



УДК 532.546:544.725

## ВЯЗКОУПРУГИЕ АНОМАЛИИ В БЕЗГЛИНИСТЫХ РАСТВОРАХ



## VISCOELASTIC ANOMALIES IN CLAYLESS SOLUTIONS

**Кондрашев Олег Федорович**

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры физики,  
Уфимский государственный  
нефтяной технический университет  
kondr\_of@mail.ru

**Kondrashev Oleg Fedorovich**

Ph.D., Associate Professor of Physics,  
Ufim State Petroleum Technical University  
kondr\_of@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассматриваются особенности контактного взаимодействия в системе буровой раствор без твердой фазы – порода. Показано, что на межфазной границе возникают граничные слои микронной толщины, изменяющие геометрические параметры пористой среды и характер фильтрации.

**Annotation.** The paper considers the features of contact interaction in a drilling fluid system without a solid phase – rock. It is shown that boundary layers of micron thickness appear at the interphase boundary, changing the geometric parameters of the porous medium and the nature of the filtration.

**Ключевые слова:** контактное взаимодействие, граничные слои, пористая среда, вязкопластичность, вязкоупругость, разрыв сплошности.

**Keywords:** contact interaction, boundary layers, porous medium, viscoplasticity, viscoelasticity, discontinuity.

**П**роблема повышения качества освоения скважин тесно связана с вопросами сохранения фильтрационно-емкостных свойств породы, антифильтрационными или изолирующими свойствами бурового раствора, обеспечивающими экранирование зоны бурения.

Создание растворов с гарантированной глубиной проникновения фильтрата требует детальной информации о специфике его движения в пористой среде, которую весьма сложно получить средствами стандартной буровой реометрии, адаптированных для сравнительно низкомолекулярных технологических жидкостей с твердой фазой. Эти вязкопластичные по своей природе растворы имеют принципиально иной механизм фильтрации, чем современные образцы на полимерной основе [1].

Существенно отличаются сравниваемые объекты и по механизму изоляции пристволенной области. В растворах с твердой фазой глубина проникновения фильтрата определяется толщиной и прочностью глинистой корки на поверхности фильтрации, поэтому упомянутыми выше стандартными методами исследуется объемная гидродинамика, не отражающая влияния весьма развитого контактного, молекулярно-поверхностного взаимодействия на состояние жидкости в пластовых условиях [1, 2].

Поставленной задаче отвечает установка, разработанная в Уфимском государственном нефтяном техническом университете (УГНТУ) для изучения физических свойств пластовых флюидов в порах микронного масштаба. Не останавливаясь на подробном описании последней, достаточно полно изложенным в [1, 2], отметим лишь ее принципиальные особенности.

Конструктивно рабочий узел установки представляет собой модифицированный вариант известного прибора Вейлера-Рейбиндера, где сложная система из 8-ми плоских пружин обеспечивает тангенциальность крепления и колебаний, подвижной части по схеме простого сдвига. Последнее обеспечивает однородность поля деформации, что для неньютоновских жидкостей является принципиально важным обстоятельством. Столь же существенным является возможность регулирования размеров измерительной ячейки – узкого зазора из порообразующих минералов в интервале 0,3–30 мкм и скорости сдвига при моделировании пластовых условий.

В связи с этим, целью планируемых микрореологических (в порах микронного масштаба) исследований было изучение факторов, определяющих состояние флюида и его движение в пластовых условиях. Для этого предусматривалось изучение процесс структурообразования и деструкции в порах различного размера, прочности возникающих надмолекулярных структур и их течения.

Объекты исследования – рабочие образцы безглинистых буровых растворов на полимерной основе синтетического и природного происхождения (табл. 1), разработанные в ПАО АНК «Башнефть».

Методика измерений состояла в следующем: проба жидкости заливалась в узкий зазор заданного размера. Для получения информации о кинетике структурообразования образец подвергался периодическим измерениям в неразрушающем режиме, для кривой течения – во всем диапазоне пластовых скоростей-напряжений сдвига.

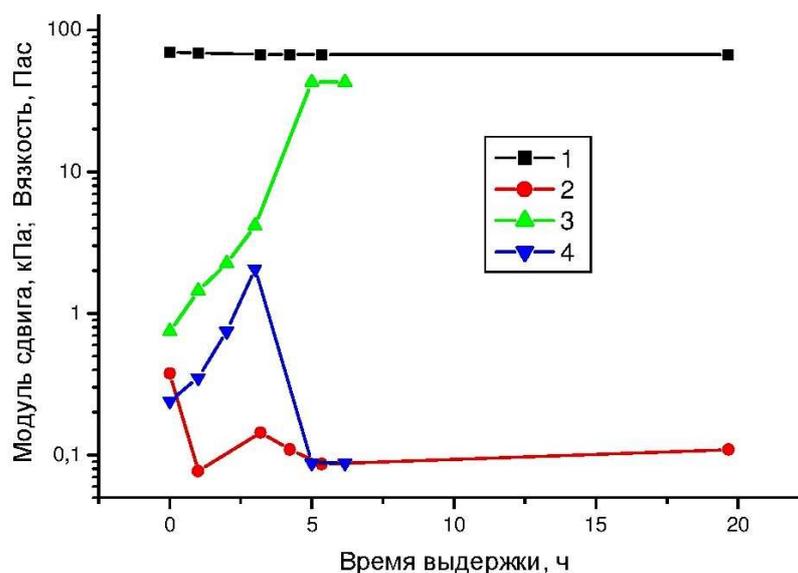
Анализ микрореологических измерений показывает, что все образцы проявляют в пластовых условиях физические свойства, принципиально отличающиеся от объемных, полученных по



стандартным методикам (рис. 1 и 2). Отличие носит как количественный (увеличение значений динамической вязкости и критических напряжений на порядок более), так и качественный (появление сдвиговой упругости и разрыва сплошности, не свойственных общепринятой модели буровых растворов) характер.

**Таблица 1** – Состав буровых растворов

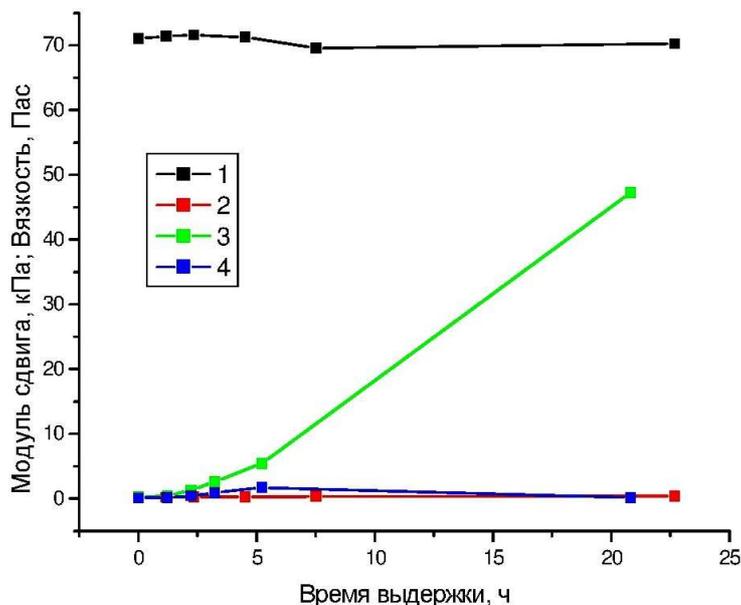
Компонентный состав	Тип раствора
Пластовая минерализованная вода плотностью 1,15–1,20 г/см <sup>3</sup>	Безглинистый полимер-солевой буровой раствор
Крахмал ФИТО-РК,	
ПАА марки Alcomer-110, Poly-Kem D <sub>0</sub> , не более 0,3 %	
ПАВ марки ПКД-515	
Карбонат кальция,	
Вода водопродная	Безглинистый полисахаридный гидрофобизирующий малокарбонатный буровой раствор
Крахмал ФИТО-РК	
Полигликоль	
Биополимер Кет-Х, не более 0,3 %	
Бактерицид	
ПАВ комплексного действия марки ПКД-515	
Смазочная добавка ДСБ-4ТТ	
Хлористый калий	
Карбонат кальция	



**Рисунок 1** – Динамика упругих (1, 3) и вязких (2, 4) полимер-солевого (1, 2) биополимерного (3, 4) растворов в зазоре 5,2 мкм

Наблюдаются и различие в кинетике модификации сравниваемых растворов; полимер-солевой образец практически сразу выходит на установившееся значение (кривые 1 и 2), а биополимерный заканчивает формирование надмолекулярной структуры в течение суток (кривые 3 и 4).

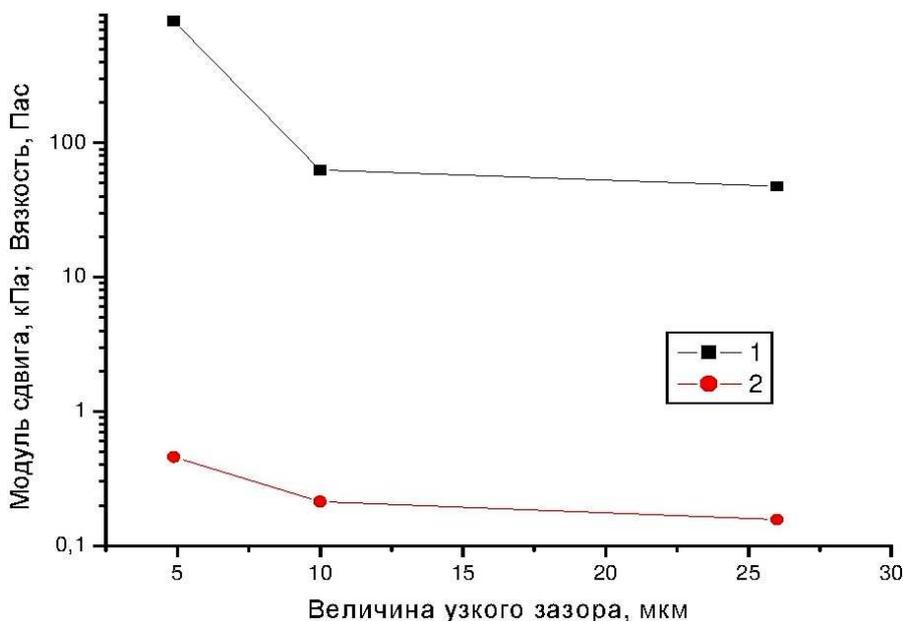
Отмеченное связано с природой применяемого полимера и некоторых функциональных добавок, влияющих на интенсивность контактного взаимодействия. Известно, что минерализация раствора и валентность катионов солей обуславливают конформацию молекул высокомолекулярных соединений, сворачивая их в клубки при нейтрализации анионных звеньев, или, напротив, разворачивая цепи при их неполной компенсации и приводя к известному эффекту «полиэлектролитного набухания» [3]. Подвижность макромолекул, их звеньев при прочих равных условиях опреде скорость структурообразования. Обсуждаемые результаты отражают данную закономерность; более длительный период структурообразования у биополимерного образца с этих позиций связан меньшей минерализацией и наличием полигликолей, снижающих активность имеющихся катионов [3, 4].



**Рисунок 2** – Динамика упругих (1, 3) и вязких (2, 4) полимер-солевого (1, 2) биополимерного (2, 4) растворов в зазоре 26,2 мкм

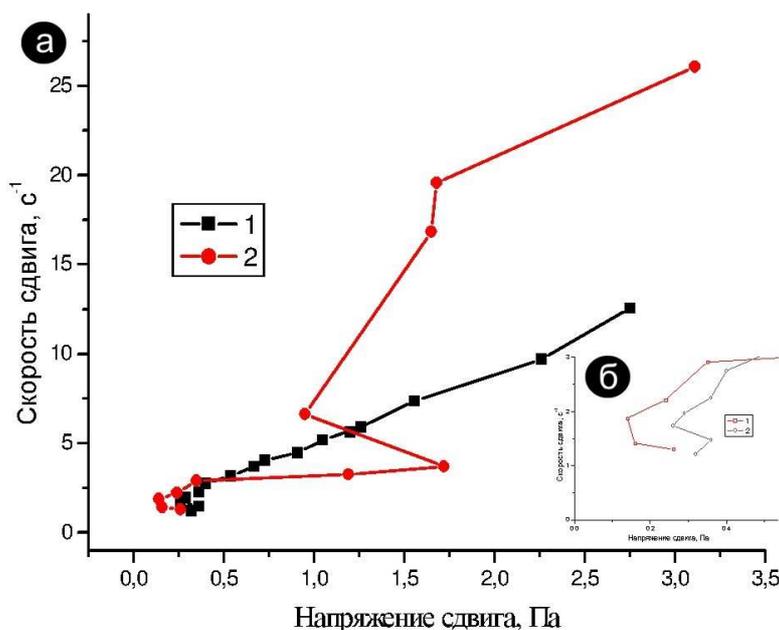
Исследование кинетических процессов представляет интерес с точки зрения синхронизации процесса возникновения вязкоупругих «пробок» фильтрата, кольматирующих пористую среду, и соответствующих этапов технологии бурения. Соответствие этих процессов по времени позволит предотвратить загрязнение пористой среды.

Толщину граничных слоев, образующихся при этом на стенках пор, можно определить по перегибу кривых распределения структуро-чувствительных параметров по зазорам (рис. 3). Эти слои имеют диффузное строение и градиенты плотности, прочности и т.п., убывающие по мере удаления от границы раздела, поэтому возрастание параметров в обратном направлении может быть связано, очевидно, с перекрытием граничных слоев, возникших на поверхности поры. В связи с этим, по данным последнего рисунка можно полагать, что к исходу суток биополимерный фильтрат будет иметь граничные слои толщиной до 5 мкм.



**Рисунок 3** – К определению толщины граничного слоя биополимерного раствора:  
1 – модуль сдвига, кПа; 2 – вязкость, Пас

Прочность создаваемой ими вязкоупругой «пробки» можно оценить по критическим напряжениям из кривых течения (рис. 4 а).



**Рисунок 4** – Кривые течения полимер-солевого раствора в узких зазорах: 1 – 10,2 мкм; 2 – 5 мкм

Приведенные здесь зависимости наглядно отражают степень влияния размеров пор – интенсивности контактного взаимодействия на гидродинамику фильтрата. Видно, что при уменьшении зазора до 5 мкм на кривых течения появляются S-ные участки, характерные для вязкоупругих реологических тел, склонных к разрыву сплошности. Хотя и в больших зазорах при более детальном рассмотрении (рис. 4 б) на начальном участке также просматривается подобная аномалия (кривая 1).

Отрицательный угол наклона фрагментов этих участков указывает на феномен возрастания скорости течения при уменьшении величины приложенного напряжения.

Особенность описываемого явления состоит в том, что разрыв сплошности возникает лишь во входном сечении порового канала, препятствуя тем самым распространению высокого давления в объеме поровой жидкости и усиливая тем самым изолирующие качества фильтрата, который в этом режиме способен выдерживать закритические значения давления [4]. Иными словами, разрыв сплошности выполняет здесь функции своего рода предохранительного клапана, сохраняющего докритическое давление в порах при более высоком его внешнем значении и, тем самым, существенно усиливающим изолирующие качества раствора.

Из этого следует вывод о принципиальном отличии вязкоупругой жидкости от вязкопластичной, которая в подобных условиях теряет эти свойства, способствуя тем самым прорыву фильтрата и загрязнению пристволенной области.

**Литература**

1. Кондрашев О.Ф., Шарипов А.У. Модификация структурно-механических свойств полимеров в пористой среде. – М. : Геоинформак, 2000. – 56 с.
2. Кондрашев О.Ф. Физико-химические основы регулирования изолирующих свойств безглинистых полисахаридных буровых растворов : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / УГНТУ. – Уфа, 2005. – 40 с.
3. Виноградов В.Г., Малкин А.Я. Реология полимеров. – М. : Химия, 1977. – 440 с.
4. Юрьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. – М. : Химия, 1980. – 320 с.

**References**

1. Kondrashev O.F., Sharipov A.U. Modification of the structural and mechanical properties of polymers in a porous medium. – M. : Geoinformak, 2000. – 56 p.
2. Kondrashev O.F. Physico-chemical principles of regulating the insulating properties of clay-free polysaccharide drilling fluids : Auto Ref. diss. for a job. student step. Doct. tech. sciences / USTU. – Ufa, 2005. – 40 p.
3. Vinogradov V.G., Malkin A.Ya. Rheology of polymers. – M. : Chemistry, 1977. – 440 p.
4. Yuryev N.B. Highly concentrated disperse systems. – M. : Chemistry, 1980. – 320 p.