

УДК550.8ББК26.343.1

Труды V Международной геолого-геофизической конференции «ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес», Том II (III)

[сборник] г. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2022. 152 с.: ISBN 978-5-6047776-6-4

Сборник «Труды V Международной геолого-геофизической конференции «ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции и включает в себя три тома. Сборник состоит из глав, соответствующих секциям технической программы конференции.

В рамках программы обсуждались такие темы, как нефтегазовая геология и геофизика, управление и экономика геологоразведочной отрасли, искусственный интеллект в геологоразведке, общая геология, геомоделирование и разработка месторождений, рудная геология и геофизика, ГИС, петрофизика и керн, Rock Physics, инновационные технологии в фундаментальных исследованиях, инженерная геология, гидрогеология и геокриология. Традиционно большое внимание было уделено сейсмическим технологиям: проектированию и полевым сейсморазведочным работам, обработке и интерпретации сейсмических данных, морским исследованиям.

Отличительная черта конференции и сборника – комплексность обсуждаемых исследований и значительное количество докладов, авторами которых являются представители крупнейших добывающих и сервисных компаний, производителей оборудования, а также представителей государственных структур, ВУЗов и научно-исследовательских институтов и центров.

Все тезисы представлены в редакции авторов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «ГеоЕвразия».

ООО «ПолиПРЕСС»
170041, Россия,
г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 7, пом. II
polypress@yandex.ru

ООО «ГеоЕвразия».
117198, Россия,
г. Москва, ул. Островитянова, д. 5, корп. 2, кв. 100
info@geoearu.com
www.geoearu.com

Все права на издание принадлежат
ООО «ГеоЕвразия».

© ООО «ГеоЕвразия», 2022
© ООО «ПолиПРЕСС», 2022

Том II (III) / Volume II (III)

Оглавление / Contents

Программа конференции/ Conference programme

Тезисы/ Abstracts

Петроупругое моделирование. Устные доклады.

Роль учета внутреннего строения пород при построении их петроупругих моделей

Баюк И.О.....24-26

Петрофизическое моделирование пород доманиковой формации как основа интерпретации сейсмических данных

Окуневич В.С.....27-30

Физическое моделирование распространения волн в пористых средах: первые результаты по реализации метода темного поля

Манаков С.А., Лебедев А.В., Дубовой Д.В......31-34

Изучение взаимосвязи упругих и емкостных параметров карбонатных пород с применением теории эффективных сред

Зиганшин Э.Р., Быстров Е.С., Гильфанов С.И., Маркосян М.Г.35-38

Построение моделей эффективных вязкоупругих свойств пород доманиковой свиты с целью совместной интерпретации скоростей упругих волн и затухания

Дамянович Д.И.....39-43

Особенности моделирования эффективных упругих свойств карбонатных пород: учёт пустотного пространства и неопределённости моделей

Березина И.А.44-47

О факторах, определяющих хрупкость горных пород

Дубиня Н.В., Баюк И.О., Бахмач М.М......48-50

Численное моделирование поведения пороупругопластического искусственного материала в процессе проведения ГРП

Гребенщикова Е.М., Начев В.А.51-54

Подход петроупругого моделирования для терригенных битумонасыщенных песчаников

Ячменёва Е.А.55-57

ГИС, петрофизика и керн и пластовые флюиды. Устные доклады.

Автоматическая система оценки погрешностей результатов определения относительного угла падения пластов и трещин по данным сканирующих геофизических приборов

Андреев Е.А., Сребродольская М.А.59-61

Обоснование необходимости учета способов бурения при расчете фактической траектории горизонтальных скважин

<u>Блоцкая А.И., Сребродольская М.А.</u>	62-64
Изучение влияния трещин на проницаемость горных пород	
<u>Жуков В.С., Моторыгин В.В.</u>	65-69
Опыт разработки алгоритмов автоматической интерпретации данных ГИС	
<u>Орлов Д.М., Мешалкин Ю.Е., Гайнитдинов Б.А., Коротеев Д.А.</u>	70-73
Количественный анализ томографических изображений геологических кернов с помощью методов интегральной геометрии и топологии	
<u>Ивонин Д.А.</u>	74-78
Состав комплекса обменных катионов как маркер изменения условий осадконакопления (на примере отложений БАК Средне-Назымского месторождения)	
<u>Бажанова А.Е., Данилин И.В., Попов Е.Ю., Богданович Н.Н.</u>	79-81
Площадное распределение трещинных коллекторов на Чаяндинском месторождении	
<u>Жуков В.С., Моторыгин В.В.</u>	82-85

Фундаментальные исследования. Устные доклады.

Сейсмические регистрирующие системы для сейсморазведки и мониторинга на основе фундаментальных решений в области фотоники и молекулярной электроники	
<u>Тихоцкий С.А., Кислер Д.С., Фомичев С.В., Головин С.В., Мельников И.В., Разин А.Ю.</u>	87-89
Резонансная акустическая спектроскопия как метод исследования физических характеристик горных пород	
<u>Лебедев А.В., Манаков С.А.</u>	90-93
Сравнение различных подходов к обработке данных в пассивной сейсмической томографии	
<u>Манаков С.А., Лебедев А.В.</u>	94-97
Новый метод реконструкции источников потенциального поля на неструктурных сетках	
<u>Маловичко М.С.</u>	98-101
Взаимодействие фильтрационного потока с препятствием	
<u>Торрес М.Т., Беляков Г.В., Таирова А.А., Юдочкин Н.А.</u>	102-103
Моделирование нестационарных течений вязкой жидкости в поровом пространстве горных пород	
<u>Гондюл Е.А., Лисица В.В.</u>	104-105
Физическая модель шума фильтрации: сопоставление измерений шума фильтрации с теоретическими оценками	
<u>Лебедев А.В.</u>	106-108
Модель Бюргерса для описания вязкоупругого поведения горных пород: от решения до программной реализации	
<u>Федоров А.И.</u>	109-111

Неупругое деформирование горных пород: некоторые новые экспериментальные и теоретические результаты и возможные практические следствия

Дубиня Н.В., Тихоцкая О.А., Тихоцкий С.А., Фокин И.В.112-114

Сеточно-характеристический метод в задачах сейсмической разведки

Голубев В.И.115-117

О подходах к моделированию трещиноватых неоднородностей на структурных сетках с их явным выделением

Хохлов Н.И.118-120

Исследование температурных полей в неоднородных по проницаемости пластах

Сулейманова М.Д., Шарафутдинов Р.Ф.121-124

Потоковое определение компонентного состава и наличия хлорорганических соединений в нефтепродуктах

Столяров В.Е., Пахомов А.Л., Чудин Е.А.125-128

Инновационные технологии. Устные доклады.

Создание и проверка модели экспресс-классификации керна как средство быстрой оценки перспективности месторождения

Барабошкин Е.Е., Демидов А.Е., Орлов Д.М., Коротеев Д.А.130-133

Природный водород Сибирской платформы: перспективы, поиски и разведка

Пастухов Н.П., Михайлов М.С.134-137

Эволюция нейронных сетей применительно к геологоразведке

Мифтахов Р.Ф.138-141

Молодежная сессия.

Инженерная гравиметрия

Боровская Е.П., Фадеев А.А., Трубка С.С., Кувинов А.В.143-145

Методика высокоточных гравиразведочных работ

Трубка С.С., Фадеев А.А., Боровская Е.П.146-147

Галогены в поровых водах Ачимовской свиты

Семанова А.С., Казак Е.С.148-149

Исследование структуры отложений Южно-калифорнийского моря по данным высокоразрешающего и сверхвысокоразрешающего сейсмического профилирования

Ли Гогуй, Гайнанов В.Г.150-152

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИН НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Жуков Виталий Семенович¹, Моторыгин Владимир Владимирович²¹ ФГБУН Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН,² Филиал «Апрелевское отделение ВНИГНИ» ФГБУ ВНИГНИ

Как известно, проницаемость – это способность горных пород, пропускать флюиды (газ, жидкость и их смеси) через себя при наличии перепада давления этих флюидов [Кобранова, 1986]. Величина проницаемости зависит от размеров поровых каналов, состоящих из пор и трещин, и особенностей их структуры. Изменения напряженного состояния горных пород оказывают значимое влияние на их пористость и проницаемость. Отметим, что в большинстве случаев разработка месторождений углеводородов вызывает снижение пластового давления и рост эффективного давления, что, приводит к снижению дебитов скважин, которое очевидно обусловлено снижением величины проницаемости коллекторов нефти и газа.

Межзерновая проницаемость. Зависимость коэффициента проницаемости $K_{пр}$ от коэффициента пористости m наиболее полно описывается аналитическими уравнениями Козени - Кармана и Пуазейля, описывающими фильтрацию жидкости в трубках различной формы и сечения, и дает аналитическую зависимость проницаемости сухих образцов горных пород от пористости в кубе. Проницаемость при этом будет зависеть от радиуса r поровых каналов. Из уравнений Дарси и Пуазейля для идеальной пористой среды можно получить взаимосвязь проницаемости и пористости: $K_{пр} = r^2/8$ или, выражая r в см, получим: $K_{пр_{мз}} = 12,5 \cdot 10^6 \cdot r^2$. В работе [Котяхов, 1977] для оценки эффективного радиуса реальных горных пород предложено учитывать структурный коэффициент f , описывающий извилистость порового пространства, который можно получить, используя данные измерений электрического сопротивления горных пород. Ранее авторами [Жуков, Моторыгин, 2019] было предложено выражение (1), которое позволяет оценить зависимость межзерновой проницаемости $K_{пр_{мз}}$ от радиуса $R_{эф}$ одного эквивалентного канала фильтрации с привлечением данных о электрическом сопротивлении образца: $K_{пр_{мз}} = f \cdot 12,5 \cdot 10^6 \cdot R_{эф}^2$ (1), и сравнить её с фактическими величинами проницаемости.

Трещинная проницаемость. Открытые трещины в природных трещиноватых коллекторах обычно имеют более высокую проницаемость чем межзерновая матрица, создавая каналы потока флюидов в горной породе. Скорость потока через узкую трещину может быть рассчитана по закону Лэмба. Тогда проницаемость одной трещины составляет: $K_{пр_{тр}} = W^2/12$. Но в этом уравнении не учитывается шероховатость берегов естественных трещин. Эффективная проницаемость в трещиноватом твердом кубе по [Heinemann, Mittermeir, 2014], составляет: $K_{пр_{эф}} = K_{пр_{тр}} \cdot W/a$, где W - раскрытие (ширина, апертура) трещины, a – длина, высота кубического образца; $W/a = m_{тр}$ - пористость трещины. Следовательно эффективная трещинная проницаемость пропорциональна кубу раскрытия (апертуры) трещины W : $K_{пр_{тр}} \sim W^3$ (2). Если межзерновая матрица также проницаема, то общая эффективная проницаемость равна: $K_{пр_{эф}} = K_{пр_{тр}} + K_{пр_{мз}}$, что справедливо, если $m_{тр} \ll 1$.

Следует принять во внимание, что вышеприведенные уравнения не могут быть использованы для реальных трещин в пористых породах, так как они справедливы только для установившегося, изотермического, ламинарного потока между параллельными стеклянными пластинами. Однако, в горных породах проницаемость трещины, как и пористость трещины, сильно зависит от масштаба [Aguilera, 1980]. В.Н. Кобранова [Кобранова, 1986] считала, что для расчета коэффициента трещинной проницаемости ($K_{пр_{тр}}$) сухих образцов может быть использована формула без учета остаточной водонасыщенности: $K_{пр_{тр}} = 8,45 \cdot 10^6 \cdot m_{тр} \cdot W^2$ (3).

Ранее авторы [Жуков, Моторыгин, 2019] предложили заменить все трещины одной эффективной трещиной, пересекающей весь образец. Раскрытие этой трещины W , а ее длина $d/2$, равна половине характерного размера (d - диаметра или длины) образца. Основано это на том, что при длине трещины более половины образца он неминуемо разрушится. Тогда $W = m_{\text{тр}} \frac{\pi d}{2}$. Таким образом, зная величину трещинной пористости образца и его размеры с учетом принятых допущений можно грубо оценить величину апертуры (раскрытости) одной эффективной трещины, эквивалентной объёму трещинной пористости образца.

Исходя из уравнения (2) [Heinemann, Mittermeir, 2014] получено простое соотношение между пористостью трещин и их проницаемостью: $m_i / m_0 = (k_i / k_0)^{1/3}$ (4). Уравнение (4) строго справедливо только для плотной матрицы, где подстрочный индекс 0 обозначает значение переменной в начальном состоянии, а индекс i обозначает текущее значение пористости и проницаемости трещин. Нормализация, т.е. нормирование текущих величин пористости и проницаемости трещин на их начальные величины в уравнении (4) обобщает выражение, выведенное из плоской модели. Предполагая, что геометрия трещиноватой среды должна оставаться относительно постоянной при сжатии, можно предположить, что уравнение (4) применимо к реальным горным породам, когда изменяется только раскрытие трещин.

Экспериментальные исследования.

Многочисленные исследования зависимости проницаемости от пористости и изменениях эффективного или пластового давления выполнялись в основном на образцах с межзерновой (или гранулярной) пористостью [Добрынин, 1970; Жуков, 2002; Тиаб, Доналдсон, 2012; Жуков, Моторыгин, 2016; Жуков, Моторыгин, 2019]. Исследования горных пород, обладающих высокими значениями трещинной пористости, имели ограниченный характер, хотя известно, что они деформируются при этом гораздо сильнее, чем породы с межзерновой пористостью [Добрынин, 1970; Николаевский и др., 1970]. Используемая нами методика определения трещинной пористости подробно описана в работах [Жуков, 2012; Жуков, 2014; Жуков, Кузьмин, 2020] и основана на предварительном определении общей пористости и скорости продольной волны как в горной породе, так и в ее минеральном скелете.

Полученные нами по методике [Жуков, Люгай, 2016] и опубликованные экспериментальные данные приводились к единым значениям эффективного давления в зависимости от всестороннего сжатия и порового давления. Для сопоставления образцов с различной начальной проницаемостью и сопоставления относительных изменений проницаемости, независимо от проницаемости в атмосферных условиях были использованы значения нормированной проницаемости. Для этого значения проницаемости каждого из образцов при различных эффективных давлениях были нами нормированы (разделены) на величину его проницаемости в атмосферных условиях и построены зависимости от эффективного давления [Жуков, 2019]: $K_{\text{прпл}} / K_{\text{пратм}} = A \cdot P_{\text{эф}}^{-B}$ (5), где A - величина близкая к единице по определению, и на неё влияет как точность определения проницаемости, так и то, насколько сильно изменяется проницаемость при начальных изменениях эффективного давления, 1/МПа; $P_{\text{эф}}$ - эффективное давление, МПа, B - показатель степени при $P_{\text{эф}}$, коэффициент, отражающий влияние структуры порового пространства на проницаемость.

Исследование образцов гранита с преобладанием трещинной пористости. Гранит практически не имеет межзерновой пористости и его проницаемость обусловлена только трещинами. Данные об изменениях проницаемости образцов гранита *Barre* в процессе увеличения (нагрузка) и снижения (разгрузка) давления всестороннего сжатия при трех фиксированных значениях порового давления 10, 20 и 30 МПа приводятся в работе [Bernabe, 1986]. Полученные зависимости изменений нормированной проницаемости от эффективного давления для трещиноватых образцов гранита *Barre* [Жуков, 2019] показали, что, величина

коэффициента B изменяется от -1,233 до -1,478, что можно считать, в первом приближении, оценкой величины коэффициента B для чисто трещинных пород.

Образцы песчаника с преобладанием межзерновой пористости. В качестве пород, наиболее точно отражающих особенности межзерновой пористости, нами исследован керн, из одной из скважин Семаковского месторождения, пробуренной на сеноманские отложения [Жуков, Моторыгин, 2019]. Однако фактическая зависимость проницаемости от пористости не совпадает с теоретическими предпосылками для горных пород, имеющих только межзерновую пористость. Для каждого образца по формулам (1) и (3) были рассчитаны значения межзерновой и трещинной проницаемости и их суммы сопоставлены с фактическими данными, которые показали хорошее согласие расчетных и фактических данных проницаемости. Выявлено, что главную роль играет межзерновая проницаемость, а трещинная проницаемость в этом случае не превышает 26 мД, или 25 % от общей проницаемости. И только для трех образцов, имеющих трещинную пористость более 0,6 % в атмосферных условиях и более 0,5 % в пластовых условиях трещинная проницаемость достигала 80 мД, или 85 % общей проницаемости этих образцов. Сопоставление зависимостей нормированной проницаемости от эффективного давления для образцов с наибольшими и наименьшими величинами межзерновой и трещинной пористости [Жуков, Моторыгин, 2019] выявило две группы образцов. Для группы образцов с наибольшей межзерновой пористостью коэффициент B изменяется от -0,137 до -0,280. А для группы с наибольшими величинами трещинной пористости этот коэффициент изменяется в пределах -0,397 до -0,836.

Образцы песчаника со смешанной пористостью. В качестве пород, содержащих и межзерновую и трещинную пористость, нами исследован керн, пробуренной на отложения вендского возраста. Исследованные песчаники и алевролиты вендского возраста, отобранные из одной из скважин Чаяндинского месторождения содержали и межзерновую и трещинную пористость [Жуков, Моторыгин, 2016]. Применимость уравнений (1) и (3) для расчета межзерновой и трещинной проницаемости рассмотрено на примере результатов исследования керна из одной из скважин Чаяндинского месторождения [Жуков, Моторыгин, 2019] и показывает удовлетворительное соответствие между ними. Выявлено, что для песчаников вендского возраста главную роль играет межзерновая проницаемость, а трещинная компонента проницаемости не превышает 25 мД, или 33 % от фактической проницаемости. И только для пяти образцов, имеющих трещинную пористость более 0,5%, трещинная проницаемость составляет 27...44 мД, или 42...80 % общей проницаемости этих образцов. Значения проницаемости каждого из 298 образцов из трех горизонтов при различных эффективных давлениях были нормированы на величину его проницаемости в атмосферных условиях и получены зависимости нормированной проницаемости от эффективного давления [Жуков, Моторыгин, 2021]. Влияние трещинной пористости на изменения проницаемости при увеличении эффективного давления оценивалось для каждого горизонта путем сопоставления изменений нормированной проницаемости для двух групп образцов: с наибольшими величинами межзерновой пористости и с наибольшими величинами трещинной пористости. Для образцов, обладавших значительной трещинной пористостью (>0,50%), эмпирические зависимости проницаемости от эффективного давления показали, что коэффициент B , отражающий влияние структуры пористости на проницаемость (5), изменяется в диапазоне -0,48...-1,42. В то же время, для образцов с преобладанием межзерновой пористости (>7,5%) этот коэффициент в десятки раз меньше: -0,033...-0,065. Ранее в работах [Пименов и др, 2016; Жуков, Чуриков, Моторыгин, 2017; Жуков, 2010] было отмечено, что рост эффективного давления вызывает изменение структуры порового пространства, заключающееся в уменьшении величины как межзерновой, так и трещинной пористости. Можно предположить, что для образцов с

величиной коэффициента B больше $-1,00$ преобладающим механизмом фильтрации будет фильтрация по трещинам. В случае не взаимосвязанных трещин можно ожидать значительного снижения проницаемости и снижения дебитов при разработке месторождения, а при объединении трещин возможен рост дебитов скважин.

Сопоставление нормированной пористости и проницаемости. Используя простое соотношение между нормированной пористостью и проницаемостью, по аналогии с уравнением (4) получена предсказанная этим уравнением зависимость для трещинной пористости и проницаемости (рис.1). Аналогичные зависимости для общей пористости и проницаемости имеют низкую достоверность аппроксимации. Таким образом, что геометрия трещин в образцах возможно остается относительно постоянной при увеличении эффективного давления и, можно предположить, что уравнение (4) может быть применимо к реальности, когда трещины неоднородны, извилисты и пересекаются, а изменяется только их раскрытие. Так результаты расчетов показали, что средняя величина раскрытия трещин уменьшилась с $0,019$ до $0,012$ см для сеноманских и с $0,036$ до $0,018$ см для вендских песчаников при переходе от атмосферных условий к условиям, моделирующим пластовые.

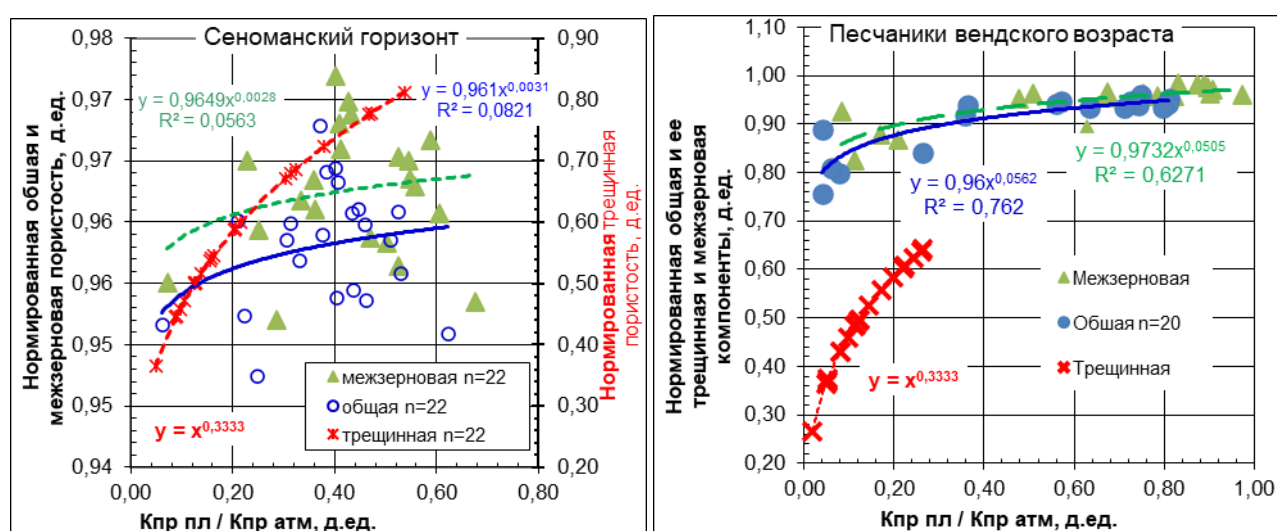


Рис. 12. Зависимость нормированной пористости и межзерновой и трещинной ее компонент от нормированной проницаемости и межзерновой и трещинной ее компонент песчаников сеноманского возраста Семаковского и вендского возраста Чаяндынского месторождений в атмосферных условиях и при моделировании пластовых условий

Заключение.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что межзерновая и трещинная компоненты пористости оказывают существенно различное влияние на проницаемость горных пород, что явно проявляется в процессе роста эффективного давления. Экспериментально выявлено, что изменения трещинной пористости значительно сильнее снижают проницаемость горных пород чем, отмеченные в то же время, изменения межзерновой пористости. Показана возможность оценки межзерновой и трещинной проницаемости, используя уравнения (1) и (3), учитывающие результаты определения электрических и акустических параметров горных пород. На примере песчаников вендского и сеноманского возрастов выявлены отличия в характере влияния межзерновой и трещинной компонент пористости на проницаемость, и установлено, что определяющую роль в формировании проницаемости играет межзерновая проницаемость, а трещинная проницаемость имеет второстепенное значение. Применение полученных данных об различном характере изменений межзерновой и трещинной компонент проницаемости и

пористости, во время снижения пластового давления при добыче нефти и газа, может быть использовано для повышения эффективности разработки месторождений углеводородов.

Список литературы

1. Добрынин В.М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа. - М.: Недра. 1970. – 239 с.
2. Жуков В.С. Динамика физико-механических свойств горных пород (динамическая петрофизика) // Горный информационно-аналитический бюллетень - 2002. №9. - С.59-63.
3. Жуков В.С. Оценка изменений физических свойств коллекторов, вызванных разработкой месторождений нефти и газа // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 6. – С. 341-349
4. Жуков В.С. Патент РФ № 2516392, 13.09.2012. Способ определения трещинной пористости.
5. Жуков В.С. Влияние трещинной пустотности на проницаемость горных пород при росте эффективного давления // В сборнике научных трудов конференции: «Новые идеи в геологии нефти и газа-2019», отв. редактор А.В. Ступакова. М.: Изд-во «Перо». 2019. - С. 179-184.
6. Жуков В.С. Кузьмин Ю.О. Экспериментальные исследования влияния трещиноватости горных пород и модельных материалов на скорость распространения продольной волны // Физика Земли. – 2020. – № 4. – С. 39-50. – DOI 10.31857/S0002333720040109.
7. Жуков В.С. Люгай Д.В. Определение фильтрационно-емкостных и упругих свойств и электрических параметров образцов горных пород при моделировании пластовых условий: учебное пособие. М. «Газпром ВНИИГАЗ». 2018. – 56 с.
8. Жуков В.С. Моторыгин В.В. Влияние различных видов пористости на фильтрационно-емкостные свойства коллекторов (на примере Чаяндинского месторождения) // Научно-технический сборник «Вести газовой науки» – 2016, № 1 (25). – С. 63–67.
9. Жуков В.С., Моторыгин В.В. Влияние межзерновой пористости и трещинной пустотности на проницаемость / Научно-технический сборник «Вести газовой науки» 2019, №1(38) - С. 82-88.
10. Жуков В.С. Моторыгин В.В. Проницаемость горных пород с трещинной пустотностью при росте эффективного давления // В сборнике научных трудов конференции: «Новые идеи в геологии нефти и газа-2021», отв. редактор А.В. Ступакова. М.: Изд-во «Перо». 2021. - С. 1-5.
11. Жуков В.С., Чуриков Ю.М., Моторыгин В.В. Изменения структуры порового пространства коллекторов дагинского горизонта при моделировании пластовых условий // Научно-технический сборник «Вести газовой науки» №3 (31), 2017. – С. 238-246
12. Кобранова В.Н. Петрофизика. Учебник для вузов. – 2-е изд., доп. - М.: Недра, 1986 – 392 с.
13. Котяхов Ф.И. Физика нефтяных и газовых коллекторов. М.: «Недра», 1977, - 287 с.
14. Николаевский В.Н. Басниев К.С., Горбунов А.Т., Зотов Г.А. Механика насыщенных пористых сред. – М.: Недра, 1970. – С. 339.
15. Тиаб Дж., Доналдсон Эрл Ч. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов / Перевод с английского, -2-е издание – М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2011. – 868 с.
16. Пименов Ю.Г., Абросимов А.А., Жуков В.С., Моторыгин В.В. Структура порового пространства различных видов пористости талахского горизонта // Газовая промышленность - 2016, №5-6, - С. 56-59.
17. Aguilera R. Naturally Fractured Reservoirs / Tulsa, Oklahoma: Penn Well Books. – 1980. - 521 p
18. Bernabe Y. Permeability and Pore Structure of Rocks under Pressure. Chapter 2. The effective pressure law for permeability in Chelmsford granite and Barre granite. – Диссертация на соискание степени доктора философии по Геофизике. - Massachusetts Institute of Technology. 1986. – 156 p.
19. Heinemann Z.E. and Mittermeir G. Natural Fractured Reservoir Engineering / Tehran, Leoben: Iran University of Science and Technology, University of Miskolc. - 2014. – 148 P.