

УДК 553.98

<https://doi.org/10.65207/1680-2373-2025-2-60-70>

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ЭМЕРДЖЕНТНОСТИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

И. Р. Захария<sup>1</sup>, А. А. Ерошенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственное предприятие «НПЦ по геологии»

Филиал «Институт геологии»

ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь

E-mail: ramzes0409@gmail.com,

<sup>2</sup>РУП «Производственное объединение “Белоруснефть”»

Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти

ул. Книжная, 15а, 246003, Гомель, Беларусь

E-mail: a.eroshenko@beloil.by

*Пустотное пространство (ПП) – важный элемент породы-коллектора, с которым связано содержание углеводородов (УВ) и строение которого определяет протекание всех процессов по извлечению УВ из недр. От строения ПП и его свойств непосредственно зависит и конечная нефтеотдача пластов при разработке месторождений нефти. Несмотря на развитие технологий и методик изучения ПП, мы так и не приблизились как к полному пониманию строения и физических характеристик этого образования, так и к возможности описать процессы движения флюидов в пустотном пространстве горных пород. Применена процедура рассмотрения проблемы с позиций системного подхода: разделение геологических объектов на уровни с применением принципа сложных систем. Предлагается альтернативный подход к изучению ПП и пониманию происходящих в нем процессов, основой которого является рассмотрение пустотного пространства коллектора как эмерджентного образования, эмерджентной структуры горной породы, что позволяет охарактеризовать ПП по эмерджентным свойствам.*

**Ключевые слова:** горная порода, пустотное пространство, моделирование, свойства, системный подход, иерархичность строения, эмерджентность.

### ВВЕДЕНИЕ

Неотъемлемым атрибутом горной породы-коллектора, которая может вмещать в себе и отдавать при внешнем воздействии пластовые флюиды, является пустотное пространство. Пустотное пространство пластов-коллекторов – весьма важное образование уровня горной породы (ГП), и конкретно на это образование направлены все усилия по извлечению УВ из пластов в процессе разработки месторождений.

Без детального изучения пустотного пространства, без понимания сущности происходящих в нем процессов невозможно точно оценить запасы/ресурсы УВ, отслеживать и управлять фильтрационными потоками флюидов в продуктивном пласте, а следовательно, и эффективно разрабатывать месторождение, максимизировать нефтеотдачу. Это

основа (геологическая основа) для принятия технологических и экономических решений в нефтедобыче.

Но строение пустотного пространства (СПП) чрезвычайно сложное, и до настоящего времени нет оптимальной процедуры, методик изучения как строения ПП реальных пород, так и процессов движения флюидов в этой среде. Более того, не лучше обстоит дело и с модельными построениями ПП.

Существует множество методов изучения строения пустотного пространства: математическое моделирование (создание и описание идеализированных моделей ПП), лабораторные методы (микроскопия, ртутная порометрия, газовая порометрия, ультразвуковая порометрия, насыщение красителями и люминофорами), методы компьютерной томографии и электронной микроскопии, 3D-моделирование пустотного пространства.

## МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА

### Математические (классические) модели ПП

Один из путей изучения строения пустотного пространства – математическое моделирование, то есть создание и описание идеализированных моделей ПП.

Идеальный грунт – капиллярная модель, представляющая собой пустотную среду с гладкими непересекающимися каналами цилиндрической формы одинакового сечения, параллельными направлению фильтрации. Это простейшая и единственная модель горной породы, строение пустотного пространства которой поддается полному и всестороннему описанию, то есть можно определить и/или рассчитать все его параметры, увязать свойства и характеристики.

Модели фиктивного грунта представляют собой различные упаковки одинаковых сферических частиц. Модель Ч. Слихтера – геометрически правильно упакованные сферические частицы одинакового размера: для максимально плотной гексагональной упаковки системы характерны два типа их укладки – слоеная решетчатая и гексагональная плотная (нерешетчатая) упаковки [6; 7]. В модели К. Терцаги одинаковые сферические частицы упакованы хаотично. Несмотря на идеализированную, упрощенную модель строения ПП в данных моделях, вводимый ряд упрощений и допущений не позволяет привязать к физическим характеристикам этих моделей свойства ПП, рассчитать фильтрацию в ней флюидов, как это возможно для идеальной модели. Также детальный анализ этих моделей показал ошибки и недопустимые упрощения в расчетах фильтрации флюидов в ПП моделей: это и упрощение формы пустотного канала фильтрации до треугольного, неверный расчет осредненной площади канала и средней длины канала между двумя слоями для модели Ч. Слихтера; в модели К. Терцаги, кроме некоторых ошибок, что и у Ч. Слихтера, вводится в расчеты величин проницаемости модели и скорости фильтрации условная величина «гидравлический радиус каналов фильтрации», которая была применена Л. Лойцянским (1970) [4] для приблизительного сравнения сопротивления фильтрации в трубах сложного фигурного сечения – но не для расчета скоростей фильтрации! Но «... прием этот очень груб и имеет смысл только если у сравниваемых труб сечения геометрически близки друг к другу» [4, с. 479]. Не устраняются недостатки моделей Ч. Слихтера и К. Терцаги и в других моделях фиктивного

грунта; усложнение моделей вносит новые неточности. Так, в модели И. Козени удлинение пути фильтрации – отношение длины усредненного канала пути фильтрации между двумя слоями упаковки сфер  $l$  к собственно расстоянию между слоями  $h$  – предполагается равным 2; П. Карман считает его равным  $\sqrt{2}$  (то есть 1,414). Нами же для гексагональной упаковки, для которой удлинение будет максимальным из всех видов упаковки одинаковых сферических частиц, рассчитано отношение  $l/h$  по геометрическим показателям, равное 1,214.

В моделях трещиноватых сред также имеются свои идеализации: в модели Пейна это параллельные трещины, гладкая поверхность, постоянное раскрытие трещин в расчетах и др., то есть не учитывается сложный характер раскола массива породы, взаиморасположение трещин (пересечения, ветвлении), влияние напряженного состояния пласта на раскрытость. В модели Уоррена-Рута (модели с двойной пористостью среды) возникает сложность параметризации: требуется раздельное определение характеристик матрицы и трещин; не учитываются динамические изменения (например, смыкание трещин при росте нагрузки на породу).

Таким образом, приведенная краткая информация об анализе идеализированных модельных построений ПП показала, что даже для моделей грунта, составленных из одинаковых сферических частиц, невозможно описать ни само строение и конфигурацию пустот, ни увязать характеристики ПП с процессами движения в пустотных каналах флюидов. И единственной моделью горной породы, строение пустотного пространства которой поддается полному и всестороннему описанию, является идеальный грунт. Строение ПП реальных пород, идя по такому пути моделирования, охарактеризовать невозможно.

### Лабораторные методы изучения строения ПП

Кроме рассмотренных модельных построений ПП, существует целый ряд аналитических методов изучения пустотного пространства горных пород. Вкратце приведем основные наиболее часто применяемые.

Микроскопический метод изучения пород позволяет определять следующие характеристики пород: минеральный (вещественный) состав; структуру, текстуру породы; форменные компоненты: количество, размер зерен, характер упаковки; цемент – состав, количество, тип цементации; наличие примесей и органических веществ – количество, характер распределения в породе; постседиментационные преобразования; характеристика пустотного

пространства – наличие и типы пустот, их генезис, морфология и размеры, соотношение пор, трещин, каверн (рис. 1, 2) [1]. Метод показывает только срез

ПП и не позволяет представить объемную структуру, проследить пространственное развитие и изменение пустот.

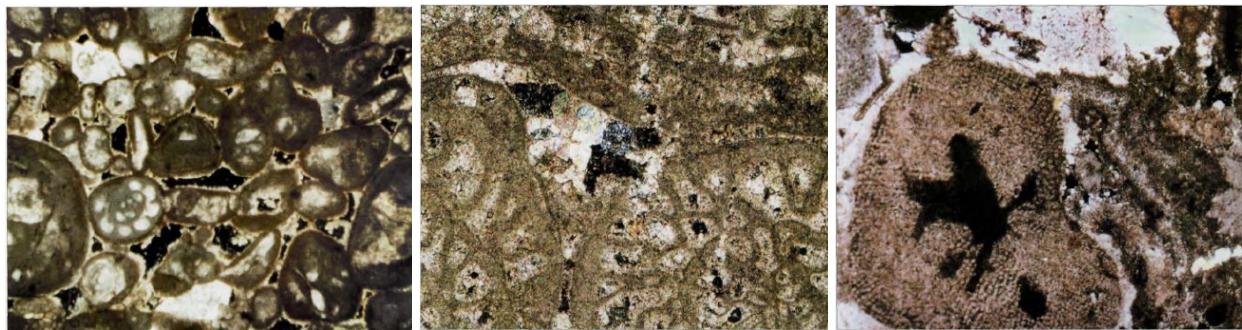


Рисунок 1 – Микроскопия: образцы карбонатных пород Прикаспийской провинции, 10× увеличение, скрещенные николи (пустоты – черный цвет) (по материалам К. И. Багринцевой, 2003) [1]

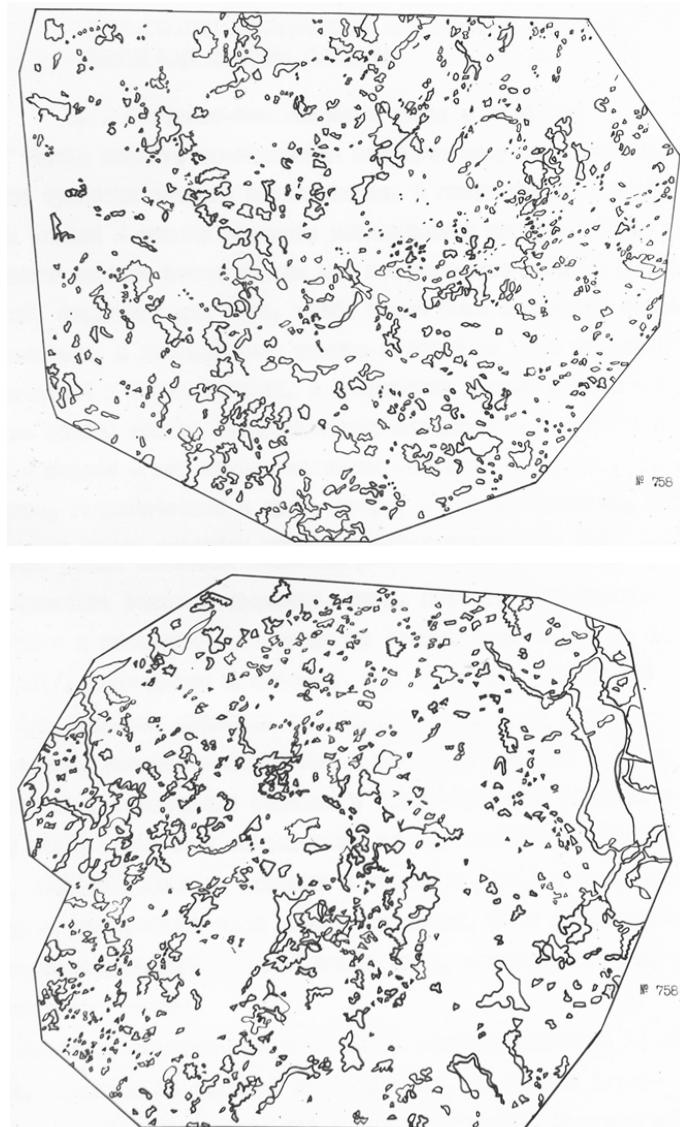


Рисунок 2 – Реконструкция пустот по шлифам образцов №№ 758 и 758-1, отобранных в скв. 15 Полесского нефтяного месторождения из интервала 2671,6–2686,4 м (отложения дроздовского горизонта, известняк пористо-кавернозный, трещиноватый)

Ртутная порометрия (ртутная порозиметрия) – метод, основанный на вдавливании ртути как не смачивающей жидкости под давлением в образец ГП с одновременным замером давления и объема вдавленной ртути. Это широко распространенный ранее метод измерения объема пор (общего и удельного) и распределения их по размерам в диапазоне мезо- и макропор. Метод не дает представления ни о форме пустот, ни о строении ГП.

Методы насыщения образцов красителями и люминофорами – одни из самых популярных

в недалеком прошлом, позволяющие визуализировать внутреннее строение породы, ее пустотное пространство, в том числе и способом растворения карбонатной породы получать слепок ПП. Метод капиллярного насыщения горных пород люминесцирующими жидкостями (метод К. И. Багринцевой) основан на капиллярной пропитке образца ГП люминофором и фиксации свечения люминофора в пустотах в ультрафиолете фотографированием [1]. Используется для измерения раскрытости трещин, можно рассчитать густоту трещинной системы (рис. 3).

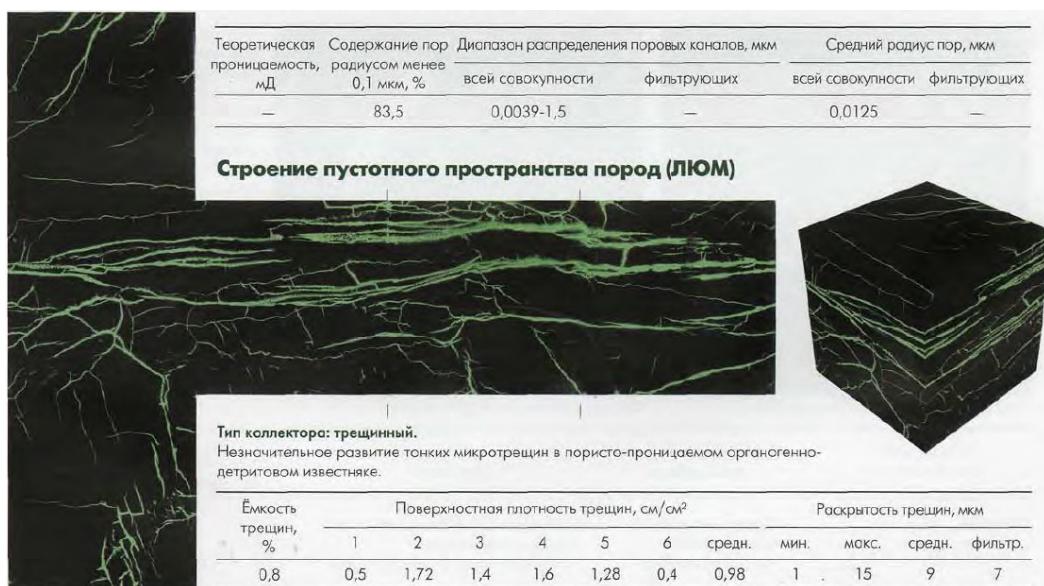


Рисунок 3 – Изучение строения пустотного пространства по методике К. И. Багринцевой (пропитка люминофором) [1]

## МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПП

Методы компьютерной томографии.  $\mu$ СТ (микро-КТ, микрокомпьютерная томография) и X-ray СТ (рентгеновская компьютерная томография) – это методы рентгеновской томографии, используемые для изучения внутренней структуры горных пород.  $\mu$ СТ – рентгеновская томография с высоким разрешением (обычно от 0,5 до 50 микрон). Применяется для детального анализа пустот, изучения формы, размера и связности пустот; анализа распределения флюидов в ПП (нефть, вода, газ); моделирования фильтрации в ПП (Digital Rock Physics). X-ray СТ (рентгеновская компьютерная томография, или обычна КТ) – применяется в медицине, промышленности, науке. Разрешение 50-500 мкм. В геологии применяется для скрининга крупных образцов, изучения пористости, трещиноватости, кавернозности (анализ поровых каналов в песчаниках, изучение трещин в сланцах, обнаружение

крупных каверн в карбонатах), оценки фильтрации флюидов, быстрого сканирования кернов перед детальным изучением и др.

Сканирующая (растровая) электронная микроскопия (СЭМ и РЭМ) для исследования и визуализации структуры ПП. Метод позволяет проводить изучение микроморфологии и тонкой структуры поверхности различных материалов с помощью сфокусированного электронного пучка, сканирующего поверхность образца. Благодаря меньшей, чем у света, длине волн электронов, растровый (сканирующий) электронный микроскоп позволяет изучать образцы с разрешением, в десять тысяч раз превосходящим разрешение самого совершенного светооптического микроскопа, поэтому с помощью СЭМ/РЭМ возможно изучение объектов нанометровых размеров (рис. 4). Метод позволяет определять как минеральный состав в пределах среза исследуемого образца с расчетом массовой доли каждого минерала, так и его элементный состав (рис. 5) [8].

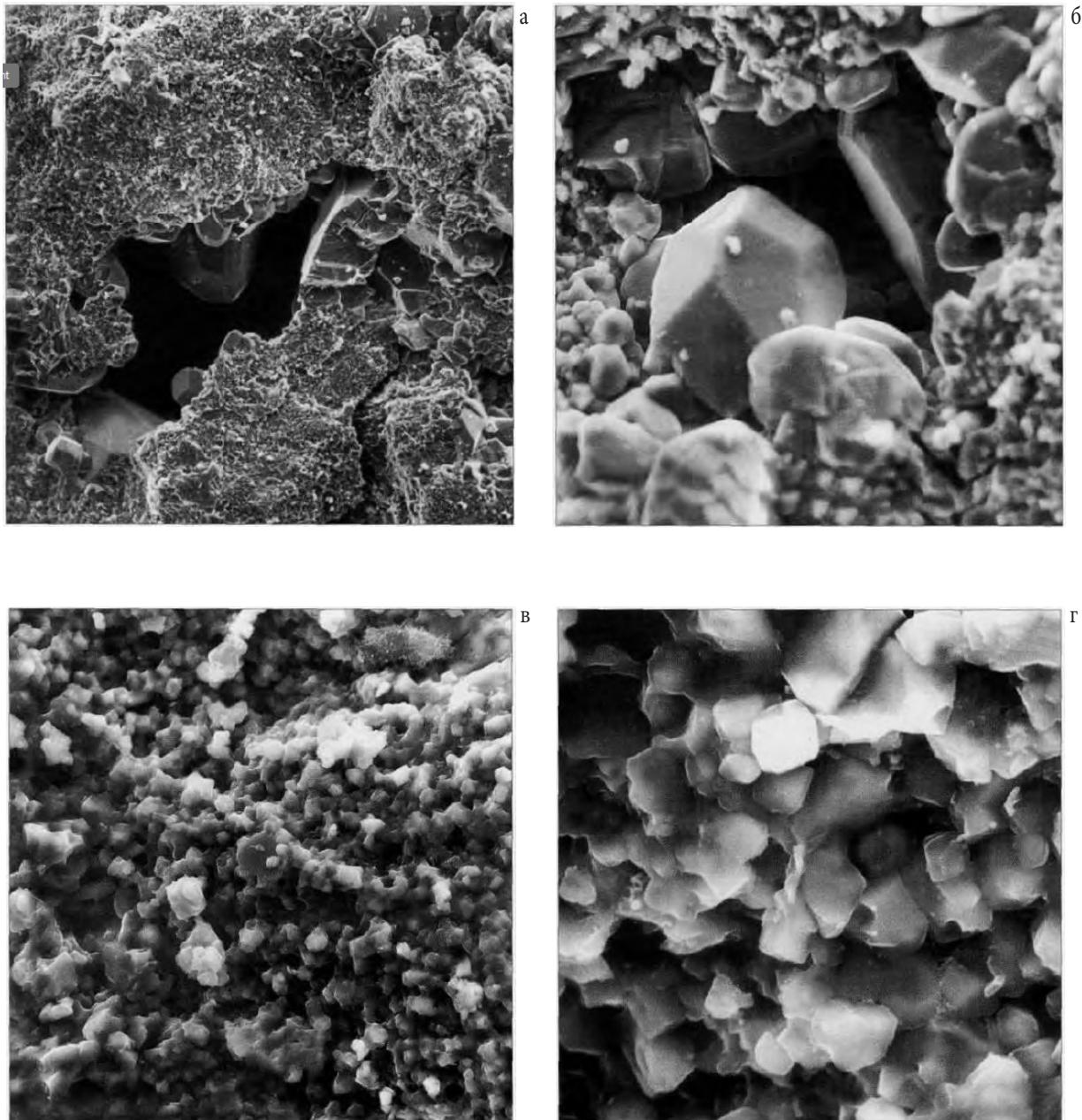
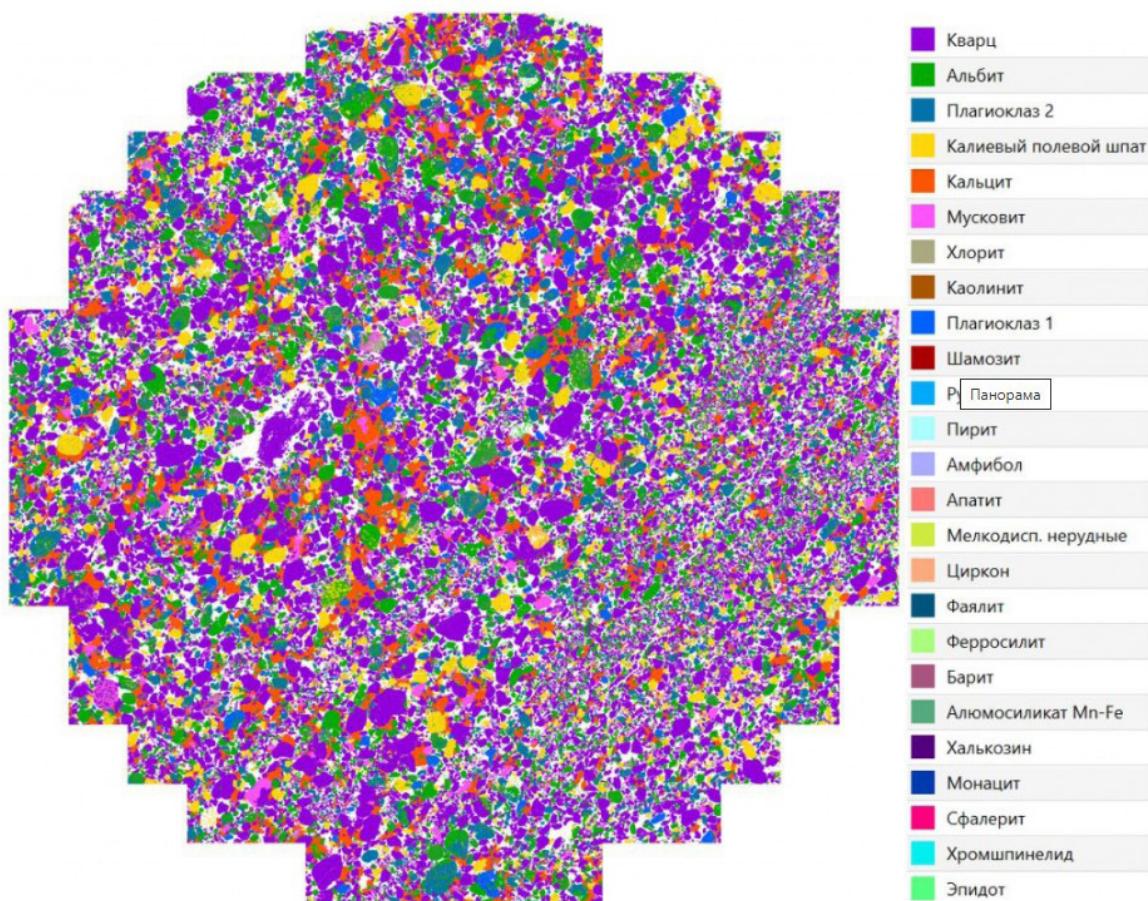


Рисунок 4 – Метод электронной микроскопии (СЭМ). Карбонаты Тимано-Печоры: а – увеличение 100х; б – увеличение 300х; в – увеличение 1000х; г – увеличение 3000х (по К. И. Багринцевой, 2003) [1]



**Рисунок 5 – СЭМ: панорамное изображение отсканированной поверхности образца керна, каждый минерал кодируется своим цветом. Пустоты на снимке – белым цветом (по материалам А. Старцевой, 2019) [8]**

*3D-моделирование пустотного пространства.* На основе данных компьютерной томографии (микро-КТ) строится 3D-модель внутренней структуры породы, включая поры, трещины и минеральные фазы. К 3D-моделированию относится и метод, или *технология, «Цифровой керна»* – это совокупность данных об объемной структуре породы, элементном, химическом и минеральном составе компонентов коллектора, пустотном пространстве, УВ, на различных масштабах – от метров до нанометров, а также результаты компьютерной обработки трехмерных моделей внутреннего строения образов и моделирования физических свойств. В процессе

исследования получают серии виртуальных сечений (срезов) образца ГП, которые собираются в единую трехмерную модель, позволяющую проводить анализ строения горной породы и оценивать характер взаимоотношения ее отдельных компонентов (рис. 6) [5]. Такая модель подвергается дальнейшей компьютерной обработке и численному анализу для получения качественной и количественной информации о структуре образца, включающей в себя характеристику внутренней структуры, информацию о количестве и объемной доле зерен, пор и различных включений в образце. На этом основании производится визуализация сети пор (рис. 7) [9].

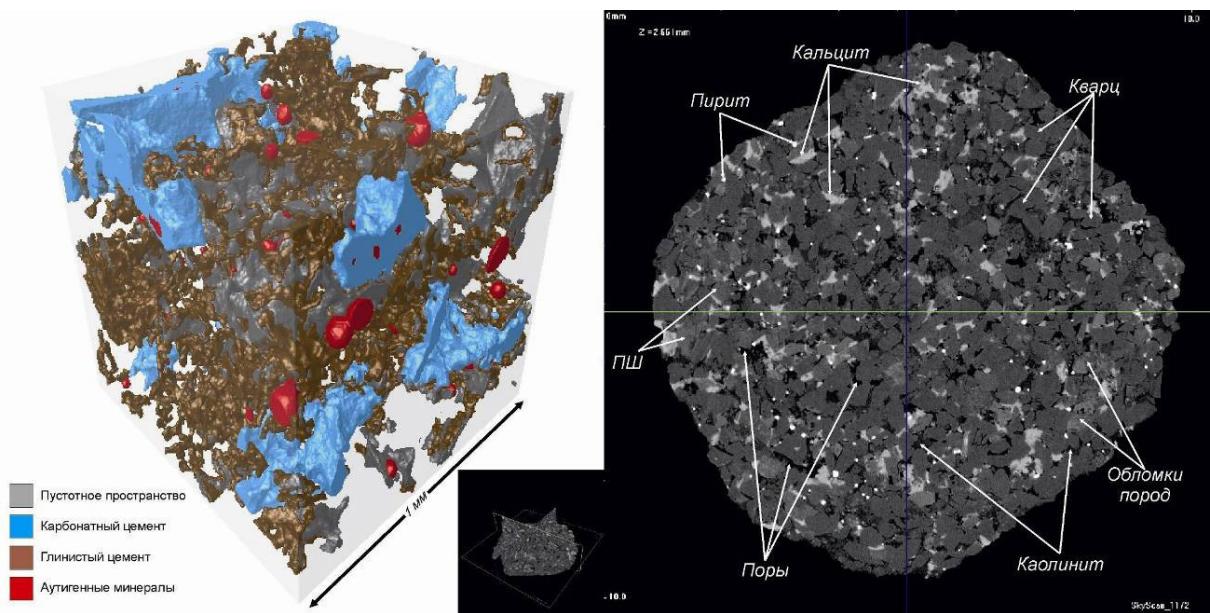


Рисунок 6 – Пример объемной модели карбонатизированного песчаника (по материалам Д. В. Короста, 2012) [5]

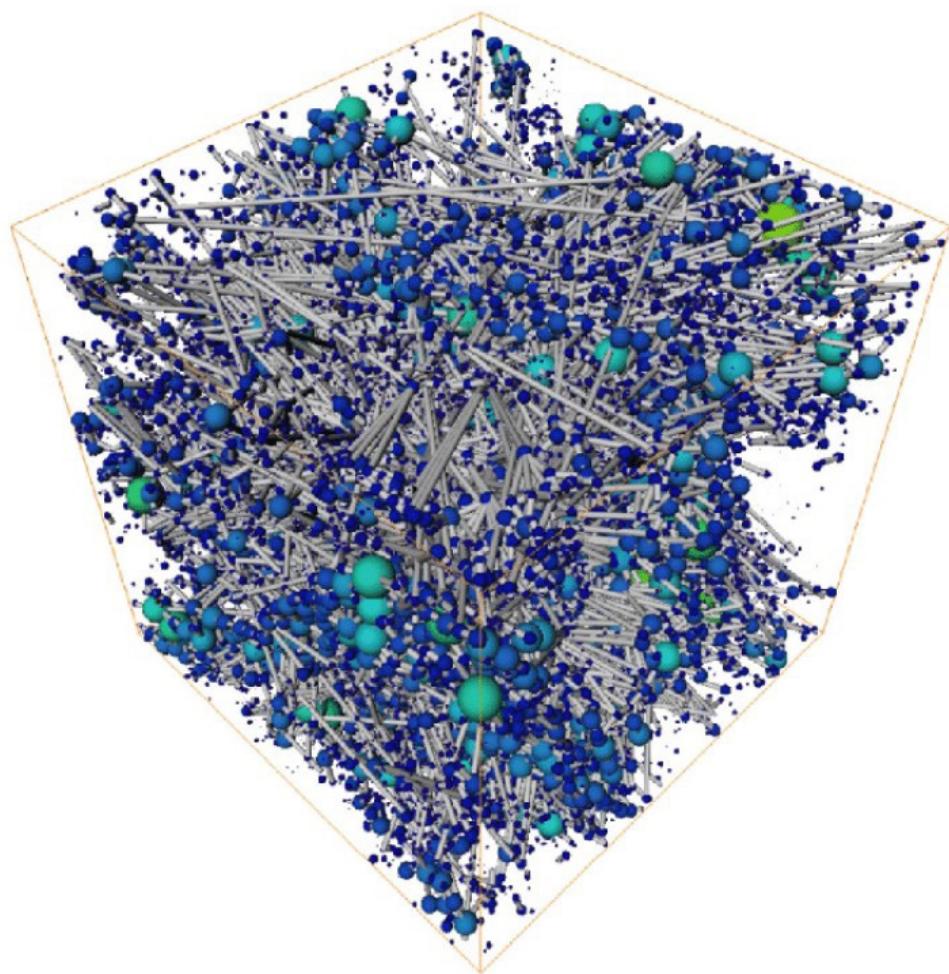


Рисунок 7 – Визуализация сети пор, сгенерированной на основе 3D-моделирования ПП реального образца: ПП представлено в виде решетки из сфер, соединенных узкими цилиндрами – поровыми каналами (горловинами) (по материалам Jan Goral, 2020) [9]

Представленная на рисунке 7 3D-модель ПП реального образца является в принципе квинтэссенцией всех методов моделирования пустотного пространства: пустотные каналы упрощены до самого простого их представления в виде цилиндров, а сами пустоты представлены в идеализированном виде как сферы. Но, невзирая на все упрощения модельного представления пустотной среды, охарактеризовать такой коллектор, описать математическим аппаратом, установить какие-то закономерности движения флюидов в такой модели практически невозможно.

Таким образом, методы КТ показывают нам действительно сложнейшую картину структуры ПП на микроуровне. Благодаря усовершенствованию технологий исследования ПП мы получаем все больше информации о внутреннем строении пород-коллекторов, модели все усложняются. Растет объем описательной разнородной в целом статистической информации, в итоге мы имеем огромный дополнительный массив Big Data, который также требует приложения дополнительных усилий для обработки и польза от которого непропорционально мала по отношению к затратам. Но к решению вопросов фильтрации флюидов в таких модельных средах, взаимодействия флюидов и породы, извлечения УВ из реальных коллекторов и модельных структур даже такое сложное моделирование нас практически не приближает.

Масштабирование отображения СПП от реальных размеров до микро- и наноуровней только более полно показало всю картину сложности его строения, в то же время разрушило наши надежды на то, что можно реально охарактеризовать, описать математическим аппаратом само строение пустотного пространства породы, увязать сложные физические характеристики внутреннего строения породы с процессами взаимодействия породы-коллектора с пластовыми флюидами.

Также важным аспектом являются весьма высокие цены как на оборудование, так и за услуги по проведению анализов методами КТ.

Резюме: все (!) методы изучения строения пустотного пространства породы, его физических характеристик являются достаточно трудозатратными, часто дорогими и очень дорогими, и все они так и не дают полной информации о СПП.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Пустотное пространство породы-коллектора как эмерджентное образование

Для нефтегазовой геологии и нефтедобычи, а также с целью познания горной породы как

элемента геологического пространства планеты нам нужно не просто получить информацию о строении пустотного пространства породы во всей его сложности, но и увязать полученные различными методами физические характеристики пустотного пространства и горной породы с процессами взаимодействия «порода – флюид» в том же ПП – прочностью связи нефти и воды с поверхностью пустот, смачиваемостью, адгезией, фильтрационными и емкостными возможностями и др. И для этого надо иметь полную картину того, что из себя представляет пустотное пространство горной породы, – не только физические характеристики, но и свойства, продуцируемые этими характеристиками.

Так как вопрос получения операбельной информации о строении пустотного пространства пород-коллекторов не решается через те физические характеристики, которые нам дают вышеописанные методы и методики, авторами предложена процедура рассмотрения проблемы с позиции системного подхода: разделение геологических объектов на уровни с применением принципа иерархичности строения сложных систем.

В геологии простые по отношению к исследуемым ее проблемам системы образуются на уровне минеральных частиц, составляющих горную породу (хотя ряд геологических дисциплин (минералогия, кристаллография и др.) рассматривают еще более глубинные уровни строения геологических объектов), и, следовательно, горная порода – первый иерархический уровень рассмотрения сложных геологических объектов, процессов. На этом иерархическом уровне геологические объекты – горные породы – имеют свои **физические характеристики и физические свойства**. Согласно теории познания (эпистемологии/гносеологии) и не противореча кантовскому трансцендентальному идеализму, сущностные стороны (физические характеристики) всякой вещи, объекта («вещи в себе» по И. Канту) раскрываются только через явление (с нашей точки зрения, через взаимодействие с другими вещами, которое может наблюдаться или быть проявленным в явлении) и проявляются через свойства вещи, объекта. Отсюда умозаключение, что труднопознаваемые (непознаваемые по И. Канту) объекты можно познать не через физические характеристики, а через их свойства, которые проявляются в процессах взаимодействия с окружающим миром.

Основой для выделения иерархического уровня сложной системы являются новое образование и новые свойства уровня системы, которых нет на предыдущем уровне. Эти вновь появившиеся свойства системы называются эмерджентными [3].

Для иерархического уровня «горная порода» новым образованием по отношению к предыдущему уровню иерархии геологических объектов – минеральному – является пустотное пространство как часть системы ГП, а эмерджентными свойствами этого образования выступают емкостные, фильтрационные и дисперсионно-поверхностные, представляющие собой тройку коллекторских свойств.

Само строение (структура) пустотного пространства (межзерновые поры, каверны, трещины, характер взаимного расположения минеральных частиц и пустот, их размеры, дисперсность и др.) формируется в результате различных геологических процессов (седиментации, диагенеза, тектонических и др. деформаций, химического растворения, кристаллизации из растворов, метаморфизма и др.), но при этом приобретает новые качества, которые нельзя спрогнозировать, просто зная свойства минералов или условия осадконакопления. Поэтому можно обоснованно сказать, что пустотное пространство горной породы-коллектора нужно рассматривать как эмерджентное образование, эмерджентную структуру. Такой подход является ступенькой к познанию сущности этого образования – ПП и породы-коллектора в целом – и может быть ключом к решению вопроса оценки сложности строения ПП.

### **Обоснование контролируемых свойств объектов согласно принципу эмерджентности**

Как при поисково-разведочных работах на нефть и газ, так и при разработке месторождений необходимо знать фундаментальные свойства пород-коллекторов как основного держателя, емкости, в которой содержатся эти УВ. Перечень свойств, отвечающих как за взаимодействие флюидов, содержащихся в ПП породы, с самой породой, так и за движение флюидов к скважинам и извлечение их из недр, довольно обширен. Но в рассматриваемом нами вопросе мы остановимся только на свойствах, относящихся к самой горной породе и ее эмерджентному образованию – пустотному пространству.

Что такое свойство? Свойство в философии – неотъемлемый атрибут предмета, вещи (объекта), определяющий его вид, тип, поведение и др.; свойство – сторона проявления качества. Более емкое определение: свойство – это проявление сущности объекта в отношении с другими объектами, субъектами при взаимодействии, воздействии внешних факторов, сил.

Свойства объекта формируются совокупностью всех сущностных сторон (физических характеристик) объекта. Каждая характеристика находит свое

отражение в свойствах, и изменение одной или нескольких характеристик объекта обязательно отразится на его свойствах – повлечет изменение свойств объекта.

Если свойство – аспект проявления качества, то комплекс (набор) свойств объекта формирует его интегративное качество. При том, что полный комплекс свойств формирует общее интегративное качество объекта, оно все же определяется теми свойствами, элиминация (исключение) одного или нескольких из них ведет к уничтожению объекта. Но это же определение относится и к эмерджентным свойствам. Следовательно, качество сложных объектов можно определять по эмерджентным свойствам, в случае горной породы – это свойства пустотного пространства как эмерджентного образования [2].

Не всякое свойство объекта должно рассматриваться при определении качества в контексте изучаемого вопроса: свойство, присущее конкретной вещи, может проявляться в одних обстоятельствах и не проявляться в других, то есть оно может не быть отличительным или существенным. Например, магнитная восприимчивость породы не является существенной и значимой при рассмотрении взаимодействия породы с насыщающей ее нефтью, то есть при оценке качества породы как коллектора.

Набор свойств породы, формирующих общее интегративное качество, весьма обширен и включает как аддитивные свойства (химические, магнитные, радиоактивность, частично термические, механические, энергетические), так и эмерджентные (емкостные, фильтрационные, дисперсионно-поверхностные, механические).

Но качество горной породы как коллектора, содержащего пластовые флюиды и способного отдавать их в процессе разработки залежи УВ, определяется только эмерджентными свойствами. Если же рассматривать ПП породы, то качество его как структуры в статике определяется теми же эмерджентными свойствами за вычетом механических свойств, которые могут повлиять на данную структуру только в динамике, при изменении внешних нагрузок ( $\Delta P_{\text{горн}}$ ) и пластового давления ( $\Delta P_{\text{пл}}$ ). То есть механические свойства не являются отличительными или существенными в контексте рассмотрения ПП коллекторских свойств породы, его качество определено контролирующими свойствами, которыми являются емкостные, фильтрационные, дисперсионно-поверхностные свойства.

Таким образом, качество эмерджентного образования уровня горной породы – пустотного пространства – контролируется его свойствами:

емкостными, отвечающими за содержание пластовых флюидов; фильтрационными – контролирующими процессы движения флюидов в ПП; поверхностно-дисперсионными, отвечающими за взаимодействие флюидов и поверхности ПП. При невозможности описать ПП посредством его

физических характеристик свойства ПП горной породы всегда можно оценить, представить в количественном виде и посредством эмерджентных свойств уже выражать само строение ПП, таким образом идентифицировать саму горную породу в ряде других аналогичных объектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Багринцева, К. И.** Атлас карбонатных коллекторов месторождений нефти и газа Восточно-Европейской и Сибирской платформ. / К. И. Багринцева, А. Н. Дмитриевский, Р. А. Бочко. – М. : 2003. – 264 с.
- Захария, И. Р.** О цифровизации в нефтяной геологии / И. Р. Захария // Новые вызовы фундаментальной и прикладной геологии нефти и газа – XXI век : материалы Всеросс. науч. конф., Новосибирск, 2021. – С. 26–29.
- Захария, И. Р.** Системный анализ в геологии (тезисы докл.) / И. Р. Захария // Тенденции и проблемы развития наук о Земле в современном мире : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : ГГУ, 2024. – Ч. 1. – С. 73–77.
- Лойцянский, Л. Г.** Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1970. – 904 с.
- Неоднородность строения терригенных коллекторов и типы структуры их пустотного пространства (на примере верхней части тюменской свиты Уренского нефтяного месторождения Западной Сибири) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.12 / Д. В. Корост. – М., 2012. – 24 с.**
- Ромм, Е. С.** Структурные модели порового пространства горных пород / Е. С. Ромм. – Л. : Недра, 1985. – 240 с.
- Слоэн, Н. Дж. А.** Упаковка шаров / Н. Дж. А. Слоэн // В мире науки. – 1984. – № 3. – С. 72–82.
- Старцева, А.** Исследование керна с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN TIMA / А. Старцева // Геология и минералогия. – 2019. – URL: <https://tescan.ru/primenenie/articles/geologiya-i-mineralogiya/issledovanie-kerna-s-pomoshchyu-skaniruyushchego-elektronnogo-mikroskopa-tescan-tima/> (дата обращения: 19.07.2025).
- Goral, Jan & Deo, Milind. (2020). Nanofabrication of synthetic nanoporous geomaterials: from nanoscale-resolution 3D imaging to nano-3D-printed digital (shale) rock / J. Goral, M. Deo // Scientific Reports. – 2020. – P. 1–23. DOI: 10.1038/s41598-020-78467-z.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 24.09.2025

Рэцэнзент M. A. Дзямяненка

## ПРЫМЯНЕНИЕ ПРЫНЦЫПУ ЭМЕРДЖЭНТНАСЦІ ДЛЯ ВЫВУЧЭННЯ ПУСТОТНАЙ ПРАСТОРЫ ПАРОД-КАЛЕКТАРАЎ

I. P. Захарыя<sup>1</sup>, Г. А. Ерашэнка<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»  
Філіял «Інтыгут геалогіі»  
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь  
E-mail: ramzes0409@gmail.com

<sup>2</sup>РУП «Вытворчае аб’яднанне “Беларуснафта”»  
Беларускі навукова-даследчы і праектны інстытут нафты  
вул. Кніжная, 15а, 246003, Гомель, Беларусь  
E-mail: a.eroshenko@beloil.by

Пустотная прастора (ПП) – важны элемент пароды-калектара, з якім звязана ўтрыманне вуглевадараў (ВВ) і будова якога вызначае праходжанне ўсіх працэсаў па выманні ВВ з нетраў. Ад будовы ПП і яго ўласцівасцей непасрэдна залежыць і канчатковая нафтааддача пластаў пры распрацоўцы радовішчаў нафты. Нягледзячы на развіццё тэхналогій і методык вывучэння ПП, мы так і не наблізіліся як да поўнага разумення будовы і фізічных хараクтарыстык гэтага ўтварэння, так і да магчымасці апісаць працэсы руху флюідаў у пустотнай прасторы горных парод. Аўтарамі прыменена працэдура разгляду проблемы

з пазіцый сістэмнага падыходу: падзел геалагічных аб'ектаў на іерархічныя ўзроўні з прымяненнем прынцыпу складаных сістэм. Прапануеца альтэрнатывны падыход да вывучэння ПП і разумення праходзячых у ёй працэсаў, асновай якога з'яўляеца разгляд пустотнай прасторы калектара як эмерджэнтнага ўтварэння, эмерджэнтнай структуры горнай пароды, што дазваляе ахарактарызацію ПП па эмерджэнтных уласцівасцях.

**Ключавыя слова:** горная парода, пустотная прастора, мадэляванне, уласцівасці, сістэмны падыход, іерархічнасць пабудовы, эмерджэнтнасць.

## APPLICATION OF THE PRINCIPLE OF EMERGENCE TO THE STUDY OF THE VOID SPACE OF RESERVOIR ROCKS

I. Zakharia<sup>1</sup>, A. Eroshenko<sup>2</sup>

1State Enterprise “Research and Production Center for Geology”  
Branch “Institute of Geology”

7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus  
E-mail: ramzes0409@gmail.com

2State Production Association “Belorusneft”  
Belarusian Oil Research and Design Institute  
15a Knizhnaya St, 246003, Gomel, Belarus  
E-mail: a.eroshenko@beloil.by

*Void space (VS) is a key reservoir rock element associated with hydrocarbon (HC) content, and its structure determines all processes involved in hydrocarbon extraction from the subsurface. VS structure and its properties directly impact ultimate oil recovery during oil field development. Despite advances in VS technologies and methods, we remain far from fully understanding the structure and physical characteristics of this formation, nor from describing the processes of fluid movement within VS. A systems-based approach is used to address this problem, dividing geological objects into levels using the principle of complex systems. An alternative approach to studying VS and understanding the processes occurring within it is proposed. This approach is based on considering the reservoir void space as an emergent formation, an emergent structure of the rock, allowing VS to be characterized by its emergent properties.*

**Keywords:** rock formation, void space, modeling, properties, systematic approach, hierarchical structure, emergence.