

В.В. Кормильцев¹, Д.К. Нургалиев¹, В.Б. Писецкий², А.Н. Ратушняк³¹ Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург² Казанский государственный университет, г. Казань³ Уральская государственная горно-геологическая академия, г. Екатеринбург

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ОХВАТЫВАЮЩИХ ОСАДОЧНЫЙ БАСЕЙН И ФУНДАМЕНТ

Рассмотрены сверхгидростатическое давление, скорость и электрическое поле течения Дарси для флюидной системы, состоящей из деформируемых блоков фундамента, сообщающихся через нижнюю часть осадочного чехла.

Постановка задачи

В рамках гипотезы о флюидодинамическом формировании залежей углеводородов активно рассматривают проблемы поступления флюидов из фундамента в осадочный чехол (Перспективы нефтегазоносности..., 1998; Соколов, Абля, 1999). При этом полагают, что переносимые флюидом углеводороды выделяются из флюида и накапливаются в коллекторах осадочного чехла, образуя нефтегазовые залежи. В этой гипотезе есть вопросы, требующие специального рассмотрения. Во-первых, на растворенные углеводороды не действует архимедова сила, и механизм их доставки должен быть связан с конвекцией флюида в целом. Во-вторых, при низком содержании углеводородов объем перемещаемого флюида значителен, что должно иметь масштабные гидрогеологические и геологические последствия, несмотря на малую скорость течения. Попросту говоря, вытесненный из фундамента флюид нужно куда-то девать.

Существует более динамичная точка зрения на миграцию углеводородов, когда считают, что разрабатываемые залежи пополняются из фундамента в объемах, соизмеримых с извлекаемыми при добыче. Эти взгляды предполагают существование субвертикальных струй углеводородов с участием архимедовой силы и здесь не рассматриваются.

Моделирование выполнено с целью изучения скорости выноса углеводородов из фундамента с последующей аккумуляцией их в осадочном чехле в режиме сохранения динамического равновесия между притоком и естественной убылью углеводородов в уже существующей залежи. Примем проницаемость покрывки равной 10^{-22} м^2 . Меньшие значения нет смысла рассматривать, поскольку при них конвективный механизм переноса сменяется диффузионным. При этом поток углеводородов через 1 м^2 покрывки будет иметь порядок $2 \times 10^{-16} \text{ кг с}^{-1} \text{ м}^{-2}$. При содержании углеводородов 10^{-6} скорость потока флюида должен составлять приблизительно 1 мм/год . Такая скорость может быть обеспечена при относительном изменении объема порового пространства в породах фундамента порядка 10^{-8} год^{-1} при отношении сечения деформируемого объема фундамента к мощности фильтрующего пласта 10^5 м . Это обеспечивает сохранение залежи в течение нескольких миллионов лет. При меньших скоростях залежь деградирует, при более значительных — увеличивается в размерах.

Модель объекта

Основанная на этих рассуждениях модель части осадочного чехла и фундамента должна выглядеть следующим образом. На расстоянии несколько десятков километров друг от друга в мало проницаемом, мало пористом и слабо электропроводном фундаменте имеются не менее чем два крупных блока, отличающихся повышенной пористостью, проницаемостью и электропроводностью. Эти блоки подвергаются разнонаправленной деформации. В одном из них происходит сжатие, уменьшение порового пространства и вытеснение флюида из него, в другом — увеличение объема пор и поглощение флюида. Возможно, что эти блоки отражаются в структурах кровли фундамента. Например, областям растяжения соответствуют прогибы, а областям сжатия — своды. Однако для рассматриваемой модели это несущественно, и кровлю фундамента можно считать субгоризонтальной. Переток флюида из блока в блок осуществляется либо по древней дезинтегрированной коре выветривания фундамента, если таковая существует, либо в ближайших к поверхности фундамента непродуктивных коллекторах, промытых и лишенных нефти. Залегающие выше продуктивные коллектора и залежи нефти играют роль гидравлического ключа, предотвращающего горизонтальные течения за счет архимедовых сил на крыльях антиклинальных структур. Таким образом, подток углеводородов в залежь идет снизу из непродуктивных и малопродуктивных коллекторов через несовершенные водоупоры. В этой гипотезе условием сохранения залежей является наличие пачки непродуктивных коллекторов между фундаментом и основным нефтеносным горизонтом, в которой происходит конвекция глубинных флюидов. Эта часть осадочного чехла может быть аппроксимирована горизонтальной тонкой пластиной с

относительно высокими проницаемостью, электропроводностью и коэффициентом потенциала течения. Последнее предположение необходимо для того, чтобы оце-

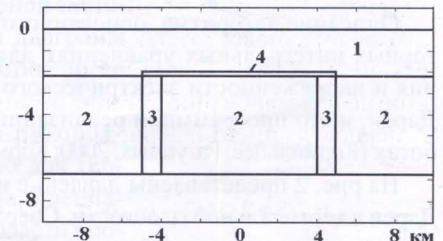


Рис. 1. Модель осадочного чехла (1) и фундамента (2), включающего деформируемые блоки (3), соединенные зоной перетока флюида (4).

нить возможности метода естественного электрического поля (ЕП) при изучении проблем фильтрации.

Использованная для расчета модель представлена на рис. 1. Здесь цифрой 1 обозначена значительная часть осадочного чехла, включающая вышележащие породы, покрывку и продуктивные горизонты, исключая непродук-

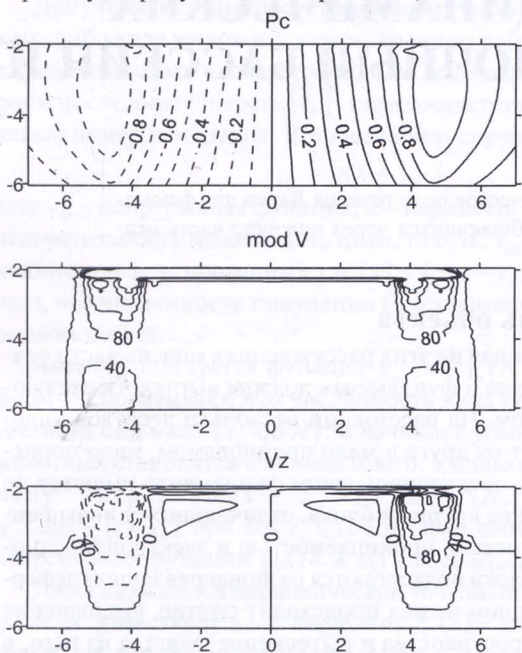


Рис. 2. Изолинии давления (P_c), модуля ($\text{mod } V$) и вертикальной составляющей (V_z) скорости течения Дарси в вертикальном сечении для модели, изображенной на рис. 1.

тивные коллекторы, расположенные ниже. Для оценки эффекта важно, что эта часть модели обладает относительно высокой электропроводностью ($10^{-2} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$) и пониженной проницаемостью ($c < 10^{-14}\text{м}^2$). Нижняя часть осадочного чехла обозначена цифрой 4 и представляет собой электропроводный ($10^{-2} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$) и проницаемый (10^{-14}м^2) тонкий пласт, обладающий к тому же повышенным значением коэффициента потенциала течения 10^{-6} В/Па . Через этот пласт, в основном, происходит обмен флюидом между деформируемыми блоками фундамента (3) с электропроводностью $10^{-2} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$ и проницаемостью 10^{-13}м^2 . Сам фундамент (2) – слабо проводящий $10^{-5} \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$ и слабо проницаемый 10^{-14}м^2 . Скорость относительной объемной деформации порового пространства принята равной $\pm 3 \times 10^{-12} \text{ год}^{-1}$, что обеспечивает протекание однонаправленного процесса деформации в течение ста тысяч лет.

Обсуждение результатов расчета

Описание алгоритма, основанного на объемных векторных интегральных уравнениях для градиента давления и напряженности электрического поля при течении Дарси, и его программной реализации содержится в работах (Кормильцев, Ратушняк, 2000; Кормильцев и др., 2000).

На рис. 2 представлены давление и скорость течения Дарси в вертикальной плоскости. Сверхгидростатическое давление, связанное с деформацией, составляет $\pm 1 \text{ МПа}$. При этом в проницаемой зоне, гидравлически связывающей деформируемые блоки, скорость горизонтального течения достигает 400 мм/год . Скорости вертикальных течений в деформируемых блоках имеют порядок $\pm 100 \text{ мм/год}$,

причем согласно рис. 2 прямой флюидообмен между блоками в практически непроницаемом фундаменте исключен. Скорости горизонтальных течений флюида будут уменьшаться на порядок при уменьшении на порядок проницаемости нижней части осадочного чехла или коэффициента объемной деформации блоков фундамента.

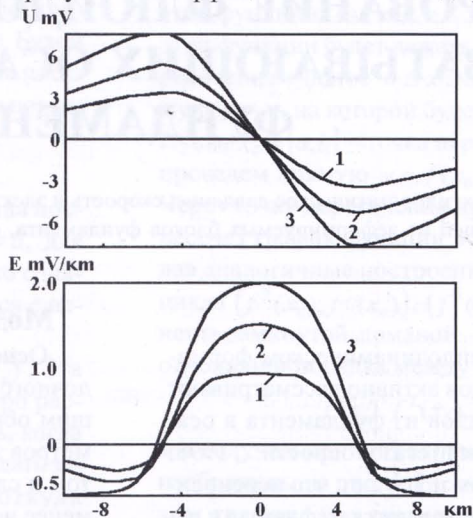


Рис. 3. Кривые потенциала (вверху) и напряженности электрического поля течения Дарси на профиле, проходящем на дневной поверхности вкрест простирания двумерной модели: 1 – кривые для модели рис. 1; 2 – в случае, когда лишь средняя часть фундамента обладает пониженной проницаемостью и электропроводностью; 3 – в случае, когда свойства фундамента приравнены к свойствам осадочного чехла.

На рис. 3 представлены расчеты электрического потенциала и напряженности при течении Дарси для профиля, расположенного на дневной поверхности. Кривая 1 соответствует модели на рис. 1. В случае кривой 2 модель видоизменена таким образом, что слабо проницаемый и плохо проводящий фундамент остался только между деформируемыми блоками. Кривая 3 – для случая, когда проницаемость и электропроводность фундамента приравнены к осадочному чехлу. Аномалия увеличивается по мере разобщения деформируемых блоков фундамента слабо проницаемыми и плохо проводящими породами и канализации потоков флюида в проницаемых блоках. При расстоянии между деформируемыми блоками фундамента 10 км напряженность электрического поля течения Дарси достигает значений 2 мВ на км , а аномалия потенциала составляет $\pm 7 \text{ мВ}$. Эти величины вполне измеримы, однако они получены при достаточно высокой скорости перетока, реальность которой может быть подвергнута сомнению. Уменьшение же скорости на порядок делает электрическое поле практически ненаблюдаемым. Скорости горизонтального течения порядка 400 мм/год в нижней части осадочного чехла должны приводить к заметным термическим аномалиям в скважинах, поскольку из фундамента поступает флюид с повышенной температурой. Поэтому для выявления структуры и скорости конвекции флюида в фундаменте и нижней части осадочного чехла наряду с наблюдением естественного электрического поля фильтрации необходимо использовать данные глубинной скважинной геотермии. Как показывают расчеты (Кормильцев, Ратушняк, 2000), скорость вертикальной фильтрации 10 мм/год уже создает заметную температурную аномалию. Сами разуплотненные высокоэлектропроводные зоны в фундаменте можно попытаться обнаружить методом магнитотеллурического зондирования. Реконструкция конвективных ячеек, захватывающих фундамент и нижнюю часть осадочного чехла, вероятно, может быть осуществлена при комплексировании данных сейсморазведки, магнитотел-

лурического зондирования, естественного электрического поля и скважинной геотермии.

С помощью сейсморазведки выявляются структурно-тектонические элементы фундамента, с помощью магнито-теллурического зондирования – флюидонасыщенные разуплотненные блоки. При ДФМ-интерпретации сейсмических данных может быть исследовано распределение сверхгидростатического давления в кровле отражающих горизонтов внутри фундамента (Писецкий, 1994). С помощью естественного электрического поля устанавливается наличие субгоризонтального течения флюида в осадочном чехле (Нургалиев, Швыдкин, 1999), а по температурным аномалиям в скважинах (Христофорова и др., 2000) оценивают направление и скорость этого течения. Такие комплексные исследования по региональным сейсмическим профилям необходимо провести для выявления конвективных систем, охватывающих осадочный бассейн и фундамент Татарстана. Рассмотренная здесь схема конвекции не является единственно возможной. Каков реальный процесс флюидного обмена, подскажет указанный выше комплекс методов.

Литература

Перспективы нефтегазоносности кристаллического фундамента на территории Татарстана и Волго-Камского региона. *Труды научно-практ. конференции, посвященной 50-летию открытия девонской нефти Ромашкинского месторождения*. Казань. 1998. 384.

Соколов Б.А., Абля Э.А. *Флюидодинамическая модель нефтегазообразования*. М., Геос, 1999. 76.

Кормильцев В.В., Ратушняк А.Н. *Моделирование геофизических полей при помощи объемных векторных интегральных уравнений*. Екатеринбург, УрО РАН, 2000. 98.

Кормильцев В.В., Писецкий В.Б., Ратушняк А.Н. Течение Дарси в деформируемом поровом пространстве. Екатеринбург, Деп. ВИНТИ №15-V00. 2000. 12.

Писецкий В.Б. Дислокационно-флюидная модель (ДФМ) осадочного чехла. *Изв. ВУЗ. Горный журнал*, № 5. 1994. 21.

Нургалиев Д.К., Швыдкин Э.К. Перспективы несейсмических методов при оценке нефтегазоносности структур. *Георесурсы*, 1.1999. 35-37.

Христофорова Н.Н., Христофоров А.В., Муслимов Р.Х. *Температура и тепловой поток в гранито-гнейсовом слое земной коры*. *Георесурсы*, № 1. 2000. 2-12.



В.Б. Писецкий



В.В. Кормильцев

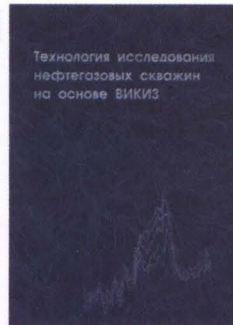


Д.К. Нургалиев



А.Н. Ратушняк

ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ ВИКИЗ



Методическое руководство

Научные редакторы:

М.И. Эпов, Ю.Н. Антонов

Новосибирск: НИЦ ОИГТМ СО
РАН, Изд-во СО РАН, 2000, 121с.

Составители:

И.Н. Ельцов, С.С. Жмаев,

А.Н. Петров, В.Н. Ульянов,

В.Н. Глинских, В.Н. Еремин,

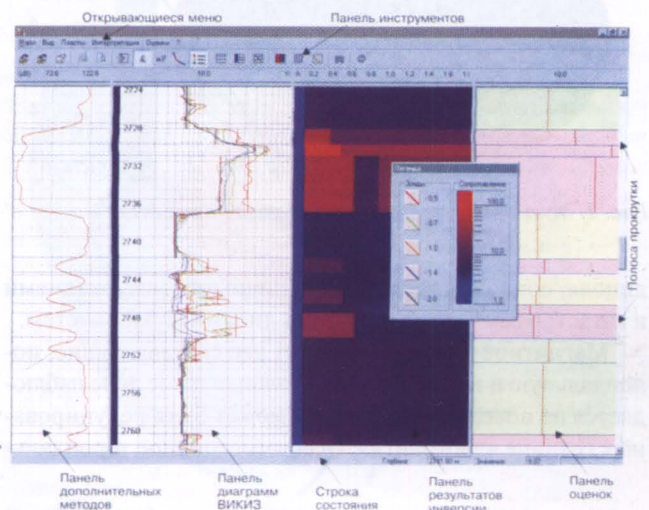
К.Н. Каюров, В.В. Киселев,

В.Т. Лаврухов, С.В. Мартаков,

М.Н. Никитенко, М.Ю. Рева,

А.Ю. Соболев, К.В. Сухорукова, А.Б. Черяку

В методическом руководстве приведены основы теории высокочастотных индукционных каротажных изопараметрических зондирований в нефтегазовых скважинах,



рассмотрен широкий круг методических вопросов применения ВИКИЗ и интерпретации диаграмм в терригенных разрезах. Проанализирован и обобщен более чем десятилетний опыт практического применения ВИКИЗ в различных районах. Приведено описание многофункциональной компьютерной системы интерпретации диаграмм и даны рекомендации по ее использованию.

Методическое руководство предназначено для геофизиков и геологов, специализирующихся в области промышленной геофизики. Книга также будет полезна студентам, аспирантам и научным работникам, интересующимся геофизическими исследованиями в скважинах.

Издание осуществлено по заказу и при поддержке Министерства топлива и энергетики Российской Федерации