

УДК 530.122.5+531.51
DOI: 10.18799/24131830/2025/10/4894
Шифр специальности ВАК: 1.6.11
Научная статья



Проблемы исследования гравитации и антигравитации пластовых систем

Ю.Е. Катанов✉, А.К. Ягафаров

Тюменский индустриальный университет, Россия, г. Тюмень

✉katanov-juri@rambler.ru

Аннотация. Актуальность. Вопросы формирования и размещения месторождений тяжелых и вязких нефтей не являются сугубо отдельной проблемой в геологии. Историю возникновения этого типа углеводородов нельзя оторвать от процесса нефтеобразования. Согласно теории биогенного происхождения углеводородов, легкие, средние, тяжелые и сверхтяжелые нефти формируются из органического вещества в природе. Возможен, в определенных геологических условиях, и абиогенный синтез, но подавляющая часть месторождений нефти и газа с высокой степенью обоснованности является продуктами преобразования остатков органического вещества в горных осадочных породах. Именно изучение этих материалов дает возможность получать положительные результаты в процессе поисково-разведочных работ. Естественно, основные положения биогенного синтеза углеводородов позволяют сформулировать целый ряд постулатов, которые не вызывают сомнений у сторонников различных взглядов на генезис флюидов в природе. К числу таких постулатов, в рамках биогенного синтеза углеводородов (гравитационная теория формирования залежей углеводородов), можно отнести следующие: существование в земной коре газовой, жидкой и твердой фаз углеводородов; закономерное гравитационное распределение в осадочной толще жидких фаз флюидов и газа за счет архимедовой силы, направленной вверх, с участием сил поверхностного натяжения на фазовых контактах, при неподвижности в недрах твердых углеводородов; миграцию (с образованием залежей жидких и газообразных углеводородов), происходящую в виде различных форм передвижения флюидов, с подчинением законам механики при диффузии и фильтрации через первичные и вторичные поры в горных породах. **Цель:** изучить условия формирования и влияние антигравитационного поля на фильтрационно-емкостные характеристики пластовых систем. **Объекты:** продуктивные отложения Покурской свиты. **Методы.** Разработанная концепция исследования гравитации и антигравитации пластовых систем базируется на изучении электромагнитных характеристик горных пород; исследование влияния антигравитационного поля на возможность извлечения высоковязких флюидов из низкопроницаемых пород-коллекторов выполнено с учетом постулатов квантовой механики и квантовой гравитации. **Результаты.** Определено, что движущей силой при извлечении высоковязких флюидов является не скорость движения фильтрационного потока, а квантово-механический импульс системы «пласт-флюид». Для разработанного методического подхода к исследованию антигравитации пластовых систем интерпретирована семантическая основа постулатов квантовой механики и квантовой гравитации.

Ключевые слова: антигравитация, пластовая энергия, анизотропия, декогеренция, атом, притяжение, нефть, пласт

Для цитирования: Катанов Ю.Е., Ягафаров А.К. Проблемы исследования гравитации и антигравитации пластовых систем // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 10. – С. 99–111. DOI: 10.18799/24131830/2025/10/4894

UDC 530.122.5+531.51
DOI: 10.18799/24131830/2025/10/4894
Scientific paper



Challenges in studying gravity and antigravity of reservoir systems

Yu.E. Katanov✉, A.K. Yagafarov

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

✉katanov-juri@rambler.ru

Abstract. Relevance. The formation and distribution of heavy and viscous oil deposits are not a strictly isolated issue in geology. The genesis of this type of hydrocarbons cannot be separated from the process of petroleum formation. According to the theory of biogenic hydrocarbon origin, light, medium, heavy, and ultra-heavy oils are formed from organic matter in nature. Abiogenic synthesis is also possible under certain geological conditions, but the vast majority of oil and gas deposits, with a high degree of validity, are products of the transformation of organic matter residues in sedimentary rocks. The study of these materials is essential for achieving positive results in prospecting and exploration work. Naturally, the fundamental principles of biogenic hydrocarbon synthesis allow for the formulation of several postulates that are not doubted by proponents of various views on the genesis of natural fluids. Among such postulates, within the framework of biogenic hydrocarbon synthesis (gravitational theory of hydrocarbon deposit formation), the following can be identified: the existence in the Earth's crust of gas, liquid, and solid hydrocarbon phases; the systematic gravitational distribution of liquid fluids and gases in the sedimentary strata due to Archimedean forces acting upward, with the participation of surface tension forces at phase interfaces, while solid hydrocarbons remain immobile in the subsurface; migration (leading to the formation of liquid and gaseous hydrocarbon accumulations), occurring in various forms of fluid movement, subject to mechanical laws during diffusion and filtration through primary and secondary pores in rocks. **Aim.** To study the conditions of formation and the effect of the antigravity field on the filtration-capacity characteristics of reservoir systems. **Objects.** Productive sediments of the Pokur Formation. **Methods.** The developed concept of the study of gravity and antigravity in reservoir systems is based on the research of electromagnetic characteristics of rocks; the study of the antigravity field effect on the possibility of extracting high-viscosity fluids from low-permeability reservoir rocks is conducted taking into account the postulates of quantum mechanics and quantum gravity. **Results.** It was determined that the driving force in the extraction of highly viscous fluids is the quantum-mechanical momentum of the "reservoir-fluid" system rather than the velocity of the filtration flow. For the developed methodical approach to the study of antigravity in reservoir systems, the semantic basis of the postulates of quantum mechanics and quantum gravity has been interpreted.

Keywords: antigravity, formation energy, anisotropy, decoherence, atom, attraction, oil, reservoir

For citation: Katanov Yu.E., Yagafarov A.K. Challenges in studying gravity and antigravity of reservoir systems. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 10, pp. 99–111. DOI: 10.18799/24131830/2025/10/4894

Введение

Научные взгляды исследователей на размещение углеводородов (УВ) в природе следует анализировать дифференцированно. Если в вопросе общего происхождения УВ мнения исследователей расходятся, то в сфере образования тяжёлых вязких нефтей наблюдается заметное единство взглядов.

Причинами появления тяжёлых видов нефтей могут быть разнообразные процессы и явления. Общепринятой является позиция, заключающаяся в том, что основная масса тяжёлых вязких нефтей и битумов образуется в зоне гипергенеза, то есть там, где возможно проявление роли свободного кислорода. Именно этот элемент, совместно с другими компонентами, относится к природным окислителям (сера, окислы железа и т. п.) и обуславливает существование поверхностных и приповерхностных (неглубоко залегающих) зон распространения тяжёлых вязких нефтей, которые могут при соответствующих условиях превращаться в битумы (мальты, асфальты, асфальтиты, кериты, антраксолиты и т. п.). Не вызывает особых разногласий и точка зрения о максимальной роли окислительных процессов в тектонически активных зонах.

Процесс окисления и осернения углеводородов в поверхностных и приповерхностных условиях происходит в результате прямого соединения кислорода с различными компонентами нефтей или диссимиляционной сульфатредукции, осуществляемой бактериями в органических веществах (в этом случае сульфаты выступают как акцепторы элект-

тронов вместо кислорода в газожидкостном объёме). Такое структурно-вещественное изменение нефтей сопровождается повышением их плотности и снижением объёмного содержания лёгких соединений (метановых, нафтенных и подобных). В итоге нефти становятся более циклическими по УВ-составу и высокосмолистыми, а при продолжении окисления и осернения постепенно превращаются в битумы (практически твёрдые вещества) [1].

Были предложены классификации высоковязких нефтей (ВВН) и условий их залегания [2–4]. Самая простая и удобная в практическом отношении выглядит следующим образом: за верхнюю границу определения ВВН принимается величина динамической вязкости 10 Па·с; при более высоких значениях нефти относят к битумам.

В пределах нефтегазоносных бассейнов Российской Федерации в настоящее время было выявлено более 300 месторождений с указанным определением ВВН: из них 34,4 % были приурочены к Волго-Уральскому региону, 24,9 % – к Западной Сибири, 23,6 % – к Тиман-Печерскому бассейну, остальные 17,1 % приходились на Восточную Сибирь, Дальний Восток, Кавказ и Среднюю Азию.

Глубины залегания ВВН меняются в широком диапазоне: от 50 до 4800 м. Однако наибольшее число месторождений ВВН (более 51 %) приурочено к интервалу глубин 800–1400 м с пластовыми температурами порядка +23–25 °С. Наиболее крупные скопления ВВН локализованы на глубинах 130–950 м.

Несмотря на значительное сходство научных взглядов на генезис ВВН, существует мнение, что такой подход не всё объясняет; например, приуроченность нефтей, включая ВВН, к породам кристаллического фундамента. Тем не менее многие исследователи полагают, что такие случаи достаточно правдоподобно объясняются фактом прилегания осадочных пород к кристаллическим.

Что касается размещения высоковязких нефтей в верхних продуктивных горизонтах разреза, то здесь возможно следующее допущение: наиболее плотные и вязкие компоненты вертикально направленного потока миграции флюидов задерживались и накапливались в верхних слоях геологического разреза с пониженными фильтрационными свойствами, тем самым постепенно создавая всё более прочный экран [5, 6].

Одним из наиболее распространенных осложнений, возникающих в процессе добычи вязких (застывающих) нефтей, являются отложения парафина и асфальто-смолистых соединений, приводящие к обрыву штанг и т. д. Для предупреждения и устранения этих осложнений специалистами было рекомендовано применять экологически чистый метод электропрогрева скважин.

При откачке продукции из скважин с применением штанговых насосов основные трудности связаны с преодолением значительных сил вязкого трения и высокого гидродинамического сопротивления самой жидкости в подъемных трубах. Это приводит к серьезным осложнениям, связанным с зависанием колонны труб.

Все изученные эмульсии тяжелых нефтей (вязких и высоковязких) при температуре 26,5 °С обладают свойствами неньютоновских систем. Тяжелые нефти месторождений Западной Сибири имеют высокую температуру застывания: +11–12 °С. Это приводит к осложнениям в обеспечении точности измерения параметров добываемой нефти. Дополнительным усложнением является высокая пенность нефтей [7–9].

Методический подход к исследованию гравитации и антигравитации в горном массиве

Элементы любой естественной системы (в частности, пластовой) находятся в состоянии вибрации. Основные факторы, определяющие степень изменения и распространения упругих колебаний в горном массиве, включают структурно-текстурное разнообразие порового пространства, минералогический состав, характер распределения цементирующего вещества, эффективное давление (пластовое давление) и другие параметры.

Оценки времени прохождения вибрационных колебаний в структурно-текстурном каркасе горных пород (или скорости распространения про-

долных волн) напрямую связаны с соотношением твердой и жидкой фаз, которое, в свою очередь, зависит от уровней давления, температуры и минерализации системы «пласт–флюид» [10].

Поскольку сжимаемость нефти и газа выше, чем у воды, скорости распространения упругих волн в этих фазах значительно ниже. Распространение волнового поля сопровождается частичным поглощением энергии упругих волн с последующей трансформацией этой энергии в тепловую за счет перераспределения и трения минеральных частиц пород в соответствующих горных объемах.

Температура геофизических объектов отражает среднюю кинетическую энергию частиц, а тепловые потоки – количество энергии, проходящее через объект в единицу времени.

При эксплуатации пласта высокотемпературный природный газ расширяется и охлаждается. В результате охлаждения тепловая энергия рассеивается в массиве горных пород преимущественно через теплопроводность и конвекцию, а также излучение.

Тепловое излучение – это электромагнитные волны, формирующиеся в результате колебаний атомов и молекул в веществе при взаимодействии с элементарными частицами.

Если излучение происходит достаточно быстро, тепловая энергия частично переходит в кинетическую, способствуя расширению газовой фазы. В результате быстрого расширения газа температура пласта понижается (эффект адиабатического охлаждения), когда он расширяется без обмена теплом с окружающей средой.

Поскольку плотность горных пород увеличивается с глубиной, а тепловое сопротивление понижается с её ростом, песчано-глинистые отложения будут обладать большим поглощением волнового поля, чем метаморфические и изверженные [11, 12].

С другой стороны, тепловое сопротивление горных пород зависит от слоистости: оно ниже вдоль напластования и выше перпендикулярно ему. Это явление называется тепловой анизотропией.

Глинистые породы имеют повышенное тепловое сопротивление, в то время как тепловые свойства основных минералов меняются незначительно [13, 14].

Следует отметить, что рассеивание пластовой энергии определяется интенсивностью поглощения упругих волн, связанной с электрохимическими процессами в породах (сорбция, фильтрация, минерализация), которые формируют поляризацию [15, 16].

В процессе седиментации формируются локальные зоны геологического массива с индивидуальными электромагнитными полями, сигнатуры которых определяют содержания ферромагнитных, диамагнитных и парамагнитных минералов. Под действием магнитного поля Земли породы сохра-

няют приобретённую намагниченность, эволюционирующую в последующие геологические эпохи.

При дегазации породы нефть адгезирует к поровому пространству под влиянием естественной гравитации. Поэтому требуется отделить высоковязкий флюид от слоёв горного массива, индуцируя его движение к забою скважины в различных термодинамических условиях.

Поскольку формула В.Е. Пешкова даёт первое приближение для анализа притяжения нефти к породе [17], необходимо разработать численное описание её распределения в коллекторе с последующим кинетическим моделированием индуцированного фильтрационного потока.

Скопления геологических конгломератов на больших глубинах искажают законы Ньютона и общую теорию относительности Эйнштейна, что дает возможность развития альтернативной концепции гравитации.

При взаимодействии данных конгломератов формируются гравитационные волны, подобные «танцам» между множеством массивных объектов, связанных друг с другом взаимным притяжением.

Согласно классической теории Эйнштейна, любая масса искривляет «пространство–время». Однако, если массивный объект находится в выделенных границах один (то есть он не связан с другим себе подобным объектом), это пространственное искривление приобретает форму некой «воронки», в которую затягивается все вокруг.

Когда объектов два и более, и они сосредоточены вокруг общего центра масс, и в итоге их энергетические поля сливаются воедино, искажение горной ткани «пространство–время» приобретает иную форму, похожую на разнонаправленную слоистость («рябь»), расходящуюся от центра масс. Интерференцию данных волн можно детектировать с помощью интерферометра.

Предположение о существовании вещества (теория Вегенера), которое напрямую нельзя обнаружить, можно подкрепить фактом о том, что движущиеся геологические слои должны смещаться в различные стороны (тензор направлений – тензор напряжений).

Следовательно, существует определённая геологическая масса (или система, или геополе, или система геополей), которая не поглощает и не отражает естественный электромагнитный спектр, и её электромагнитную сигнатуру нельзя проследить традиционными методами.

Поскольку закономерности проницаемости пласта в подавляющем большинстве имеют экспоненциальную и логарифмическую форму (расходящаяся или сходящаяся спираль, а также «спираль в спирали»), скорость распространения жидкостей (а значит, и скорость распространения тепловой энер-

гии, магнитного поля и т. п.) от центра базовой спирали должна уменьшаться.

Однако в центре и на периферии геологических формаций такое движение примерно одинаково, как если бы они были связаны сопряжением геомагнитных и геогравитационных полей определённой массы.

Данное сопряжение можно объяснить посредством комплексного исследования следующих новых явлений: геогравитационное линзирование – искривление траекторий распространения звука, давления, температуры и объёмов флюидопроводящего пространства; анизотропия микро- и макроволнового фона и электромагнитная левитация.

При исследовании гравитации и антигравитации пластовых систем первый постулат квантовой механики и гравитации Ю.Е. Катанов сформулировал следующим образом: «Любое состояние природной геологической системы до момента ее полного определения может быть описано как элемент гильбертова пространства, представляющий собой суперпозицию всех возможных собственных состояний, отвечающих полному набору наблюдаемых параметров».

Временная эволюция волновой функции [18] описывает уравнение Шрёдингера, которое будет инвариантно к временному обобщению

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + V\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t},$$

где $\hbar$ – постоянная Планка; m – масса исследуемой частицы; ∇^2 – оператор Гамильтона, величина которого описывает изменение волновой функции ψ ; V – потенциальная переменная, описывающая силы, действующие на частицу; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; $\frac{\partial\psi}{\partial t}$ – изменение волновой функции по времени.

Уравнение Шрёдингера представляет собой квантово-механический аналог классических законов Ньютона, а его физический смысл можно сформулировать следующим образом: пластовая энергия квантово-механической системы прямо пропорциональна скорости измерения пространственных состояний, описываемых волновой функцией.

В более упрощённой интерпретации это означает, что в любом пространственном состоянии системы «пласт–флюид» эволюция высокоэнергетических структурных элементов массива будет происходить быстрее, чем у низкоэнергетических.

Для случая когерентной суперпозиции геологического массива (замкнутая пластовая система в чистом состоянии) взаимодействие пространственных элементов друг с другом определяет соответствующее смешанное состояние, волновая функция

которого зависит от всех их динамических переменных.

Поскольку функционал квантовой механики и гравитации будет прогнозировать вероятность получения числовых характеристик пластовых систем, соответствующий второй постулат квантовой механики и гравитации Ю.Е. Катанов сформулировал следующим образом: «Каждой физической наблюдаемой величине, характеризующей реляционное состояние геомеханической системы, соответствует линейный эрмитовый оператор, действующий в гильбертовом пространстве её возможных состояний».

Семантическую основу данного постулата можно представить следующим образом: оператор (матрица плотности состояний квантово-механической системы) – это правило, согласно которому одна волновая функция преобразуется в другую.

Если волновая функция эволюционирует согласно уравнению Шрёдингера, третий постулат квантовой механики и гравитации, предложенный Ю.Е. Катановым, гласит: «Эволюция во времени состояния замкнутой квантово-механической системы описывается унитарным оператором, действующим в гильбертовом пространстве состояний системы».

Фактически данный постулат есть ни что иное, как закон сохранения информации в квантово-механической системе. Данный закон сводится к унитарности всех операций измерения, подчеркивающих линейный переход одного состояния суперпозиции исследуемой системы в другое.

При исследовании унитарности эволюции квантово-механической системы можно выделить три фундаментальных принципа: линейность, сохранение вероятности событий (изометричность системы) и обратимость времени.

Принцип линейности любого преобразования определяет переход одного состояния пластовой системы в другое относительно суммы всех состояний (принцип суперпозиции).

Сохранение вероятности событий пластовой системы означает, что меняются лишь их распределения между альтернативными исходами происходящих процессов/явлений, но их сумма всегда равна единице (100 %).

Обратимость времени означает, что волновая функция одинаково изменяется как прямо, так и обратно относительно точки отсчета измерений. Например, импульс и координата пространственных характеристик пластовой системы будут переходить в два других альтернативных состояния, но не могут трансформироваться в одно и то же. В противном случае их нельзя было бы воссоздать, то есть сформировать ретроспективную, минерагени-

ческую и прогнозную модели исследуемого процесса/явления в различные моменты времени.

С учетом трех сформулированных постулатов квантовой механики и гравитации применительно к пластовым системам можно сделать вывод, что при любом измерении принцип унитарности эволюции квантово-механической системы соблюдается не до конца.

В контексте пластовых систем это соответствует четвертому постулату квантовой механики и гравитации, который Ю.Е. Катанов сформулировал в следующем виде: «Измерение наблюдаемой физической величины геологического массива приводит к коллапсу волновой функции и фиксации одного из собственных значений соответствующего эрмитова оператора».

Данный постулат подчеркивает необходимость исследования эволюции квантово-механической системы во времени, поскольку уничтожается информация об исходных вероятностях пространственных состояний геологического массива, что математически соответствует переходу двух комплексных чисел в 1 и 0 одновременно.

Если состояние пластовой системы заранее не было известно, то после измерения нельзя будет воссоздать истинные компоненты вектора всех состояний (амплитуды вероятностей – неопределенности).

Если волновая функция будет представлять квантово-механические неопределенности исследуемых геологических величин, то соответствующая матрица плотности возможных состояний горного массива будет включать эти виды неопределенностей, а также классические вероятности событий пластовой системы. А величиной, которая является мерой любой неопределенности, является энтропия.

Энтропия любой системы измеряет, насколько ее состояние является смешанным. Для пластовых систем данное состояние не задается совокупностью литолого-фациальных и петрофизических характеристик горного массива – определены лишь вероятности их измерения.

В смешанном состоянии находятся все геолого-геофизические характеристики макроскопических объектов, которые не изолированы от внешней среды.

Поскольку различные квантово-механические явления не сохраняют фазу и практически не интерферируют между собой, смешанное состояние пластовой системы можно назвать некогерентной суперпозицией. Причем отдельные состояния исследуемой системы в одних областях будут интерферировать конструктивно, а в других – деструктивно.

Для исследуемой системы в запутанном состоянии (состояние сложной квантово-механической

системы, которое нельзя представить как произведение состояний всех подсистем), подсистемы взаимозависимы и квантово коррелированы друг с другом.

Энтропия запутанности – это количественная мера того, насколько измерение одной подсистемы уменьшает незнание состояния другой.

На примере квантово-механического исследования любого процесса/явления на базе кубитов можно заключить следующее: поскольку запутанность является ненаблюдаемой величиной, о ее наличии можно узнать лишь при поочередном измерении кубитов и соответствующем получении противоположных спинов. В итоге измерение одного спина приведет к увеличению знания о втором.

При этом можно выполнить измерение двух запутанных кубитов с равными вероятностями и одинаковыми спиновыми моментами. Поскольку данное состояние является равнозначным и определенным, второй кубит не будет иметь собственной волновой функции. Это означает, что для второго кубита характерна ненулевая энтропия до измерения первого.

Для квантово-механических систем энтропию фон Неймана можно представить как след произведения матрицы плотности состояний системы на ее логарифм:

$$S(\rho) = -\text{tr}(\rho \log \rho) = -\frac{\partial \text{tr}(\rho^n)}{\partial n}.$$

При сравнении данного выражения с соответствующими формулами информационной энтропии Шеннона и Больцмана явно прослеживается схожесть (1) [19]:

$$\begin{cases} H = -\sum_{i=1}^N p_i \log p_i; \\ S = -k_B \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i. \end{cases} \quad (1)$$

Все три представленных вида энтропии связаны. Существует также гипотеза, что электромагнитные и гравитационные взаимодействия есть следствие и первое приближение системных энтропийных взаимодействий пластовой системы.

Для квантово-механической энтропии, в отличие от классической, характерно свойство субаддитивности, согласно которому энтропия пластовой системы может быть количественно меньше суммарной энтропии ее геопространственных характеристик.

При классическом подходе к исследованию пластовой системы такого нет: если она находится в состояниях с ненулевой энтропией, то все ее подсистемы также обладают ненулевой энтропией – знание о состоянии целого дает представление о состоянии его частей.

Стоит отметить, что рассматривать любое пространство как некую трехмерную сетку, как это делал Ньютон, несколько некорректно.

С точки зрения геопространства можно сформулировать следующие фундаментальные положения:

1. Допускается представление геопространства как произведения элементов трёхмерной геологической системы, где фиксированный набор координат проецируется на соответствующий линейный отрезок. Это может быть интерпретировано как вероятная проекция квантово-механической системы на каждом этапе её эволюции. Каждый исследователь, анализирующий геопространственные объекты на различных масштабах, формирует уникальные их координаты в четырехмерном «пространстве–времени».
2. Структура любого пространства не является декартовой, решетчатой и плоской, как это представлял Ньютон. Он описывал пространство как абсолютное и статичное. Вместо этого геопространство искривлено и может интегрироваться, и экстрагироваться в зависимости от динамики горного массива: оно расширяется в области единой геоплатформы, где происходят процессы аналогичные «работе» пласта на расширение – добывающие скважины; или сжимается в областях, где происходят процессы аналогичные «работе» пласта на сжатие – нагнетательные скважины.

Сопоставляя данное положение с теорией разрушения горной материи С.Н. Журкова [20, 21] можно заключить, что энергия активации сжатия/растяжения/сдвига слоев горного массива будет индивидуальной (тензоры напряжений и тензоры деформаций).

3. На искривленном «пространстве–времени» с уникальной структурой формируется спектр гравитационных волн, распространяющихся с определенными скоростями. Данный процесс аналогичен индивидуальным скоростям распространения продольных, поперечных, кратных и лямбда-волн в различных литологических слоях.
4. На всех частотах исследуемого геопространства формируется электромагнитный «фоновый гул», представляющий собой геофизические помехи и аномалии, создаваемые совокупностью различных гравитационных волн. Такой «фоновый гул» возникает в результате аккреции или слияния разномасштабных физических тел в пластовой системе под воздействием горного давления и силы тяжести, а также в процессе межмолекулярных взаимодействий.
5. Поскольку геологические формации, такие как горные цепи и тектонические плиты, собраны в масштабные скопления, вполне ожидаемо, что в

результате их динамических процессов будут возникать гравитационные волны, распространяющиеся в различных направлениях.

Если существует корреляционная связь между любыми двумя геопульсарами и углами, под которыми они расположены в пространственно-временном континууме, это может свидетельствовать в пользу интерпретации разнородных данных о наличии антигравитационных воронок, поскольку корреляция характеристик любого процесса или явления подразумевает наличие обратной связи. Такое допущение означает, что необходимо учитывать вероятность того, что антигравитационная составляющая может оказаться случайностью!

А что есть «случайность» как непознанная необходимость?

Таким образом, все геопространство пульсирует от совместного воздействия всех существующих видов гравитационных волн.

В соответствии с законом всемирного тяготения, между телами с массами M и m возникает сила притяжения F , прямо пропорциональная их произведению Mm и обратно пропорциональная квадрату расстояния R между ними [22]:

$$F = \frac{GMm}{R^2}, \quad (2)$$

где G – величина гравитационной постоянной $\approx 6,6725 \cdot 10^{-11}$, $\text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$.

Формула (2) дает значение силы притяжения в единицах системы СИ – ньютонах (Н). Однако можно оперировать и килограммами силы (кгс), которые получаются делением F на коэффициент 9,78–9,82 $\text{м}^2/\text{с}^2$ (величина ускорения свободного падения – указанная левая граница соответствует экватору Земли, а правая – на полюсах). Могут быть и другие значения величины g в различных частях Земли. В формуле (3) будет взято среднее значение данного интервала:

$$F = \frac{GMm}{9,8R^2}. \quad (3)$$

Выполненные различными группами исследователей эксперименты по измерению гравитационной постоянной G демонстрируют несовпадение результатов друг с другом [23, 24].

Поэтому возникает необходимость исследования истинной природы формирования спектра гравитационных характеристик. Образование величины электронной гравитационной постоянной является результатом взаимодействия электромагнитных полей в границах скоплений отдельных физико-химических элементов (слоистость горных пород).

Внешнее электромагнитное поле каждого физико-химического элемента пласта (слойки, серии

слойков, слоев, пачки) имеет разное количество электронов, а взаимодействие между геологическими характеристиками осуществляется посредством взаимодействия атомов.

Атом обладает положительно заряженным ядром, вокруг которого двигаются отрицательно заряженные электроны.

При рассмотрении совокупности атомов замыкание силовых линий от соответствующих ядер может происходить на произвольных внешних электронах. В результате формируется начальное гравитационное поле между данными атомами (как следствие – межмолекулярное взаимодействие геопространственных характеристик пластовой системы).

Поскольку распределенные геологические кластеры (в объеме горного массива) имеют высокую плотность пластовой энергии, их влияние на общий гравитационный фон будет «выбивать» внешние электроны с их орбит в соответствии с «падающими» литолого-фациальными объектами (нулевая отметка оси глубины горного массива находится на поверхности земли).

В результате происходит ионизация атомов в «падающих» геологических объектах, в объеме которых образуются положительные заряды. Скопления данных зарядов притягиваются к гравитационному полю горного массива, а между собой отталкиваются [25].

В такой закономерности чем ближе «падающие» геологические тела находятся к поверхности земли, тем сильнее восстанавливается электромагнитная структура у атомов данного массива. Сами атомы становятся нейтральными за счет присоединения к их ядрам недостающих электронов.

Если заряды в неоднородном по составу геологическом объекте приобретают вращение вокруг его собственной оси, в соответствующих границах формируется физическая структура с электромагнитным полем индивидуальной сигнатуры (в соответствии с литологическими типами горных пород).

Если следующий по глубине геологический объект относительно однороден по составу, то у него будут формироваться общие по объему заряды, а также добавочное гравитационное поле за счет их межмолекулярного взаимодействия.

Далее возникает вопрос о наличии пропорциональной зависимости массы геологического тела и гравитации.

В соответствии с фундаментальной основой первого закона Ньютона можно заключить, что величина взаимной силы притяжения «падающих» геологических объектов будет зависеть от их соответствующих масс, а ускорение свободного падения в каждой отдельной точке пласта – нет.

Стоит отметить, что нуклоны (нейтроны и протоны) всегда будут реагировать на изменение гравитационного поля Земли в каждой пространственной точке пластовой системы, поскольку они формируют компоненты атомных ядер горной материи в соответствии с распределением отрицательных зарядов электронов и могут быть электромагнитными маркерами на присутствие антигравитационной составляющей.

Поскольку увеличение массы m «падающего» геологического тела приводит к росту силы тяжести пластовой системы, можно записать следующее выражение [26]:

$$F = mg, \quad (4)$$

где g – величина ускорения свободного падения.

Консервативную силу F можно представить в виде закона Кулона (для удобства представления тождественной связи между кулоновским и гравитационным полями электростатическая постоянная условно равна единице): $F = \frac{b^2}{r^2}$, где b , r – соответственно, величина взаимодействия между зарядами и расстояние между ними.

Тогда из (4) $g = \frac{F}{m}$, в соответствии с радиусом и массой R , M геологических тел, имеем следующее:

$$g = \frac{\left(\frac{b}{R}\right)^2}{M}, \quad (5)$$

Поскольку кулоновское, электромагнитное и гравитационное поля пропорциональны друг другу, при тождестве сил F в формулах (2) и (4) с учетом (5) получаем следующее:

$$\left(\frac{b\sqrt{M}}{R}\right)\left(\frac{b\sqrt{m}}{R}\right),$$

где $\frac{b\sqrt{m}}{R}$ – гравитирующая масса физического тела, выбивающая внешние электроны элементов пластовой системы на атомном уровне; $\frac{b\sqrt{M}}{R}$ – инерционная (антигравитирующая) масса физического тела, притягивающая элементы пластовой системы за счёт поля протонов на субатомном уровне.

В формуле (5) величина b^2 отождествляет гравитационную постоянную G :

$$g = \frac{GM}{R^2}.$$

Таким образом, закон Всемирного тяготения существует, но флуктуации гравитационных аномалий определяются квантово-механическими сочетаниями электрических зарядов и электромаг-

нитных полей, кластерно распределенных в пластовых системах.

Конечно, можно допускать, что только для плоского «пространства–времени» Минковского характерно применение классических постулатов квантовой механики и уравнения Шрёдингера, поскольку там не учитывается гравитация. Однако для искривленного пространства Лоренца все обстоит иначе.

Результаты и обсуждения

Рассмотрим преобразование Лоренца [27] для четырехмерного импульса электромагнитного поля горного массива в евклидовой системе координат ($x_0=ict, x_1, x_2, x_3$).

Если данный импульс измеряется в условно подвижной системе отсчета, получится четырехмерный вектор P_i' с соответствующими проекциями.

В общем случае

$$P_i' - P_i = a_{ij}P_j - \delta_{ij}P_j \equiv P_j\Delta a_{ij}. \quad (6)$$

С другой стороны, разность импульсов геологических масс можно представить в виде следующих четырехмерных векторов:

$$P_i' - P_i = \frac{\hbar}{2\pi} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i'} - \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right), \quad (7)$$

где P_i , P_i' – соответственно, четырехмерные импульсы в системе отсчета условно неподвижной и движущейся масс; $\frac{\hbar}{2\pi} \frac{\partial \varphi}{\partial x_i'}$ – квантово-механическое пред-

ставление четырехмерного импульса электромагнитного поля относительно движущейся массы; φ – фаза волновой функции; $\hbar$ – постоянная Планка.

Выражения (6) и (7) в совокупности сводятся к измененному виду (6):

$$P_j\Delta a_{ij} = \frac{\hbar}{2\pi} \Delta \frac{\partial \varphi}{\partial x_i}, \quad (8)$$

где a_{ij} , $\Delta a_{ij} = a_{ij} - \delta_{ij}$ – соответственно, исходные и изменяющиеся коэффициенты преобразования Лоренца при переходе из «неподвижной» системы отсчета в «подвижную».

Для пластовой системы коэффициенты преобразования Лоренца (8) соответствуют потенциалам физического поля, которое является гравитационным.

Рассмотрим концепцию гравитации с принципом Маха, в которой преобразования лоренцевое вращения дополнены условиями отражения и масштаба.

В данной концепции потенциалом физического поля является тензор $H_{ij}H_{ik} = H^2\delta_{jk}$, где δ_{jk} – символ Кронекера (диагональный единичный тензор).

Поскольку инерция физического тела в пластовой системе является следствием ненулевых значе-

ний H , сферически симметричные изолированные объекты (согласно законам Ньютона) добавляют к H потенциал $\frac{\gamma M}{Rc^2}$:

$$H = \frac{1 + \gamma M}{Rc^2} = \frac{\gamma}{c^2 \left(\frac{c^2}{\gamma} + \frac{M}{R} \right)},$$

где M , R – соответственно, собственная масса физического тела и расстояние от его центра до наблюдаемой пространственной точки; γ – гравитационная постоянная; $\frac{c^2}{\gamma}$ – величина интеграла по объему горного массива в отношении плотности массы в его пространственных точках к расстояниям от этих точек до начала системы отсчета.

В данной концепции целесообразно предположить симметрию знаков гравитационных масс, поэтому она:

- допускает бесконечность пластовой системы в пространстве и времени;
- предполагает ее гравитационное разделение на кластеры минеральных частиц с разными знаками гравитационных масс;
- свободна от парадокса Неймана–Зелигера в любой точке пласта.

Поэтому физическое тело в условно неподвижной системе отсчета имеет четырехмерный импульс P_i , а в системе отсчета локальной неподвижной массы с потенциалом H – четырехмерный импульс P'_i :

$$P'_i = H^{-1} P_i,$$

где $P_0 \equiv \frac{E}{ic(H)}$; $c(H) = \frac{c}{H^2}$; $i = \sqrt{-1}$; E – пластовая энергия физического тела.

Тогда гравитационная сила, действующая на физическое тело, может быть представлена в следующем виде:

$$F_i = -W_j P_m \left(\frac{\partial H_{im}}{\partial x_j} - \frac{\partial H_{jm}}{\partial x_i} \right). \quad (9)$$

Для случая сферически симметричного физического тела в гравитационном поле с центром на оси x_i и геологического объекта в начале координат пластовой системы:

$$W_j = (ic; 0; 0; 0); P_i = \left(\frac{E}{ic}; 0; 0; 0 \right); H_{ij} = \delta_{ij},$$

из (9) получаем следующее:

$$F_i = W_0 P_0 \frac{\partial H_{00}}{\partial x_i} = E \frac{\partial H}{\partial x_i},$$

что соответствует ньютоновской силе тяготения.

Таким образом, при малых скоростях тяготения гравитация стремится к пространственному описанию, согласно законам Ньютона, а отклонение тангенциально движущихся электронов, которое в два раза превышает ньютоновское приращение, подчеркивает преобладание антигравитационного поля.

По сравнению с общей теорией относительности (ОТО), концепция гравитации и антигравитации пластовых систем основана не на сингулярности поля, а на равномерно распределённых геологических кластерах с положительными и отрицательными гравитационными массами, образующими гравитационно неустойчивую конфигурацию. Это объясняет наличие пустот в крупномасштабной структуре пласта и геофизических аномалий в отдельных геологических конгломератах.

Второе отличие представленной концепции от ОТО – наличие зависимости инерции от гравитационного фона. В ОТО инерция частицы может быть в пространстве, полностью свободном от материи.

Из (9) возможно получение аналитических выражений с принципом Маха для нескольких вариантов исследования сил инерции.

Вариант 1. Скопления углеводородов находятся в эквипотенциальном объеме геологической сферы, движущейся (сдвигающейся) с трехмерным ускорением a_1 , с собственной массой M и радиусом R .

Для данного варианта частные производные $\frac{\partial H_{01}}{\partial t}$ и $\frac{\partial H_{10}}{\partial t}$ не равны нулю, поскольку на места скопления углеводородов действует гравитационная сила со стороны ускоренно движущейся (сдвигающейся) геологической сферы. Тогда с учетом подстановки H_{10} из (11) в (9) получаем следующее:

$$\begin{aligned} F_1 &= -W_j P_m \left(\frac{\partial H_{1m}}{\partial x_j} - \frac{\partial H_{jm}}{\partial x_1} \right) = \\ &= -W_0 P_0 \frac{\partial H_{10}}{\partial x_0} = -E \frac{\gamma M}{Rc^2} \frac{\partial \alpha_{01}}{\partial x_0}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\alpha_{01} = \frac{v_1}{ic}$; $x_0 \equiv ict$; W_j – четырехмерная скорость движения (смещения) углеводородов; здесь

$W_j = (ic; 0; 0; 0)$; $P_m = \left(\frac{E}{ic}; 0; 0; 0 \right)$ – четырехмерный импульс движения (смещения) скоплений углеводородов; $E = mc^2$; m – масса углеводородов.

Поскольку движение геологических сфер относительно прямолинейно, зависимость коэффициентов Лоренца от пространственных координат практически отсутствует, то есть

$$\frac{\partial \alpha_{01}}{\partial x_0} = \frac{d\alpha_{01}}{dx_0} = -\frac{1}{c^2} \frac{dv_1}{dt} = -\frac{1}{c^2} a_1, \quad (11)$$

и при подстановке (11) в (10) получаем следующее:

$$F_1 = ma_1 \frac{\gamma M}{Rc^2}. \quad (12)$$

Стоит отметить, что при обращении к выводу связей (10)–(12) нет строгости в последовательности операций.

В частности, если ускоряющейся геологической сферой представляется вся пластовая система, то $\frac{\gamma M}{Rc^2} = 1$ и $F_1 = ma_1$, то это соответствует силе, действующей на скопления углеводородов со стороны антигравитационного поля горного массива: эта сила инерции потоков углеводородов, увеличивающаяся при росте антигравитации.

Вариант 1 выражает относительность ускоренного движения углеводородов. Поэтому можно допустить, что горный массив:

- либо относительно покоится, а с ускорением a_1 движется (смещается) система отсчета геологической сферы, влияя на искривление линии сосредоточений углеводородов;
- либо динамично изменяется (работа пластов на сжатие, растяжение, сдвиг), а скопления углеводородов локально удерживаются силой покоящегося геологического конгломерата при соответствующем увеличении его масштаба.

Вариант 2. Скопления углеводородов движутся со скоростью v_2 (ось x_1) вдоль центра оси x_2 , совпадающей с пространственными траекториями смещения геологической сферы, вращающейся в плоскости $(x_1; x_2)$ с угловой скоростью ω_{12} , с собственной массой M и радиусом R .

Для данного варианта частные производные $\frac{\partial H_{12}}{\partial x_0}$, $\frac{\partial H_{21}}{\partial x_0}$, $\frac{\partial H_{01}}{\partial x_2}$, $\frac{\partial H_{10}}{\partial x_2}$, $\frac{\partial H_{02}}{\partial x_1}$ и $\frac{\partial H_{20}}{\partial x_1}$ не равны нулю, поскольку на скопления углеводородов действует гравитационная сила со стороны вращающейся массивной геологической сферы:

$$\begin{aligned} F_1 &= -W_j P_m \left(\frac{\partial H_{1m}}{\partial x_j} - \frac{\partial H_{jm}}{\partial x_1} \right) = \\ &= -W_0 P_2 \left(\frac{\partial H_{12}}{\partial x_0} - \frac{\partial H_{02}}{\partial x_1} \right) - W_2 P_0 \left(\frac{\partial H_{10}}{\partial x_2} - \frac{\partial H_{20}}{\partial x_1} \right) = \\ &= \frac{\gamma M}{Rc^2} \frac{v_2 \cdot E}{1 - \frac{v_2^2}{c^2}} \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} - \frac{\partial \omega_{12}}{\partial t} \right) = -2\omega_{12} \frac{v_2}{1 - \frac{v_2^2}{c^2}} \frac{\gamma M m}{Rc^2}, \end{aligned}$$

где $W_j = \left(\frac{ic}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}}; 0; \frac{v_2}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}}; 0 \right)$ – четырехмерная

скорость движения (смещения) углеводородов в

пластовой системе; $P_m = \left(\frac{E}{ic}; 0; \frac{E \cdot v_2}{c^2}; 0 \right)$ –

четырёхмерный импульс движения (смещения) скоплений углеводородов; $E = mc^2$; m – собственная масса объема углеводородов.

В частности, если вращающейся геологической сферой представлена вся пластовая система, то $\frac{\gamma M}{Rc^2} = 1$ и $F_1 = -2m\omega_{12} \frac{v_2}{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}$, что соответствует

преобладанию силы Кориолиса, которая действует на скопления углеводородов со стороны горного массива.

Следует отметить, что при $v_2 \rightarrow c$ происходит удвоение отклонения гравитационного поля по сравнению с классическими предсказаниями.

Действие силы Кориолиса должно компенсировать возможность сдерживания скоплений углеводородов (в том числе тяжелых нефтей) в пласте в состояниях прямолинейного равномерного движения друг относительно друга.

Вариант 2 соответствует вращательному (спиралеобразному) движению геологических сфер, что дает возможность допускать следующее:

- либо горный массив находится в статичном состоянии, а с угловой скоростью ω_{12} вращается система отсчета геологических сфер посредством роста антигравитации, формирующей поперечную силу для пространственного искривления траекторий движущихся объемов углеводородов;
- либо с угловой скоростью ω_{12} вращаются фильтрационно-емкостные компоненты геологических сфер, а структурно-текстурные характеристики горного массива в статичном состоянии удерживает соответствующая гравитация.

Рассмотренная концепция трансформирует понятие «системы отсчета горного массива на гравитационно-эквипотенциальном фоне» в понятие «инерциальной системы отсчета геологических сфер на антигравитационном фоне» в соответствии с четырехкомпонентной электромагнитной симметрией.

Дальнейшее развитие данной концепции позволит оценить явление коллективного движения геологических материалов, при котором отдельные геобъекты начинают синхронно двигаться как единое целое.

Ключевую роль в подобных движениях играют магнитные флуктуации – некоторые изменения в пластовых системах, вызывающие нарушение порядка залегания горных пород в массиве, что в итоге приводит к организованному поведению геологических конгломератов разного масштаба.

Подобное поведение геообъектов противоречит классическим теориям, объяснявшим коллективное поведение систем на основе температуры и давления.

Когда углеводороды формируются вокруг геологических скоплений, их орбитальные периоды часто входят в «резонанс» друг с другом. Подобные взаимодействия приводят к миграции и эмиграции углеводородов, особенно в литологически ограниченных ловушках.

Подобные смещения флюидов приводят к обмену гравитационной энергией между резонансными геологическими кластерами, что обычно делает их границы нестабильными, усиливая давление в пласте до тех пор, пока геообъекты не выйдут из резонанса друг с другом.

Гравитационные резонансы часто становятся нестабильными с течением времени, но не всегда. Более компактные геообъекты сохраняют свои резонансные характеристики в масштабе общей геологической свиты, а в пространстве между ними такого постоянства не будет.

Моделируя распределение гравитационных резонансов, можно выделить три фазы в эволюции антигравитации пластовой системы.

При рассмотрении масштаба продуктивного массива на первом этапе все его геологические кластеры вступают в гравитационные резонансы (e_1 ; e_2) друг с другом. Поскольку центральные геологические кластеры образовались из материалов внешних границ петрологических дисков, а их развивающееся магнитное поле произвело излучение, которое начало рассеивать исходные стратиграфические уровни, внутренние края данных дисков должны были расширяться.

Во второй фазе геологическое пространство и сосредоточенные на его внутренних краях углеводороды начинают вытягиваться к поверхности (в соответствии с теорией формирования ловушек углеводородов), формируя новые скопления флюидов во внешней части пластовой системы. Подобные пространственные трансформации и смещения неизбежно вызовут эффект гравитационных колебаний на периферии отдельных геологических кластеров, поскольку резонансы их магнитных полей сперва расширились, но затем были «отброшены» назад гравитационным моментом из внешней к центральной части пластовой системы.

К третьей фазе в пластовой системе будут сформированы три уровня гравитационного поля – начальный, центральный и внешний, между которыми будет происходить обмен гравитационной энергией, приводящий к аккрецированию геологического материала в соответствующих границах, формирующих рост антигравитационных полей. Это приведет к миграции флюидов ко внутреннему

краю петрологического диска, что аналогично эффекту отталкивания углеводородов от поверхности горных пород пока внутренняя и внешняя части пластовой системы не установятся в гравитационной конфигурации.

Подобные явления свидетельствуют о присутствии механизма гравитационной нестабильности пластовых систем как об альтернативной идее аккреции геологического вещества в границах разномасштабных геообъектов.

Допускается, что если геообъект массивен, то он будет неустойчив, и в спиральных рукавах геологического пространства могут формироваться гравитационные коллапсы, преимущественно в плотных отложениях.

Признаки гравитационной нестабильности могут быть выявлены при исследовании кинематики газожидкостных смесей при моделировании участков пространства внутренней части пластовой системы. Для гравитационной нестабильности будет характерно синусоидальное распределение газожидкостных смесей, колебания скоростей фильтрации которых порождаются локальными минимумами гравитационного потенциала в спиральных рукавах пласта, где происходит сжатие флюидов под действием собственных сил гравитации.

Заключение

На основании подходов к математизации и формированию философских аспектов нефтегазопромысловой геологии были сформулированы квантово-механические постулаты при исследовании гравитации и антигравитации пластовых систем. В состоянии нефтенасыщенного пласта от статического поля гравитации до перехода в зону антигравитации проходит определенное время, за которое формируется экзотическая материя в пластовой системе и накапливается соответствующее отрицательное давление. Когда напряженное состояние пласта (группы слоев) достигает максимального значения (поле антигравитации намного превышает поле гравитации), нефть начинает движение в горизонтальном направлении (выход из пласта в ствол скважины).

По мере постепенного повышения забойной депрессии начинают проявляться разнонаправленные поля антигравитации, то есть силы, приводящие в движение физические тела, лежащие на соответствующей литологической поверхности. В данном случае это скопления высоковязкой нефти, насыщающей продуктивный пласт.

Поскольку гравитационное поле является статическим гибридным полем, антигравитация будет проявляться в результате противоположного направления вращения вихревых компонент пространственных гармоник пласта.

В физическом отношении силы гравитации перпендикулярны силам тяготения, которые развиваются в вертикальном направлении, а силы полей антигравитации – в горизонтальном. При этом возникает центробежная сила, которая направлена также противоположно к силам тяготения. При повышении депрессии на пласт увеличивается и горизонтальная скорость движения углеводородов. При достижении критического значения отрицательного давления в системе «пласт–флюид» нефть начинает смещаться из пласта в скважины. Таким образом, в процессе освоения скважины проявляются нелинейные эффекты.

Следует отметить одну из особенностей эволюции вязкопластических характеристик пластовых систем. За счет трения между геологическими и фильтрационными слоями повышается температура пластового тела. Этот эффект фиксируется на бланках глубинных манометров. Например, в скважине 508 Вань-Еганского месторождения при испытании пласта БВ₅ температура повысилась на 1,5 °С. Допускается, что этот факт также влияет на усиление антигравитационного поля в пластовой системе, возможно, через гравитационные резонансы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тяжелые нефти и битумы мира / В.А. Шумилов, А.Н. Кирсанов, И.П. Попов и др. – Тюмень: ТИУ, 2016. – 198 с.
2. Конторович А.Э. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. – М.: Изд-во «Недра», 1975. – 673 с.
3. Полищук Ю.М., Ященко И.Г. Тяжелые нефти: аналитический обзор закономерностей пространственных и временных изменений их свойств // Нефтегазовое дело. – 2005. – № 3. – С. 21–30.
4. Hein F.J. Geology of bitumen and heavy oil: an overview // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2017. – Vol. 154. – P. 551–563.
5. Chen Q., Liu Q. Bitumen coating on oil sands clay minerals: a review // Energy & Fuels. – 2019. – Vol. 33. – № 7. – P. 5933–5943.
6. Исследование влияния капиллярных явлений при фильтрации двухфазных несмешивающихся жидкостей в пористых средах / Ю.Е. Катаров, А.К. Ягафаров, И.И. Клещенко, М.Е. Савина, Г.А. Шлеин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2020. – № 1. – С. 19–29.
7. Vella D., Huppert H.E. Gravity currents in a porous medium at an inclined plane // J. Fluid Mech. – 2006. – № 555. – P. 353–362.
8. Woods A.W., Farcas A. Capillary entry pressure and the leakage of gravity currents through a sloping layered permeable rock // J. Fluid Mech. – 2009. – № 618. – P. 361–379.
9. Katanov Y.E., Vaganov Y.V., Listak M.V. Geological and mathematical description of the rocks strain during behaviour of the producing solid mass in compression (Tension) // Journal of Mines, Metals and Fuels. – 2020. – Vol. 68. – № 9. – P. 285–292.
10. Катаров Ю.Е., Ягафаров А.К., Аристов А.И. Цифровой керн: влияние температурного поля на двухфазную фильтрацию флюидов в горной породе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 10. – С. 108–118.
11. Alharthy A., Kassandrov V.V. On a crucial role of gravity in the formation of elementary particles // Universe. – 2020. – Vol. 6. – № 11. – Article 193. – P. 1–12.
12. H. Zhou et al. What can we expect from the inclined satellite formation for temporal gravity field determination? // Surveys in Geophysics. – 2021. – Vol. 42. – P. 699–726.
13. Farsi B., Sheykhi A. Structure formation in mimetic gravity // Physical Review D. – 2022. – Vol. 106. – № 2. – P. 024053.
14. Chiapponi L. et al. Dispersion induced by non-Newtonian gravity flow in a layered fracture or formation // Journal of Fluid Mechanics. – 2020. – Vol. 903. – P. A14.
15. Xu Z. et al. Gravity-driven controls on fluid and carbonate precipitation distributions in fractures // Scientific reports. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 9400.
16. Tang M. et al. Gravity displacement gas kick law in fractured carbonate formation // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2022. – Vol. 12. – № 11. – P. 3165–3181.
17. Освоение и исследование разведочных скважин (на примере Западной Сибири) / В.К. Федорцов, В.Е. Пешков, Ф.К. Салманов и др. – М.: Изд-во «Недра», 1976. – 161 с.
18. Годен М. Волновая функция Бете / пер. с фр. П.П. Кулиша, Е.К. Склянина; под ред. Л.Д. Фаддеева. – М.: Изд-во «Мир», 1987. – 352 с.
19. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 830 с.
20. Журков С.Н., Куксенко В.С., Петров В.А. Физические основы прогнозирования механического разрушения // Доклады Академии наук. Российская академия наук. – 1981. – Т. 259. – № 6. – С. 1350–1353.
21. Исследование кинетики зарождения микротрещин в щелочно-галоидных кристаллах методом рассеяния света / С.Н. Журков, И.И. Новак, С.А. Порецкий, И.Ю. Якименко // Физика твердого тела. – 1987. – Т. 29. – № 1. – С. 156–164.
22. Михайлов В.Н. Закон всемирного тяготения. – М.: Издательская группа URSS, 2004. – 184 с.
23. Милуков В.К. Изменяется ли гравитационная постоянная // Природа. – 1986. – № 6. – С. 96–104.
24. Халилов Э.Н. Гравитационные волны и геодинамика / К 90-летию академика РАН, заслуженного профессора МГУ Виктора Ефимовича Хаина. – Баку; Берлин; М.: Изд-во ЭЛМ-МСНР/МАН, 2004. – 331 с.
25. Гравитационное течение газожидкостных смесей в пористых средах / Ю.Е. Катаров, А.К. Ягафаров, А.И. Аристов, Г.А. Шлеин // Естественные и технические науки. – М.: Изд-во «Спутник+», 2023. – № 3. – С. 155–167.
26. Полянский С.И. Теория электромагнитного поля и распространение радиоволн / под ред. А.М. Сомова. – М.: Изд-во «Горячая линия-Телеком», 2023. – 272 с.
27. Волченко А.П. Преобразования Лоренца как объект классической механики. – М.: Изд-во «Ленанд», 2022. – 136 с.

Информация об авторах

Юрий Евгеньевич Катаров, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории капитального ремонта скважин и интенсификации притока, ведущий научный сотрудник лаборатории

цифровых исследований в нефтегазовой отрасли Тюменского индустриального университета, Россия, 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 70. katanov-juri@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5983-4040>

Алик Каюмович Ягафаров, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный геолог РФ, академик РАЕН им. В.И. Вернадского, почётный нефтяник Тюменской области, Тюменский индустриальный университет, Россия, 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 70. jagafarovak@tyuiu.ru

Поступила в редакцию: 08.11.2024

Поступила после рецензирования: 06.12.2024

Принята к публикации: 04.08.2025

REFERENCES

1. Shumilov V.A., Kirsanov A.N., Popov I.P. *Heavy oils and the asphalt*. Tyumen, IUT Publ., 2016. 198 p. (In Russ.)
2. Kontorovich A.E. *Geology of oil and gas in Western Siberia*. Moscow, Nedra Publ., 1975. 673 p. (In Russ.)
3. Polishchuk Yu.M., Yashchenko I.G. Heavy oils: analytical review of patterns of spatial and temporal changes in their properties. *Oil and Gas Business*, 2005, no. 3. pp. 21–30. (In Russ.)
4. Hein F.J. Geology of bitumen and heavy oil: an overview. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2017, vol. 154, pp. 551–563.
5. Chen Q., Liu Q. Bitumen coating on oil sands clay minerals: a review. *Energy & Fuels*, 2019, vol. 33, no. 7, pp. 5933–5943.
6. Katanov Yu.E., Yagafarov A.K., Kleshchenko I.G., Savina M.E., Shlein G.A. Studying the influence of capillary phenomena in two-phase filtration of immiscible fluids in porous media. *Oil and Gas Studies*, 2020, no. 1, pp. 19–29. (In Russ.)
7. Vella D., Huppert H.E. Gravity currents in a porous medium at an inclined plane. *J. Fluid Mech*, 2006, no. 555, pp. 353–362.
8. Woods A.W., Farcas A. Capillary entry pressure and the leakage of gravity currents through a sloping layered permeable rock. *J. Fluid Mech*, 2009, no. 618, pp. 361–379.
9. Katanov Yu.E., Vaganov Y.V., Listak M.V. Geological and mathematical description of the rocks strain during behaviour of the producing solid mass in compression (Tension). *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 2020, vol. 68, no. 9, pp. 285–292.
10. Katanov Yu.E., Yagafarov A.K., Aristov A.I. Digital core: temperature field influence on two-phase filtration of fluids in rocks. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2023, vol. 334, no. 10, pp. 108–118. (In Russ.)
11. Alharthy A., Kassandrov V.V. On a crucial role of gravity in the formation of elementary particles. *Universe*, 2020, vol. 6, no. 11, article 193, pp. 1–12.
12. Zhou H. What can we expect from the inclined satellite formation for temporal gravity field determination? *Surveys in Geophysics*, 2021, vol. 42, pp. 699–726.
13. Farsi B., Sheykhi A. Structure formation in mimetic gravity. *Physical Review D*, 2022, vol. 106, no. 2, pp. 024053.
14. Chiapponi L. Dispersion induced by non-Newtonian gravity flow in a layered fracture or formation. *Journal of Fluid Mechanics*, 2020, vol. 903, pp. A14.
15. Xu Z. Gravity-driven controls on fluid and carbonate precipitation distributions in fractures. *Scientific reports*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 9400.
16. Tang M. Gravity displacement gas kick law in fractured carbonate formation. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 2022, vol. 12, no. 11, pp. 3165–3181.
17. Fedorcov V.K., Peshkov V.E., Salmanov F.K. *Development and research of reentry wells (on the example of Western Siberia)*. Moscow, Nedra Publ., 1976. 161 p. (In Russ.)
18. Goden M. *The Bethe Wavefunction*. Translated from French by P.P. Kulish, E.K. Sklyanin. Ed. by L.D. Faddeev. Moscow, Mir Publ., 1987. 352 p. (In Russ.)
19. Shannon K. *Work on information theory and cybernetics*. Moscow, Inostrannoy literature Publ., 1963. 830 p. (In Russ.)
20. Zhurkov S.N., Kuksenko V.S., Petrov V.A. Physical bases of mechanical fracture prediction. *Reports of the Academy of Sciences. Russian Academy of Sciences*, 1981, vol. 259, no. 6, pp. 1350–1353. (In Russ.)
21. Zhurkov S.N., Novak I.I., Poretsky S.A., Yakimenko I.Yu. Study of kinetics of microcrack nucleation in alkaline-halide crystals by light scattering. *Solid State Physics*, 1987, vol. 29, no. 1, pp. 156–164. (In Russ.)
22. Mikhaylov V.N. *The universal gravitation law*. Moscow, Editorial URSS Publ., 2004. 184 p. (In Russ.)
23. Milyukov V.K. Does the gravitational constant change. *Nature*, 1986, no. 6, pp. 96–104. (In Russ.)
24. Khalilov E.N. *Gravitational waves and geodynamics. To the 90th Anniversary of Viktor Efimovich Khain, Academician of Academy of Sciences, Professor Emeritus of Moscow State University*. Baku, Berlin, Moscow, Elm-ICSD/IAS Publ., 2004. 331 p. (In Russ.)
25. Katanov Yu.E., Yagafarov A.K., Aristov A.I., Shlein G.A. Gravity flow of gas-liquid mixtures in Porous Media. *Journal of Natural and Technical Sciences*. Moscow, Sputnik Plus Publ. House, 2023. No. 3, pp. 155–167. (In Russ.)
26. Polyanskij S.I. *Theory of electromagnetic field and propagation of radio waves*. Ed. by A.M. Somov. Moscow, Hot line – Telecom Publ. house, 2023. 272 p. (In Russ.)
27. Volchenko A.P. *Lorentz transformation as an object of classical mechanics*. Moscow, Lenand Publ., 2022. 136 p. (In Russ.)

Information about the authors

Yuri E. Katanov, Cand. Sc., Associate Professor, Leading Researcher, Industrial University of Tyumen, 70, Melnikaita street, Tyumen, 625039, Russian Federation. katanov-juri@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5983-4040>

Alik K. Yagafarov, Dr. Sc., Professor, Honored Geologist of the Russian Federation, Academician of V.I. Vernadsky Russian Academy of Natural Sciences, Honored Oil Worker of the Tyumen Region, Industrial University of Tyumen, 70, Melnikaita street, Tyumen, 625039, Russian Federation. jagafarovak@tyuiu.ru

Received: 08.11.2024

Revised: 06.12.2024

Accepted: 04.08.2025