Несмотря на все многообразие механизмов образования АВПД, лишь немногие из них, могут рассматриваться в качестве более или менее универсальных, генерирующих АВПД в региональном масштабе. Эти же гипотезы имеют и наибольшее число сторонников.

**Раздел 3 «Методы прогноза АВПД».** Методы прогноза и оценки АВПД можно разделить на две группы:

- методы прогноза пластовых давлений до начала бурения скважин;
- методы оценки пластовых давлений в процессе бурения скважин;

К первой группе относятся метод прогнозирования по геолого-геофизическим наблюдениям за процессом уплотнения толщи осадочных пород, разработанный авторами, и методы разведочной геофизики (преимущественно сейсморазведка); ко второй - методы, основанные на наблюдениях за механическими параметрами бурового процесса, свойствами промывочной жидкости и шлама пород, а также методы геофизических исследований скважин, которые могут проводиться до окончания бурения скважины, как промежуточные исследования (например, при смене долота),

либо даже без остановки бурения с использованием специального автономного геофизического прибора.

Методы прогноза пластовых давлений до начала бурения базируются на использовании результатов разведочной геофизики и проведения аналогий.

Практически доказано, что в настоящее время сейсморазведка единственный метод разведочной геофизики, с помощью которого возможно прогнозировать глубину залегания кровли зоны АВПД и значение пластового давления. Особая ценность сейсморазведки заключается в прогнозировании АВПД до начала бурения глубоких скважин. Эти данные имеют чрезвычайно большое значение при проектировании скважины, выборе ее конструкции, позволяют производить бурение в оптимальном технологическом режиме, избегать аварийных ситуаций. Сейсмический разрез сам по себе содержит огромное количество информации. Например, по характерным признакам на сейсмическом разрезе можно выделить газоносные участки (яркие пятна), разрывные нарушения и диапиры. Нередко удается также определить примерный литологический и фациальный составы отложений и предсказать положение зон недоуплотнения.

Современные методы обработки сейсморазведочных данных могут дать целый ряд подходов к обнаружению зон аномально высокого давления. Кроме получения информации о структурах в отдельных случаях они позволяют:

- оценить интервальные скорости;
- приближенно определить литологический и фациальный составы пород в разрезе;
- получить прямые признаки углеводородов (например, методом “яркого пятна” и др.);
- определить положение верха зоны аномально высокого давления;

Методы описанные в выпускной квалификационной работе:

- Высокорастворяющая сейсморазведка (ВРС);

- Сейсморазведка на поперечных (S) волнах;
- Сейсморазведка методом отраженных волн;

Существует множество методов, с помощью которых можно обнаружить зоны аномально высокого давления в процессе бурения, такие как:

- Механическая скорость бурения;
- Плотность глинистого шлама;
- Форма и размер шлама;
- Вращающий момент на роторе и вес на крюке;
- Температура бурового раствора;
- Газирование бурового раствора;
- Удельное сопротивление или проводимость;
- Акустический каротаж. И другие методы.

**Раздел 4 «Результаты прогнозирования аномальных давлений в различных геологических условиях».** В данном разделе описаны результаты прогнозирования аномальных давлений по данным геофизических исследований скважин в ряде нефтегазоносных областей. Наряду с этим приведено краткое описание некоторых особенностей геологического строения этих областей, что позволяет судить об отложениях, слагающих изучаемые разрезы, о распределении в них пластовых давлений, а также о возможной природе образования аномальных давлений.

Нефтегазоносные области, описанные в работе: 1) Азово-Кубанская нефтегазоносная область; 2) Крымская нефтегазоносная область; 3) Терско - Сунженский нефтегазоносный район; 4) Прикаспийская нефтегазоносная область.

**Аномально высокие давления Азово-Кубанской нефтегазоносной области.** Изучение распределения пластовых давлений в Азово – Кубанской нефтегазоносной области по стратиграфическим комплексам и глубине залегания водоносных пластов показало, что в каждом стратиграфическом комплексе имеются пласты с нормально гидростатическим и аномально высоким пластовым давлением. Аномальные давления начинают проявляться с глубин 700—800 м. На глубинах ниже 4500 м аномально высокие давления преобладают.

Основные проявления anomalно высоких пластовых давлений в Азове-Кубанской нефтегазоносной области отмечаются в районах наиболее интенсивного прогибания, которым соответствуют значительные скорости накопления осадков. Кроме того, заметную роль в развитии и сохранении anomalно высоких давлений играют регионально прослеживающиеся глинистые пласты и толщи. Anomalно высокие пластовые давления обнаружены в отложениях миоценового – юрского возраста. На глубинах от 1000 до 5000 м коэффициент anomalности достигает 1.3-2.2. Большинство залежей с АВПД находятся в разрезе Западно-Кубанского прогиба, где в осевой части отмечены пластовые давления с максимальными коэффициентами anomalности. Зоны anomalных поровых давлений в данной области выделялись с помощью электрометрии, как показано на рисунке 4.1.2.1

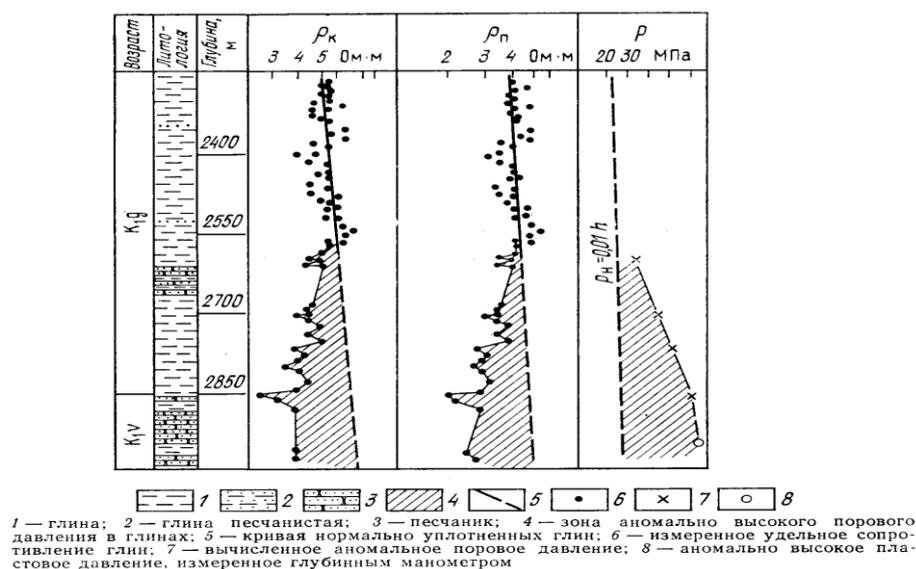


Рисунок 4.1.2.1 – Выделение глинистых покрышек с anomalно высоким поровым давлением по данным электрометрии в скв.1 Куколовской площади (Азово – Кубанская нефтегазоносная область).

**АВПД Крымской нефтегазоносной области.** В Крымской нефтегазоносной области рассматривались материалы геофизических исследований по 15 скважинам шести площадей Керченского полуострова, в которых по данным бурения отмечались проявления anomalно высоких пластовых давлений[9].

В таблице 4.2.2.1 представлены рассчитанные давления, которые сопоставлены с результатами прямых замеров манометром.

Таблица 4.2.2.1 – Результаты определения АВПоД в отложениях майкопа Крымской нефтегазоносной области

Площадь	Номер скважины	$h, м$	$p_{пор}, МПа$	$p, МПа$	$\Delta, \%$
Фонтановская	5	3308	50.75	52	-0.96
” ”	8	3228	53.25	52.9	0.7
” ”	13	3382	54.44	55	-1
Дубровская	2	2857.2	44.62	48	-7
” ”	1	3001	48.4	49	-1.2
” ”	1	3024	48.77	48.6	0.5
Красноармейская	1	2200	39.15	36.7	6.7
Горностаевская	7	3408.5	56.4	56.3	0.2
Алексеевская	5	3525	56.75	55	3.2
Слюсаревская	2	4097	69.1	73.8	-6.4
” ”	2	4186	70.6	75.3	-6.2
” ”	2	4405	72.86	78.3	-6.9

**АВПД Терско-Сунженского район.** Месторождения нефти и газа, связанные с мезозойскими отложениями, приуроченные к структурам Терско-Сунженской зоны дислокаций, характеризуются аномально высокими давлениями флюидов. Вскрываемые в этом районе разрезы разделяются на 3-5 зон, в зависимости от расположения скважины.

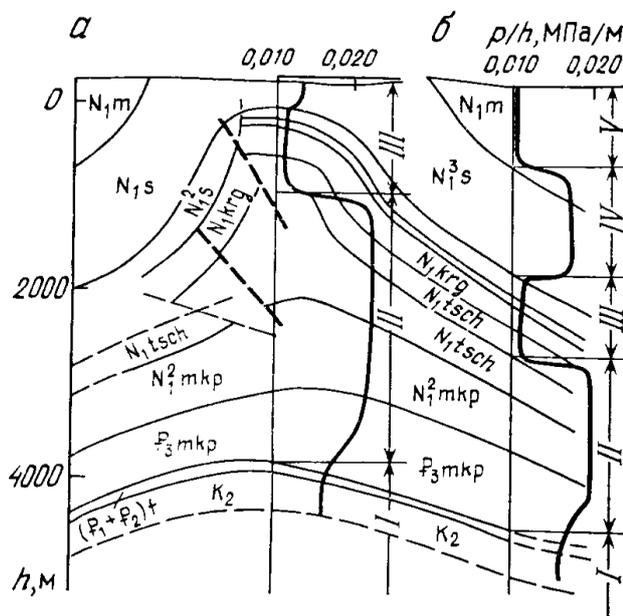
Зона *I* включает трещиноватые карбонатные породы верхнего и терригенные коллекторы нижнего мела. Для верхнемеловых залежей характерны зоны АВПД, где градиенты давлений  $1,4-1,7 \cdot 10^{-2}$  МПа/м.

Зона *II* сложена глинистой и алевроито-глинистой толщей. Поровые давления данных отложений также аномально высокие, градиенты давлений достигают  $1,6-2,3 \cdot 10^{-2}$  МПа/м.

Зона III представлена чередованием песчаников, глин и мергелей. На значительной территории Предкавказья в этих отложениях распространен инфильтрационный водообмен с отчетливо выраженными областями питания и стока подземных вод. Градиенты давлений достигают  $0,9-1,3 \cdot 10^{-2}$  МПа/м.

Зона IV охватывает глины, которые также характеризуются аномально высокими пластовыми давлениями. Градиенты давлений достигают  $1,6-1,8 \cdot 10^{-2}$  МПа/м.

Зона V представлена терригенными отложениями с нормальными пластовыми и поровыми давлениями. На рисунке 4.3.2.1 показаны данные зоны



Границы отложений: 1 — уверенные, 2 — предполагаемые; 3 — нарушения; 4 — графики изменения градиента давления по разрезу для свода структуры (а) и периклинали (б); I—V — зоны изменения градиента давления по разновозрастным отложениям

Рисунок 4.3.2.1 – Схема разделения геологических разрезов Терско-Сунженского нефтегазоносного района на зоны

В Терско-Сунженском нефтегазоносном районе объектом исследования служили верхнемеловые отложения Брагунского Октябрьского, Эльдаровского и Ястребиного месторождений. Покрышками для верхнемеловых залежей служит толща глин причем мощность ее

увеличивается с запада на восток, достигая максимальных значений (2000-2500 м) на месторождении Брагуны.

Для верхнемеловых коллекторов и их покрышек первоначально были характерны аномально высокие давления. Коэффициент аномальности достигал 1,6—1,8

**АВПД Прикаспийской нефтегазоносной области.** Существуют определенные закономерности в распределении термобарических условий отложений Прикаспийской впадины. Установлено, что общий региональный температурный фон Прикаспийской впадины увеличивается с севера на юг и с востока на запад. Аномально высокие температуры прослеживаются в районах, примыкающих к акватории Каспийского моря, где на глубинах 5000 м температура составляет 162-186°C, на глубинах 7000 м – 218-252 °С при геотермических градиентах 2,8-3,1°C/100м.

Отмечен достаточно напряженный геобарический режим подсолевых отложений Прикаспийской впадины. Если пластовые давления на поверхности докунгурских отложений равны гидростатическим, то в бортовых зонах впадины пластовые давления существенно возрастают.

Аномально-высокие пластовые давления в Саратовско-Волгоградском Поволжье связаны с терригенными отложениями девона и карбона. В региональном плане область распространения АВПД включает относительно узкую полосу, вытягивающуюся вдоль северо-западной бортовой зоны Прикаспийской впадины (Ровенско-Мокроусовский участок) и несколько расширяющуюся в юго-западном направлении, где в пределах Волгоградской области охватывает Антиповско-Щербаковскую зону погребенных поднятий.

АВПД в указанном регионе встречаются на глубинах 3100-3500 м и наиболее характерны для глубин 4000 м и более. Градиенты давлений в изученных отложениях колеблются в широких пределах. Для терригенного девона Ровенско-Мокроусовского участка бортовой зоны размах таких колебаний в разных скважинах составляет от 1,20 до 2,27. Соответственно, изменяются и величины превышения пластового давления над

гидростатическим. В отложениях терригенного девона отмечается рост градиентов давлений по мере движения в сторону внутренней части бортовой зоны Прикаспийской впадины.

**Заключение.** Несмотря на отмечаемый в последние годы беспорный прогресс в понимании особенностей аномально высокого пластового давления, на протяжении нескольких десятилетий не было никаких фундаментальных изменений в способах выявления и решения возникающих в процессе бурения проблем. Познание причин развития аномально высоких пластовых давлений, по существу, протекало на основе лабораторных исследований, в которых воспроизводились условия, довольно сильно отличающиеся от существующих на месторождении.

Как вытекает из приведенного выше обширного перечня причин возникновения аномально высоких пластовых давлений, вполне вероятно, что нарушение баланса между скоростью опускания земной коры и способностью выжимания воды из осадков является наиболее типичной из них. Главная особенность этого по существу динамического процесса — временный характер существования зон повышенного давления, сохраняющихся на протяжении ограниченного геологического времени и изменяющихся в зависимости от геологического положения. Сравнительно молодые формации, подобные дельтовым фациям, отложениям на тектонически пассивных континентальных окраинах и аккреционным телам в зонах погружения, характеризуются наиболее благоприятными условиями для развития аномально высокого пластового давления. Другие факторы, способствующие формированию такого давления (диагенез глин и сульфатов, осмотические явления, тектоническая активность и т.п.), в целом должны рассматриваться как второстепенные, хотя в течение какого-то времени могло казаться, что та или другая причина играет важную роль. В действительности несколько причин могут проявляться совместно.