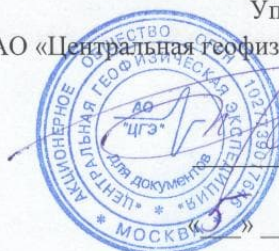


«УТВЕРЖДАЮ»

Управляющий директор  
АО «Центральная геофизическая экспедиция»  
Талипов И.Ф.



2016 г.

М.П.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию  
**Дегтерёва Антона Юрьевича**

### «ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ И КОМПЛЕКСНОЕ ГЕОЛОГО- ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА В ВОДОНОСНОМ ПЛАСТЕ»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков  
полезных ископаемых»

#### **Актуальность темы диссертации**

Подземные хранилища газа (ПХГ) играют ключевую роль в обеспечении стабильных поставок газа на экспорт и внутреннего потребления, компенсируя сезонную и пиковую неоднородность газовых поставок, а также для хранения стратегических резервов газа на случай непредвиденных ситуаций.

Наиболее распространёнными типами ПХВ являются подземные хранилища в водоносном пласте, в истощенном месторождении и солевых кавернах.

При проектировании ПХГ и дальнейшего мониторинга их функционирования традиционно используются методы моделирования. Основой для создания постоянно действующей модели залежи углеводородов является геологическая модель. Исторически для геологического моделирования ПХГ используются технология, методика и программное обеспечение, предназначенное для нефтегазовых месторождений. В основе данного подхода лежит представление о сходстве задач геологического моделирования нефтегазового месторождения и ПХГ.

Практика моделирования ПХГ позволила выявить ряд специфических особенностей, отличающих данную задачу от задачи моделирования нефтегазовых месторождений. В первую очередь, ПХГ это геолого-



технологический объект с циклической динамикой газонасыщения и системой геофизического и промыслового контроля, ориентированной на циклическую эксплуатацию хранилища.

Существующая потребность в моделях ПХГ потребовала разработки научно обоснованной технологии, методики и программных инструментов геологического моделирования, в полной мере учитывающей специфику строения и происходящих в постоянно эксплуатируемых ПХГ динамических процессов.

Важной задачей при мониторинге эксплуатации ПХГ является создание гидродинамической модели, выполненной на основе результатов геологического моделирования. Построение гидродинамических моделей не всегда позволяют учесть весь имеющийся массив данных геофизического мониторинга хранилищ. Кроме того, в отдельных ситуациях, создание и адаптация полноценных гидродинамических моделей могут быть нецелесообразны или проблематичны.

Автором диссертационной работы предложен альтернативный подход моделирования динамики газовой залежи, основанный на использовании результатов геофизического мониторинга ПХГ, т.е. использование комплексной геолого-геофизической модели ПХГ. В случае мониторинга ПХГ, результаты геолого-геофизической модели являются одним из основных источников поступления данных о фактической динамике газовой залежи. Поскольку в ряде случаев построение комплексной геолого-геофизической модели требует наличия корректной геологической модели объекта, совместное рассмотрение вопросов геологического и комплексного геолого-геофизического моделирования ПХГ в рассматриваемой диссертационной работе представляется вполне рациональным.

Значительная часть экономических и технологических решений для регулярной и непрерывной транспортировки газа связана с эксплуатацией ПХГ, создание и применение которых опирается на результаты геологического и гидродинамического моделирования хранилища. Геолого-технологические модели хранилища также активно используются при решении задач проектирования и объектного мониторинга эксплуатации ПХГ. На их основе рассчитывается распределение газа в пласте в ходе эксплуатации хранилища, оценивается эффективность различных режимов эксплуатации, разрабатываются сценарии функционирования объекта. Модели ПХГ являются ключевым элементом построения автоматизированных систем управления ПХГ, известных как «Интеллектуальные ПХГ».

Поскольку, в основе геолого-технологической модели ПХГ лежит



геологическая модель хранилища, важной практической задачей является соответствие её всему имеющемуся на настоящее время набору геолого-геофизических данных, описывающих геологическую среду естественного хранилища. Результаты диссертационной работы направлены на решение данной задачи, где автор предлагает научно обоснованную технологию геологического моделирования ПХГ, которая учитывает специфику функционирования ПХГ и особенности геолого-геофизической и промысловой информации, накопленной при разведке и мониторинге.

В работе показана принципиальная возможность реализации предложенной технологии моделирования ПХГ в существующих программных пакетах геологического моделирования нефтегазовых месторождений. Автор предложил перечень требований к новому программному обеспечению для создания геологической модели ПХГ.

В качестве практической значимости диссертационной работы следует отметить, что автор получил информацию о процессах, происходящих в ходе эксплуатации ПХГ в водоносных пластах, на основе использования массива накапливаемых при контроле эксплуатации ПХГ геофизических и промысловых данных.

Результаты диссертационной работы могут применяться при построении и экспертизе моделей ПХГ в водоносных пластах, при выполнении работ по объектному мониторингу и доразведке ПХГ. Часть предложенных автором методов может быть использована для геологического моделирования нефтегазовых месторождений и ПХГ в истощённых месторождениях.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и заключения, содержит 94 рисунка и 2 таблицы. Общий объём работы составляет 191 печатную страницу, список использованных источников включает 105 наименований отечественных и зарубежных авторов.

Во **Введении** автор знакомит с предметной областью, даёт библиографический обзор, формулирует цели и задачи исследования.

В **Главе 1** «Программные продукты трехмерного геологического и комплексного геолого-геофизического моделирования месторождений и ПХГ» приводится анализ существующего программного обеспечения (ПО) для геологического и гидродинамического моделирования залежей углеводородов. Необходимость такого анализа обусловлена тем, что в настоящее время геологическое моделирование ПХГ выполняется с использованием закрытых коммерческих программных продуктов, зачастую зарубежных, ориентированных, в первую очередь, на моделирование



нефтегазовых месторождений. Автором рассмотрены риски использования закрытых коммерческих программных продуктов, перспективы концепции свободного ПО, позволяющей снять значительную часть данных рисков, дана оценка целесообразности разработки специализированной геолого-геофизической программной платформы на принципах свободного ПО. Показано, что, несмотря на прогрессивность данного подхода, в ближайшей перспективе следует всё же ориентироваться на использование существующих коммерческих программных продуктов. Для оценки степени их пригодности для моделирования ПХГ и ответа на вопрос о целесообразности разработки специализированного программного комплекса моделирования ПХГ, предварительно необходимо выявить и систематизировать специфические аспекты моделирования ПХГ и провести анализ применимости для условий ПХГ инструментов геологического моделирования, предлагаемых существующими программными продуктами, чему посвящены соответственно Главы 2 и 3.

К замечаниям в первой главе следует отнести нецелесообразность оценки автором коммерческих программных пакетов, предназначенных для моделирования залежей углеводородов. За их работоспособность и полноту решений непосредственно отвечают компании – разработчики ПО. Кто отвечает за правильность решения свободного ПО для моделирования?

Вторым замечанием можно отнести, что автор перечисляет авторов ПО для моделирования, но этих работ нет в списке литературы.

Автор в работе привел не все существующие отечественные и зарубежные программные пакеты геологического моделирования залежей углеводородов, например, DV-SeisGeo (АО «ЦГЭ», Москва), AutoCorr (В.С. Гутман), «Недра» А.Ю. Батурин и гидродинамического моделирования - Schlumberger Eclipse, Landmark VJP, «Техсхема» (Майер, ОАО Сургутнефтегаз).

В **Главе 2** «Специфика подземных хранилищ газа, как моделируемых объектов» автором рассмотрена специфика подземных хранилищ газа, как моделируемых объектов, выделены и систематизированы специфические особенности ПХГ, требующие учёта при их геологическом моделировании. Показано, что наиболее полно данные особенности проявлены для ПХГ, созданных в водоносном пласте, чем обусловлен их выбор в качестве объекта для дальнейшего изучения корректности работы существующих инструментов геологического моделирования и разработки специализированной технологии моделирования.

Выявленные особенности пластов-коллекторов ПХГ связаны с



отсутствием первичного углеводородного заполнения, герметичностью ПХГ, литологическими особенностями, цикличностью и длительностью эксплуатации ПХГ.

Автор делает вывод об ограничении применимости площадных геофизических исследований, т.к. в случае ПХГ в водоносном пласте, из-за отсутствия первоначального углеводородного насыщения пласта коллектора, контрастные границы отсутствуют и не отображаются в геофизических полях. Разрешающая способность сейсморазведки зачастую оказывается недостаточна не только чтобы описать внутреннее строение терригенного пласта, но и достоверно определить его границу. Основным же источником информации о строении и свойствах пластов-коллекторов, покрышек и моделируемого блока недр автор считает - скважинные данные.

В тоже время, автор связывает, что модель пласта коллектора часто оказывается существенно неоднородна по представительности исходных данных: верхняя часть оказывается значительно более полно изучена и, соответственно, может быть смоделирована существенно более достоверно, чем нижняя из-за неоднородности распределения исходных скважинных данных.

В тоже время, автору работы стоит использовать сейсмические границы для геологического моделирования, которые отображают непроницаемые покрышки ПХГ, отличающиеся по отражающим свойствам от коллектора. Не отказываться от результатов сейсмической разведки при моделировании, особенно при построении структурного каркаса хранилища.

В **Главе 3** «Методы геологического моделирования ПХГ» рассмотрены основные приёмы геологического моделирования, эффективные для моделирования ПХГ. Рассмотренные приёмы охватывают все этапы геологического моделирования, начиная от подготовки исходных данных и заканчивая перемасштабированием геологической модели для выполнения гидродинамических расчетов. В частности, предложены оригинальная техника подготовки исходных геолого-геофизических, методика поддержки принятия решений при выполнении межскважинной корреляции на основе использования автоматизировано создаваемого геолого-геофизического разреза. Изучены условия применимости для геологического моделирования результатов петрофизического прогноза в поинтервальной форме, дана оценка корректности работы различных инструментов анализа данных и прогноза свойств в условиях высокой пространственной неоднородности размещения исходных геолого-геофизических данных.

Поскольку большинство предлагаемых приёмов может быть реализовано с использованием существующих в настоящее время



программных средств геологического моделирования, полученные результаты подтверждают предположение о применимости существующих программных средств геологического моделирования для моделирования ПХГ, при условии их соответствия ряду специфических требований. В то же время, указаны процедуры, применение которых может приводить к некорректным результатам моделирования, предложен оригинальный критерий оценки степени пространственной неоднородности данных, необходимый для принятия решений о применимости этих процедур.

Итогом главы являются сводные таблицы, в систематизированном виде содержащие методические приёмы решения основных специфических проблем геологического моделирования ПХГ в водоносных пластах и требования к программному продукту геологического моделирования ПХГ.

В **Главе 4** «Методы комплексного геолого-геофизического моделирования ПХГ» изучена возможность более полного вовлечения результатов геофизического мониторинга в процесс моделирования динамики газовой залежи ПХГ. При мониторинге эксплуатации ПХГ регулярно выполняется комплекс исследований ГИС-контроль, характеризующих, в частности, текущее газонасыщение прискважинной области. Хотя в случае ПХГ массив результатов ГИС-контроль является значимым источником фактических данных о динамике искусственной газовой залежи, традиционная технология моделирования допускает использование этих данных лишь для отдельных проверок получаемых результатов гидродинамического моделирования, поскольку современные гидродинамические симуляторы не позволяют использовать их в качестве исходных данных. Автором предложен альтернативный способ моделирования ПХГ, заключающийся в комплексном использовании результатов изучения геологического строения объекта и геофизического мониторинга – создание комплексной геолого-геофизической модели ПХГ.

Рассмотрены возможные подходы к построению таких моделей, возможности и ограничения данного подхода, очерчен круг решаемых с их помощью задач. В наиболее простом случае основой для построения комплексной геолого-геофизической модели может выступать уже существующая геологическая модель объекта. Важно отметить, что хотя автор рассматривает построение комплексных геолого-геофизических моделей на примере двумерного статического моделирования, потенциально подобные модели могут быть как двумерными, так и трёхмерными, как статическими, так и динамическими, что существенно расширяет круг решаемых с их помощью задач.

Автором подробно рассмотрен лишь наиболее простой способ



построения комплексных геолого-геофизических моделей — на основе уже созданной геологической модели. Повышенное внимание, уделённое автором именно этому способу, вполне понятно, учитывая, что основная часть диссертационной работы посвящена разработке методики геологического моделирования ПХГ. В то же время, наиболее полно возможности предлагаемого автором подхода могут быть раскрыты в случае построения многомерных моделей на основе многих параметров, в том числе, с использованием алгоритмов нейронных сетей. Такая возможность, хотя и была указана автором, однако не была проиллюстрирована примерами подобных моделей. Приведённые автором упрощённые модели, воспроизводящие изменчивость одного параметра на основе уже существующей геологической модели не отражают всех возможных преимуществ интерполяционного подхода, в частности — возможности находить устойчивые связи между разнородными параметрами. Остаётся надеяться, что автор продолжит исследования в данной области и в дальнейших работах продемонстрирует рабочие прототипы таких моделей.

### **Заключение.**

Отмеченные замечания не носят принципиального характера, не снижают высокой научной и практической значимости и достоверности результатов исследования диссертанта рассматриваемой работы и не ставят под сомнение компетентность автора диссертации.

Научные положения работы достаточно обоснованы и базируются на результатах всестороннего анализа значительного объёма фактического материала, накопленного автором в ходе многолетней работы в области геологического моделирования ПХГ, а также материалах математического и концептуального моделирования. Достоверность результатов исследования подтверждена опытом использования предлагаемых методик в практике геологического моделирования, выполнявшегося ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в рамках работ по проектированию и объектному мониторингу отечественных и зарубежных ПХГ, создаваемых в различных геолого-технологических условиях.

Основные результаты исследований по теме работы опубликованы в рецензируемых научных журналах, 9 из которых входят в перечень изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации.

Основные положения диссертации были заслушаны на восьми научно-практических конференциях, в том числе пяти международных.

Научные наработки автора легли в основу разработанного им учебного



курса «Геологическое моделирование ПХГ», преподаваемого им в рамках дисциплины «Компьютерное моделирование создания и эксплуатации ПХГ» на базовой кафедре «Газовые технологии и подземное хранение газа» РГУ Нефти и Газа им. Губкина.

Поставленные цели исследования соответствуют полученным результатам. Содержание автореферата в полной мере отражает содержание диссертации. Публикации автора в полной мере отражают основные научные результаты диссертации.

Считаем, что представленная диссертационная работа Дегтерёва Антона Юрьевича «Геологическое и комплексное геолого-геофизическое моделирование подземных хранилищ газа в водоносном пласте», представляет собой полностью оригинальную законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему на высоком научном уровне, в которой содержится решение научной задачи, имеющей существенную значимость для современной газовой отрасли и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в соответствии с п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности: 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Отзыв заслушан и обсужден на НТС АО «ЦГЭ» 26 августа 2016г., протокол №1.

Даем согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Главный геолог отделения геологического моделирования АО «Центральная геофизическая экспедиция», к.г.-м.н.  
тел. 8-499-192-8143,  
e-mail: Tsareva@cge.ru

С.А. Царева

Зам. начальник отделения геологического моделирования АО «Центральная геофизическая экспедиция», к.г.-м.н.,  
тел. 8-499-192-8143,  
e-mail: aainushkina@cge.ru

А.А. Инюшкина

Подписи С.А. Царевой и  
А.А.Инюшкиной заверяю.  
Начальник отдела кадров



Н.Н. Пеплова