



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР  
имени академика М.А. САДОВСКОГО  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИДГ РАН)**

Ленинский проспект, дом 38, корпус 1, Москва, 119334  
Телефон: (499) 137-66-11, факс: (499) 137-65-11  
E-mail: [geospheres@idg.chph.ras.ru](mailto:geospheres@idg.chph.ras.ru)

*10.11.2021 №125 - 01-16/215*

На № \_\_\_\_\_

«Утверждаю»

Директор Федерального государственного

бюджетного учреждения науки

Институт динамики геосфер

имени академика М.А. Садовского

Российской академии наук,

д.ф.-м.н. *С.Б. Турунтаев*

10 ноября 2021 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук о диссертационной работе **Химули Валерия Владимировича «Реологические и фильтрационные свойства горных пород в условиях сложного трехосного нагружения»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»

#### Актуальность избранной темы

В представленной работе проведено физическое моделирование процессов неравнокомпонентного деформирования пород нефтегазовых месторождений Киринское и Приразломное и низкопроницаемых пород Уренгойского ГКМ. Актуальность выбранной темы не вызывает сомнений в связи с возросшей долей разработки месторождений углеводородов со сложными механическими, реологическими и фильтрационными свойствами. Учёт ползучести пород и характера его влияния на фильтрационные свойства необходим при эксплуатации скважин, а также при планировании схем разработки. Большинство существующих работ, посвящённых ползучести, сосредоточены на изучении однородных сред, таких как металлы или полимеры. Флюидонасыщенные горные породы представляют собой более сложный объект для изучения, в связи с существенной неоднородностью механических свойств, минерального состава, структуры, возможным присутствием нескольких фаз. Это обуславливает необходимость изучения деформационных процессов в подобных сложных средах и характеризует актуальность выбранной темы диссертации.

## **Цели и задачи диссертационной работы**

В качестве основных целей диссертационной работы стоит выделить :

- определение физических параметров и условий, приводящих к «улучшению» фильтрационных свойств пород в окрестности скважин и недопущению разрушения пород в призабойной зоне;
- поиск закономерностей в характере изменения фильтрационных свойств пород при изменении неравнокомпонентного истинно трехосного напряженного состояния, а также систематизация накопленных экспериментальных данных.

Для достижения поставленных целей соискателем было проведено физическое моделирование процессов деформирования в условиях неравнокомпонентного напряженного состояния породы в окрестности скважины. Главным результатом работы можно считать создание феноменологической модели изменения проницаемости исследованных пород в процессе изучаемого неравнокомпонентного деформирования.

## **Структура диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы. Общий объем работы составляет 133 страницы, включая 39 рисунков и 8 таблиц. Список литературы содержит 99 наименований.

Во **введении** формулируются цели и задачи исследования, обосновывается их актуальность.

В **первой главе** дано описание истории и результатов экспериментальных работ по изучению деформирования различных горных пород и его влияния на их фильтрационные свойства. Представлен обзор существующих установок истинного трехосного нагружения и полученных с их помощью результатов. Дана классификация горных пород по виду реакции фильтрационных свойств на изменение напряженного состояния, предложенная в более ранних работах научного коллектива автора.

Во **второй главе** проведен теоретический анализ распределения напряжений в окрестности скважины для изучаемых в работе конструкций забоя. Рассмотрено решение задачи Ламе для однородного изотропного линейно-упругого пласта.

В **третьей главе** представлена краткая характеристика исследуемых пород, дано достаточно детальное описание экспериментальной установки и методики проведения опытов. Описаны схемы нагружения, моделирующие деформационные процессы для трёх различных конструкций забоя скважины.

В **четвёртой главе** представлены результаты наиболее показательных, с точки зрения автора, экспериментов. Опыты разделены в рамках описанной ранее классификации по виду влияния деформации на проницаемость: упругий возврат при снятии напряжений, частичное либо полное необратимое изменение, либо полное исчезновение проницаемости в процессе деформирования. На основании результатов испытаний образцов ачимовских пород Уренгойского месторождения предложена феноменологическая модель эволюции проницаемости в процессе

вязкоупругопластического деформирования. Далее приведены результаты вычисления коэффициентов корреляции радиальной деформации и проницаемости на стадиях развития ползучести, свидетельствующие о влиянии деформации ползучести на величину проницаемости. В пункте 4.4 данной главы проводится сопоставление полученных автором результатов с имеющимися в мировой практике. В перечисленных работах, аналогично рассматриваемой, делается вывод о возникновении микротрещин, как о причине возможного увеличения проницаемости при неравнокомпонентном нагружении. Далее представлены выводы и рекомендации по эксплуатации скважин и возможным способам повышения фильтрационных свойств призабойной зоны для различных типов пород.

В **заключении** перечислены основные результаты диссертационного исследования.

### **Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Экспериментальное исследование изменения фильтрационных свойств горных пород в процессе неупругого деформирования проводится не впервые, однако сложность корректной постановки подобных опытов делает каждую такую работу ценной. В данном случае исследуются достаточно сложные схемы неравнокомпонентного деформирования, моделирующие условия, возникающие на стенке скважины для трёх реально используемых конструкций забоя. Проведённые исследования легли в основу феноменологической модели изменения проницаемости пород в процессе неравнокомпонентного деформирования. Для пород данных месторождений подобный анализ проводится впервые.

### **Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов**

В работе проведено исследование достаточно обширного керна горных пород трёх месторождений. Результаты исследований легли в основу практических рекомендаций по конструкции забоя и возможным путям для увеличения фильтрационных свойств призабойной зоны в определённом типе пород. Данные рекомендации, безусловно, представляют ценность для решения задач проектирования и эксплуатации скважин при разработке запасов исследованных месторождений.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений**

Экспериментальная установка, использованная в работе развивалась и совершенствовалась коллективом автора в течение многих лет и достоверность получаемых с её помощью экспериментальных результатов не вызывает никаких сомнений. Выводы работы строятся на основании исследования достаточного по составу и количеству керна горных пород, что позволяет считать их статистически достоверными. Оценка степени достоверности выносимых на защиту научных положений существенно осложнена их нечёткой формулировкой. Так, на наш взгляд, экспериментальная методика (положение 1) не может быть вынесена на защиту в качестве научного результата, не будучи основанной на каком-то новом научном принципе. Использованная в работе

лабораторная установка была разработана без участия автора, а конкретная схема проведения опыта не является научным результатом, но служит для его получения. Сами по себе экспериментальные закономерности (положение 2) не содержат нового научного утверждения, и их достоверность не может быть установлена в результате анализа диссертационной работы. Положение 3 содержит в себе утверждение о том, что ползучесть может влиять на проницаемость пород в зависимости от характера протекающих процессов. Данный факт можно считать установленным, но он не является новым, сам автор в выводах приводит аналогичные результаты из работ других авторов. Кроме того, заплывание фильтрационных каналов и образование микротрещин не исследовалось в ходе работы, но являются предположением, пусть и достаточно достоверным. Положение 4 можно считать обоснованным. Факт того, что были сделаны некие выводы (положение 5) сам по себе также не является научным утверждением. Мы полагаем, что эти замечания могут быть отнесены к качеству оформления диссертационной работы (о чём пойдёт речь ниже), но не к её научной сути.

### **Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания**

В целом, работа производит хорошее, хотя и довольно противоречивое, впечатление. Первая глава свидетельствует о достаточной осведомлённости соискателя о современном положении в области экспериментальных исследований неоднородного напряжённого состояния горных пород. К сильным сторонам работы следует отнести экспериментальную часть. Было проведено большое количество достаточно уникальных и весьма трудоёмких опытов, имеющих прямое отношение к решению реальных и весьма актуальных задач устойчивости ствола скважины и повышения её нефтеотдачи. Проведён качественный анализ результатов экспериментов, позволивший выделить характерные стадии деформирования породы, сопровождаемые соответствующим изменением её проницаемости.

Вместе с этим к работе есть ряд замечаний.

1. Прежде всего, стоит отметить недостатки её оформления. Тексту диссертации явно не хватило редакторской работы. Некоторые части текста, например, заключительные части четвёртой главы, написаны на хорошем и понятном научном языке. Другие же, такие как введение, описание объектов исследования, больше походят на попытку наскоро скомпоновать отрывки разных текстов. Текст диссертации изобилует перегруженными речевыми оборотами, избыточными самоповторами, существенно затрудняющими его восприятие. Местами оформление выполнено небрежно. Так, формулы во второй главе оформлены с использованием как минимум 4х различных шрифтов; коэффициент Пуассона на соседних строчках в тексте и формулах обозначен разными символами (например, формула б); часто потеряны подписи на осях и легендах графика, сами графики оформлены небрежно (рис.18 и др.) и не читаемы в чёрно-белом исполнении. Огрехи в оформлении мешают восприятию работы как связанного научного труда.
2. Нечёткость и перегруженность формулировок существенно осложняет анализ вводной части диссертации. Первые три пункта из перечня целей работы не могут являться целями

научной работы: само по себе изучение не есть цель исследования. Научная новизна работы не обоснована, вместо этого представлен список полученных результатов. Нечёткость формулировок также коснулась защищаемых положений.

3. Во второй главе, посвящённой теоретическому рассмотрению изучаемого процесса, представлено решение классической задачи Ламе для однородной изотропной линейно-упругой среды. В последующей работе же основной упор сделан на деформации ползучести и её влиянии на проницаемость. На наш взгляд, в данной главе следовало бы представить обзор существующих результатов по изучению реологии горных пород, а также моделей влияния деформаций на их фильтрационные свойства. Этим вопросам посвящено множество как экспериментальных, так и теоретических работ, но в представленном исследовании про них не сказано ни слова. Сопоставление результатов проделанной экспериментальной работы с существующими моделями стресс-зависимой проницаемости существенно повысило бы их научную ценность.
4. При описании исследуемых образцов ничего не сказано про их структуру. Известно, что наличие естественной трещиноватости может существенно повлиять на характер изменения проницаемости в процессе деформирования образцов. Это особенно актуально для низкопроницаемых пород, где возможный вклад трещин в общую величину измеряемой проницаемости наиболее существенен. Данные же по УЗ просвечиванию, которые могли бы прояснить вопрос наличия трещин, представлены только для семи образцов из более чем сорока. Проводилось ли просвечивание остальных образцов? Есть ли уверенность, что наблюдаемые в работе эффекты изменения проницаемости не связаны с «игрой» уже заранее имеющихся трещин? Как соотносятся результаты исследования изотропности образцов с проявлением роста проницаемости на начальном этапе развития дилатансии?
5. Все результаты работы получены для высушенных образцов. Это существенно усложняет перенос результатов на водо- и нефтенасыщенные породы. Будут ли проявляться описанные эффекты в насыщенных породах?
6. В описываемых опытах проводилось одновременное измерение проницаемости и деформации образцов. Это сильная сторона данной работы, выгодно отличающая её от аналогичных. Очевидно, что именно деформации (а не напряжения) главным образом определяют изменение проницаемости. Но, к сожалению, в работе проводится только анализ соответствующих временных рядов, но не самой зависимости проницаемости от деформаций (за исключением вычисления коэффициента корреляции для этапов измерения ползучести).
7. В работе предложена феноменологическая модель эволюции проницаемости на основании исследования образцов пород ачимовских отложений. Однако границы применимости модели явно не обозначены. Для каких пород и при каких условиях может быть

использована данная модель? Без подобных указаний использование предложенной модели невозможно.

Указанные выше замечания не влияют на положительную оценку представленной работы. Тема диссертационного исследования соответствует заявленной специальности. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Результаты работы опубликованы в достаточном количестве работ и доложены на российских и международных конференциях и семинарах. Диссертация Химули Валерия Владимировича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи влияния неупругого деформирования на фильтрационные свойства горных пород, имеющей значение для развития механики и флюидодинамики горных пород. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

*Отзыв заслушан и обсужден на заседании объединенного семинара лабораторий «Деформационные процессы в земной коре» и «Геомеханики и флюидодинамики» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени М.А. Садовского РАН, одним из основных направлений научно-исследовательской деятельности которых являются изучение флюидодинамических и деформационных процессов в земной коре и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.*

доктор физ.-мат. наук,  
профессор



**Кочарян Геворг Грантович**

канд. физ.-мат. наук

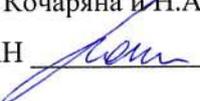


**Барышников Николай Александрович**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН),  
119334, г. Москва, Ленинский проспект, д.38, корпус 1,  
тел.: +7 (499) 1376611,  
e-mail: geospheres@idg.chph.ras.ru

*Подписавшие отзыв сотрудники согласны на обработку персональных данных и включение их в материалы, связанные с работой диссертационного совета.*

Подписи сотрудников Г.Г. Кочаряна и Н.А. Барышникова заверяю:

Ученый секретарь ИДГ РАН  (Д.Н. Локтев)