

**Ж.Т. Ахметова, А.М. Айдарханов, К.М. Бейсембаев,  
В.Ф. Дёмин, С.С. Жетесов, Ж.Н. Нокина,  
М.Н. Шманов**

## **ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМОГЕНЕЗА ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ДОННЫХ ПОРОД НЕФТЕГАЗОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ**

*Рассмотрены вопросы состояния донных пород при разработке нефтегазовых залежей их формоизменений, вызывающих крупные аварии.*

*Ключевые слова: разуплотнение, бифуркация, напряжённое состояние.*

---

**С**остояние разработки Каспия. По экспертным оценкам, каспийские резервы нефти имеют тот же самый порядок, что и запасы Северного моря, но опасности от нефтедобычи во много раз больше и это связано с ограниченностью водоёма. Споры о разделе шельфа между пятью странами, ведущими разработку, без позитивных решений приводят к многочисленным техническим ошибкам технологий. Трагичность ситуации подчеркивается и тем, что нефтедобыча характеризуется наукоемким оборудованием для её интенсификации при низком уровне применения «экозащитных» технологий. Так, российские разработки наклоннонаправленного бурения обещают революцию в области активизации разрабатываемых залежей. А во времена СССР, применялись подземные ядерные взрывы (ПЯВ) с целью создания ёмкостей и разгрузки тектонических напряжений в недрах. Нанотехнологии предлагаемые Японией (университет Синсю) обещают поднять долю откачиваемой нефти из пласта с 35 % до 70 %.

**Аварии и состояние донных пород.** Интенсификация добычи оз-

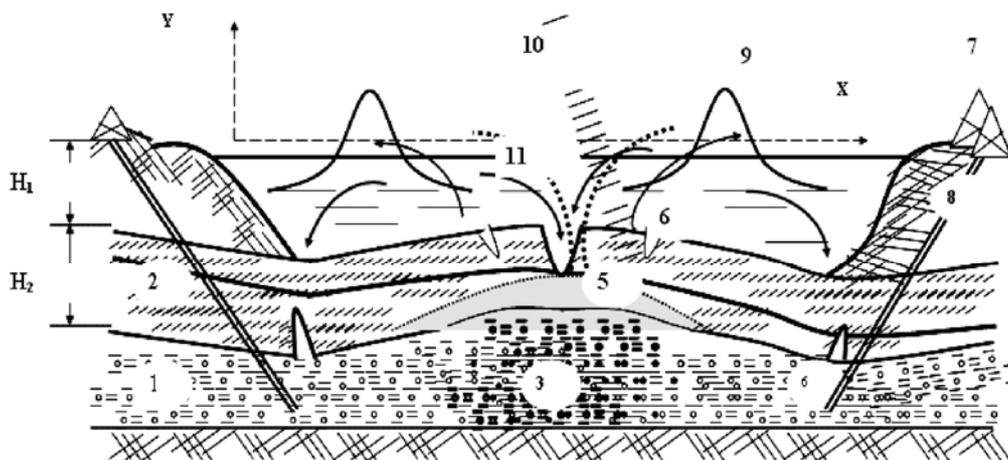
начает, что разбалансированность недр станет возрастать в ещё большей степени и она больше той, которая соответствовала донным породам мексиканского залива к моменту аварии 2010 г. А если вспомнить катастрофу на газовом месторождении Газли в Узбекистане, где погиб целый город, то масштабы предстоящего становятся представимыми. Схемы разрушения донных пород от бифуркаций, мы привели в [1, 2], они подтверждаются работами [4, 5], где указано, что «техногенные нагрузки на недра могут вызвать возмущения геодинамической активности и потоков подземных флюидов» и предложено учитывать бифуркации для смещения пород Штокмановского месторождения. Авария на Тенгизе в 1985 г., при достижении скважиной отметки в 450 м, привела к последствиям, энергетика которых трудно описать: фонтан высотой 200 м, смятые в колеса мачтовые конструкции, вырванные из своих гнезд. Но самого тяжелого не произошло и трагедия Тенгиза оказалась локальной. Одна из причин этого в постепенности разгрузки пород, поскольку Баку добывал нефть Каспия ещё в царские времена. Не исключе-

но, что и ПЯВ способствовали «освобождению» массива недр.

**Модели состояния донных пород.** Уже в 70-е годы разработчики ПЯВ указывали на возможность предотвращать землетрясения, но это возможно в случае, если иметь точную методику расчёта, она же не создана и поныне, поскольку предчувствия беды тогда ситуация не вызывала. Сложность недр (микрокосмоса) превосходит сложность макрокосмоса межзвездной среды, но её модели намного примитивнее. Причина понятна: человек, устремляясь к возвышенному, пренебрегает зоной непосредственной жизнедеятельности. Сдвинутость горняков к принципу: «добыть больше, а продать – как получить» оказалась губительной. Это все понимают, но в эпоху глобализации перейти к глобализации проблем добычи полезных ископаемых никто не хочет, хотя их «привязанность» к биосфере, биоценозу недр и охраняемым функциям самоорганизации очевидны. Работы С. Кузнецова, Ф. Глушихина, В. Рева, М. Розенбаума (авторы перечислили лишь тех, с кем были непосредственно знакомы) сдвинули эту ситуацию с мертвой точки, когда стало ясно, что без тонких процессов дифференциации недр, в моделях не обойтись. На рис. 1 представлена упрощенная схема процессов подводной разработки. Тут возникает явление, когда казалось бы статические «волны» поднятия и опускания пород могут стать динамичными и резко поменяться местами, так как это произошло с мостом на Волге в 2010 г., где колебания происходили с чередованием выпуклостей и вогнутостей по его длине. Но в современных моделях недр даже статические подъемы и опускания слоёв пород практически не используются. Для перехода же к бифуркациям в модели

следует учитывать постоянное формоизменение. Аналогичны, на наш взгляд, и аварии, 2004–2007 годов сооружений по сценарию парка «Трансвааль» [1], [3]. Явления бифуркации применительно к подземным условиям возникают при частичном «освобождении» пролета слоя, в результате чего текущая «волновая» форма становится энергетически неустойчивой и слой резко меняет форму изгиба – чаще всего сменой вогнутостей на выпуклости. При этом выделяется огромная энергия деформации, вызывающей структурное изменение состояния пород и их разрушения в модели же появляются зоны аномально высокой нагруженности. На рис. 2 представлена статическая картина нагружения зоны отработки сближенных нефтепластов. В пространстве между скважинами, состояние пласта может быть разгруженным (снижение модуля деформации), либо сжато (модуль повышают). Заметим, что при конечноэлементном решении возникают проблемы изменения точности в итерациях, связанной с нерегулярностью сетки (рис. 2), а расчёт бифуркаций возможен в случае, если после каждой итерации оценивается и строится изменённый аттрактор системы.

**Модели трещинообразования.** На стадии разрушения в зоне возможного разлома происходит формирование пластического ядра, а поскольку мощность слоя достигает десятков метров, то ядро огромно. Его моделирование на малых стендах позволяет фиксировать низкочастотные излучения от псевдотекучей зоны [6]. Исследования показывают, что по пути формирования трещины этот процесс постоянно повторяется, а его характер совпадает с процессом самофокусировки лазерного луча. Аналогия здесь во многом: концен-

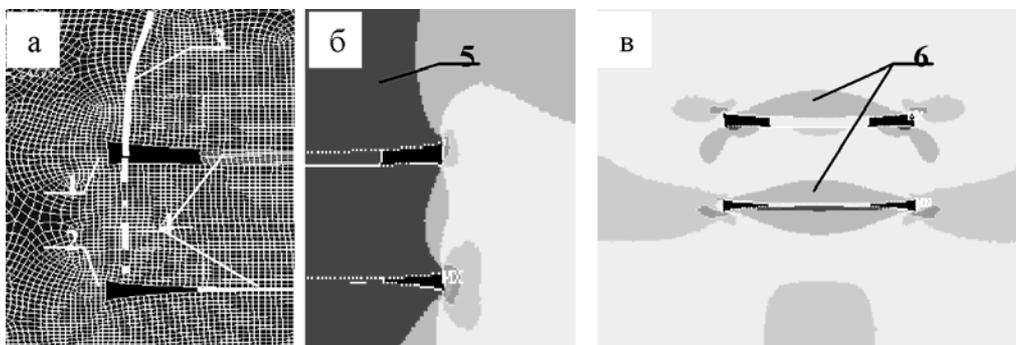


- 1 - разуплотнённая часть, вследствие добычи, нефтеносного пласта;
- 2 - Породы, разделяющие нефтеносный пласт и воду водоёма;
- 3 - Уплотнённая часть; 4 - водоём; 5 - газовая «шапка» пласта;
- 6 - Трещины растяжения; 7, 8 - буровая вышка и скважина;
- 9 - Давление воды в момент облома слоёв породы;
- 10 - Низкочастотное излучение самофокусировки при возникновении трещины и пластического течения пород в устье;
- 11 - Фонтанирование нефти.

**Рис. 1. Особенности состояния пород при морской разработке**

трация энергии происходит в вершине вытягивающегося в клин ядра. По расчётам и в опытах острие клина вытягивается, и напряжения в нём ещё более возрастают. Затем процесс переходит в предельный и в месте истонченных пород формируется тонкий диск, характеристики которого совпадают с тонким образованием, завершающим процесс самофокусировки лазерного луча в газовой среде. Одинаков и характер низкочастотного излучения, объёмы же излучения в соответствии с объемом деформируемых пород огромны и воздействие его на живое не изучено. Эти исследования поясняют также и известные факты низкочастотного излучения у очагов будущих выбросов угля и газа на шахтах. Несомненно, что в острие ядра в результате его самофокусировки

формируются anomalно большие напряжения. Причем форма «плазменного диска» визуально совпадает с траекторией, куда были бы выброшены, при открытии трещины мельчайшие частицы диспергированной породы ядра, хотя расчёты показывают, что диск образуется не только за счёт движения частиц, но и за счет их образования по траектории будущей трещины. Но в отличие от самофокусировки лазерного луча давление в зоне уже разгруженного ядра под действием веса пород продолжается и формируется новое ядро, которое расклинивает трещину. Поэтому, если в первом цикле «плазменный диск» гладко срезал породу, то теперь ядро приводит к отрыву берегов с образованием галтелеобразной поверхности разделения, а далее процесс продолжается и



**Рис. 2. Характер деформации (а), напряжений  $\sigma_y$  (б) и  $\sigma_x$  (в) в зоне разработки:** 1 и 2 зоны интенсивной отработки нефти скважинами 3; 4 - разуплотненная зона с модулем деформации ниже или выше исходного

ядро вновь «фокусируется». В результате срез и отрыв периодически сменяют друг друга.

В таблице изложены известные аварии при морской разработке, а также их причины. Заметим, что разуплотнение пород вызванное откачкой нефти не удается ликвидировать и заводнением, что подтверждается наблюдениями на нефтяном месторождении Уилмингтон (Калифорния, США) с 1939 г. Происходит проседание и дна Северного моря в пределах месторождения Экофиск.

Ближние проблемы были выявлены и при освоении Штокмановского месторождения близ Новой Земли (из цикла известных статей приведём ссылку [5]).

Там указывалось, что требуется решение ряда сложных технических задач, среди которых и техногенное деформирование пластов и пород. На основе выполненного моделирования установлены закономерности деформирования пород и объёмное уплотнение пласта, регрессивный прогиб придонных слоев грунтов и пород. Для условий ориентировочно 10-летней разработки Штокмановского месторождения проседание морского дна может составить 3-7 м., отмечен волнообразный характер про-

седания с опусканием и подъемом дна, предложена и бифуркационная схема, хотя о численной реализации модели информация отсутствует. Таблица - фрагмент инфологической модели базы данных для экспертной оценки причин аварий и автоматической фиксации параметров добычи. Анализ показывает, что бифуркационные схемы идентифицируют процессы тяжелых аварий как наиболее вероятные. При заводнении дебиты воды и нефти напрямую не отслеживаются и нет механизма их сопоставления. Сам факт наличия различных компаний и методов разработки говорит о необходимости постоянного сохранения данных мониторинга, в базах данных автоматизированных систем. В этом случае они служат основой модели состояния системы.

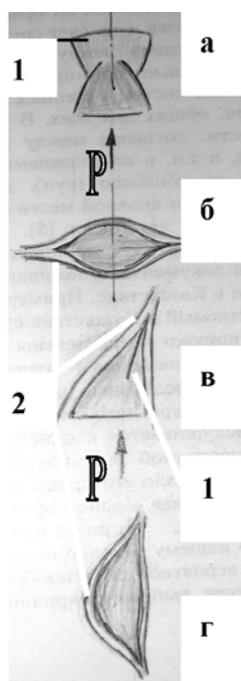
Возвращаясь к рис. 1 укажем, что средняя часть, между скважинами является опорой для пород слоёв. В результате слоистые породы приобретают выраженный волнообразный вид (аналогичное поведение пород зафиксировано авторами и в шахтных условиях). Возникают возможности раскрытия трещин отрыва по верхнему контуру пород в результате их изгиба. Изгиб слоёв вызовет бифуркационные процессы деформирования

### Аварии на морских залежах

Аварии и опасности добычи	Причина 1	Причина 2	Причины 3
Опускание земной поверхности в районах добычи	Возникновение разуплотнений в продуктивных пластах в результате откачки нефти и газа	Неравномерное заводнение нефтепластов	Разуплотнения по причине диффузии в трещины и брошенные скважины
Повышение давления в нефтескважинах	В результате выхода скважины на нетронутый пласт	В результате резкого проседания пород над скважиной	В результате сдвига проседания части системы пород (бифуркации)
Вырыв надводной части оборудования скважин	В результате ударно-вибрационной нагрузки передающейся по трубам из зоны резкого повышения давления	В результате статического давления	
Вырыв подводной части оборудования (устьевого) скважин	В результате резкого сотрясения прилегающих донных пород за счет местных тектонических сдвигов	В результате резкого сотрясения прилегающих донных пород при бифуркациях	В результате изменения формы изгиба донных слоев пород при опускании одних зон и подъеме других
Фонтанирование нефти и газа через брошенные скважины	Изменчивости флюидодинамической системы под действием различных причин		
Разломы и трещинообразование пород над продуктивными пластами	В результате разуплотнения части продуктивного пласта, и бифуркации системы	Проявление тектонических сдвигов	В результате «взрыва» газогидратов»
Аварии с реализацией повышенной удельной энергией	Бифуркация запускает высокоэнергетические процессы		

системы, которые может происходить неоднократно, т.е. система имеет определенное множество состояний формы, а точнее энергий. Расчеты этих процессов можно выполнить на основе [1]. Бифуркация способна обнажить нефтепласт и вызвать фонтанирование нефти в середине водоёма. Подъем части блока пород приближенного к центральной опоре и опускание у вдали от неё вызовет резкое изменение давлений воды. Представленный механизм ранее был предложен для крупных обрушений

пород и формирования внезапного выбросов угля и газа в шахтах. Было выполнено сопоставление некоторых теоретических и экспериментальных данных, включая и энергетику процессов получивших удовлетворительное подтверждение. Кроме того, волнообразный подъем пород в шахтах можно объяснить внезапные поддутия почв выработок и резкое газообразование на локальных участках. Эти факторы происходили и в случаях, когда из соседних выработок производилась скважинная дегазация пла-



**Рис. 3. Образование «тонких структур» у пластического ядра в породе и формирование ядра в зависимости от направления трещины: 1 - «лепестки» ядра (шнуры «плазмы» по Басову); 2 - контуры будущей трещины; P - направление нагрузки**

ста, что, в соответствии с предложенным механизмом при отсутствии контроля равномерности процесса, может не только улучшить, но и ухудшить опасную ситуацию. Интересным фактом является и возможность локализации энергии на локальных участках, рис. 3. Так на участке длиной до 5 м произошло «подкидывание» части пласта. Очевидно, лабораторное моделирование этого процесса позволяет уточнить энергию и механизм процесса. Если сравнивать последствия аварий на Тенгизе и особенно в мексиканском заливе, то их параметры с последней схемой сопоставимы.

**Дискуссии.** Бифуркационная схема даёт удовлетворительное описание энергетики процессов в некоторых более простых авариях [1]. Она хорошо объясняет и визуальные деформации пород и фермовых конструкций, прошедших очевидное сотрясательное нагружение в относительно локальной зоне. Невозможность объ-

яснить энергетику газодинамических явлений на основе упругого деформирования пород признаёт, например, и И.Л. Этингер. Но и бифуркационный механизм не способен объяснить энергетику процессов более сложных аварий. Принцип же минимума диссипации энергии академика РАН Н. Моисеева позволяет утверждать, что самоорганизация в генезисе недр, реализует процессы, которые дают максимальную удельную энергию, возможную в исходных условиях. Процессный принцип утверждает их присутствие в любой системе формирования недр, а показатели начального давления, температуры и гравитации влияют на распространённость, частоту и интенсивность проявления. Поэтому бифуркации, формирующие огромные градиенты давления в условиях небольших глубин, развязывают энергии с соответственно меньшим временем проявления, меньшей частотой и интенсивностью. Традиционные для нас недр сложнее, например недр планет гигантов, а, следовательно, процессное разнообразие в них выше. В связи с этим, рядом ученых ставятся вопросы о возможности протекания на глубинах сравнимых с глубинами разработки полезных ископаемых планет земной группы процессов, аналогичных синтезу ядер новых веществ. Например, в углеродных нанотрубках слияние ядер водорода с образованием гелия, провоцирует в зависимости от объема реагентов газодинамические явления. Скрученные нанолиты углерода в принципе программируемы в результате самоорганизующихся процессов среды. Они легко реагируют на изменения магнитного поля, температуры или давления, изменение проходного сечения трубки, свойств адсорбции, и могут стать полупроводниками. Углеродные нанот-



**Рис. 4. Нарушения слоистости на шахте «Кировская», 1984 г.**

рубки способны присоединять молекулы по тому или иному сценарию, что уже используется в промышленных экспериментах для получения различных газов, хотя искусственно термоядерные реакции в них никто

не получал. Известно и природное получение новых веществ. Так в лаборатории химической эволюции штата Мэриленд (США) обоснованно рождение молекул, близких к биовеществу (аминокислотам). Причины локализации высоких энергий в малых объёмах пород по прежнему дискусионны но последствия аварий могут быть тяжелыми, что не снимает актуальности их анализа, и требует совершенствования методики расчёта состояния недр, учитывающего формоизменения пород и, конечно, экологичность технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейсембаев К.М., Векслер Ю.А., Исабеков М.У., Саттаров С.С. Физические и информационные аспекты формоизменения сооружений // Вестник КарГУ им. Е.А. Букетова // Серия физика, 2006, № 2 (42), с. 53-62.
2. Бейсембаев К.М., Шманов М.Н., Осланов Р.М. Наука и её роль в современном мире. Материалы международной научно-практической конференции 30 января 2009 г., том 4, Караганда, Болашак – Баспа, с. 272 – 277.
3. Бейсембаев К.М., Жетесов С.С., Шманов М.Н. Исследование особенностей состояния горных пород в недрах // МОН РК, Российская Академия наук, АО «Центр наук о земле, металлургии и обогащения», НАН РК, Алматы, Комплексное использование минерального сырья, № 3, 2009 г. с. 3-11.
4. Голубов Б.Н. Экспансия нефтегазодобывающей промышленности как регулятор биосферного круговорота впадины каспийского моря и фактор опасных явлений // Бурение и нефть 11/2009 с. 16-19.
5. Савченко С.Н. Деформирование геологической среды при отработке двух продуктивных пластов штокмановского месторождения. // ФТПРПИ, ноябрь-декабрь 2010, с. 48-56.
6. Бейсембаев К.М. Особенности процессов разрушения инструментом и общие закономерности трещинообразования горного массива // Актуальные проблемы современности. Международный научный журнал № 6 (56), Караганда, Болашак-Баспа, 2010, С. 11-16. **ГЛАВ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ахметова Ж.Т. – магистрант ТМ и О,  
 Айдарханов А.М. – ст. преподаватель,  
 Бейсембаев К.М. – кандидат технических наук, доцент,  
 Дёмин В.Ф. – доктор технических наук, профессор,  
 Жетесов С.С. – доктор технических наук, профессор,  
 Нокина Ж.Н. – преподаватель,  
 Шманов М.Н. – кандидат технических наук, доцент,  
 Карагандинский ГТУ, г. Караганда, kakim08@mail.ru

