



ООО "ТНГ-Групп"

РОО
"Ядерно-Геофизическое Общество"

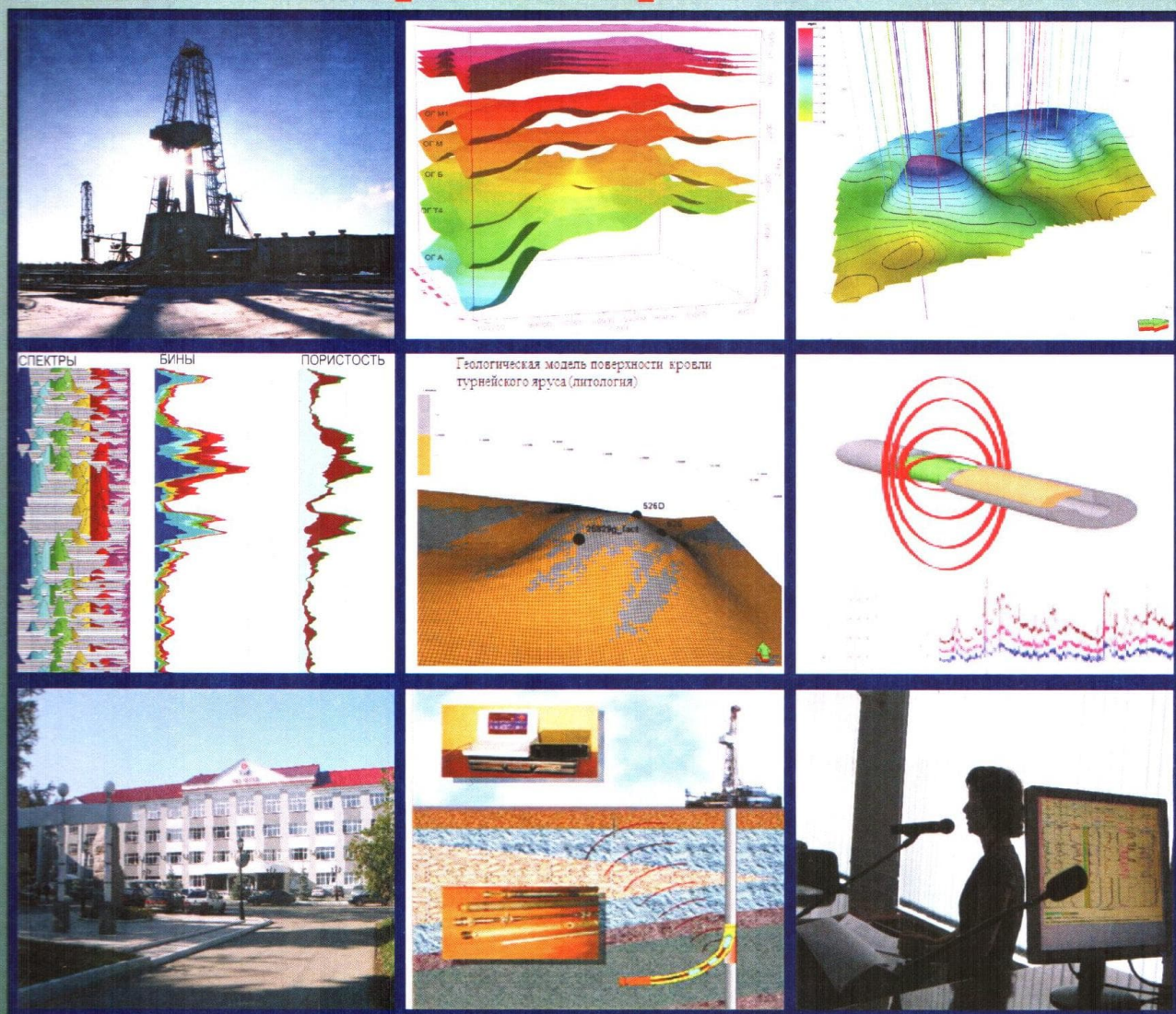


**Геофизические, геохимические и петрофизические
исследования и геологическое моделирование
при поиске, разведке и контроле эксплуатации
нефтегазовых месторождений**

Труды

**Международной научно-практической конференции
(1-4 октября 2013 г., Бугульма, Республика Татарстан)**

"Татнефтегеофизика - 60"



РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЯМР СПЕКТРОВ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ИЗ ШАРИКОВ РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА

*Зубков М.Ю., Потанов А.Г.
(ООО «ЗапСибГЦ», г. Тюмень)*

При интерпретации ЯМР спектров природных образцов, насыщенных водородсодержащими жидкостями возникает масса проблем, связанных, во-первых, с влиянием магнитных свойства минералов, входящих в состав того или иного образца породы, во-вторых, с особенностями структуры его порового пространства, включая микроструктуру порового пространства глин и, в-третьих, с характером смачиваемости поверхности минеральных обломков и глин, слагающих породы. Поэтому существует соблазн изучить ЯМР спектры образцов, имеющих однородный вещественный состав, одинаковые свойства поверхности (например, гидрофильные) и отличающиеся друг от друга только размерами пор.

Такие образцы можно изготовить искусственно, используя, например, стеклянные шарики различных размеров, что дает возможность изучить ЯМР спектры «в чистом виде» без влияния перечисленных выше факторов, а, следовательно, получить более адекватные результаты по сравнению с природными образцами, представленными различными типами пород.

Для приготовления искусственных (насыпных) моделей образцов, отличающихся друг от друга только размерами пор, были использованы шарики, имеющие размеры от 50 до 800 мкм. С помощью сит, используемых для гранулометрического анализа, исходные шарики были разделены на 9 различных гранулометрических фракций: 50-100 мкм; 100-160 мкм; 160-200 мкм; 200-250 мкм; 250-315 мкм; 315-400 мкм; 400-500 мкм; 500-630 мкм; 630-800 мкм.

Подготовленные фракции засыпались в стеклянные цилиндры диаметром 30 мм. Высота насыпной модели составляла около 20 мм, а ее объем – около 15 см³. Затем насыпная модель заливалась дистиллированной водой (предварительно отвакууммированной). После этого подготовленная водонасыщенная модель с шариками вновь вакуумировалась после чего прогревалась до 40 °С и помещалась в магнитную систему прибора Хроматэк Протон 20М. Релаксационные кривые получались при следующих параметрах прибора: время «эхо» сигнала (TE) – 600 мкс; время ожидания (TW) - 70 000 мс; количество 180° импульсов в серии – 4000.

С целью более детального исследования размеров выделенных фракций, контрольные пробы, отобранные из каждой фракции, исследовались с помощью петрографического микроскопа в отраженном и проходящем свете, а также в прозрачных петрографических шлифах, изготовленных из шариков, входящих в состав этих фракций (рис. 1-9).

Оказалось, что внутри каждой из выделенных фракций распределения шариков по размерам часто характеризуются ассиметричным строением и смещены в сторону максимальных размеров фракции (см. рис. 1-9).

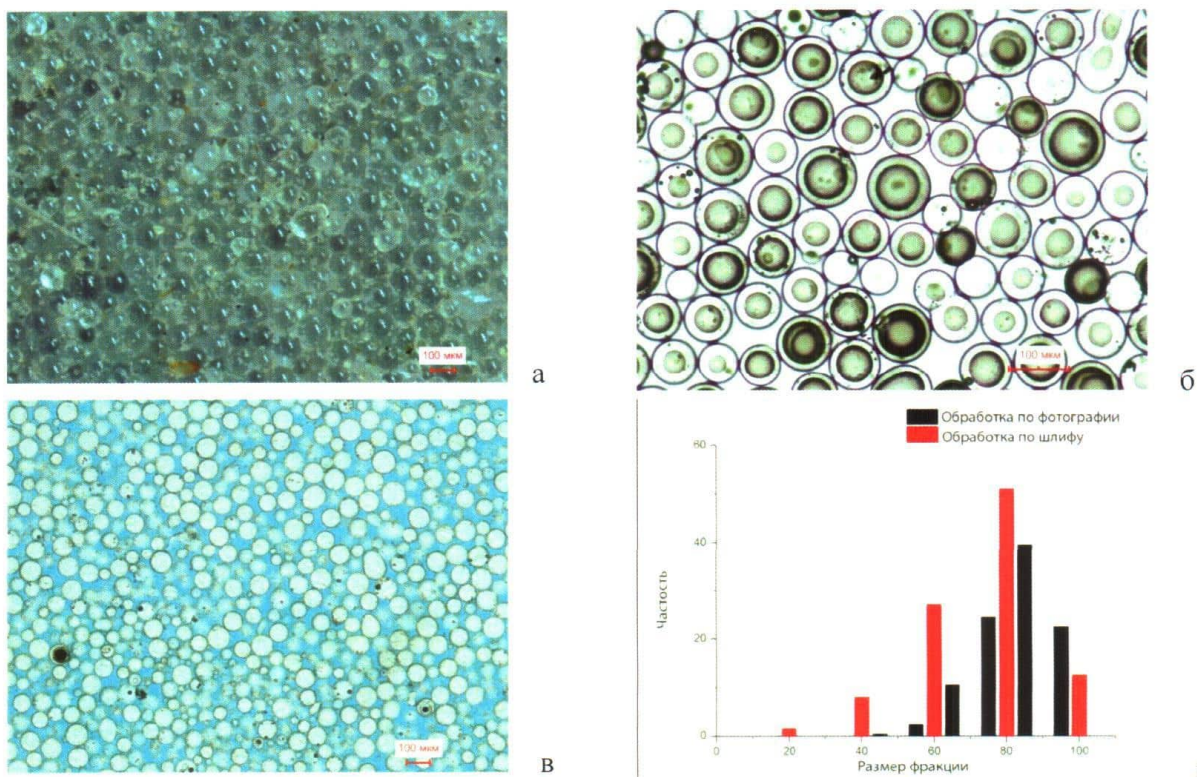


Рис. 1. Фракция шариков размером 50-100 мкм; фотографии: а – в отраженном свете, б – в проходящем свете (шарики в глицерине), в – в петрографическом шлифе, г – распределение шариков по размерам в глицерине и шлифе

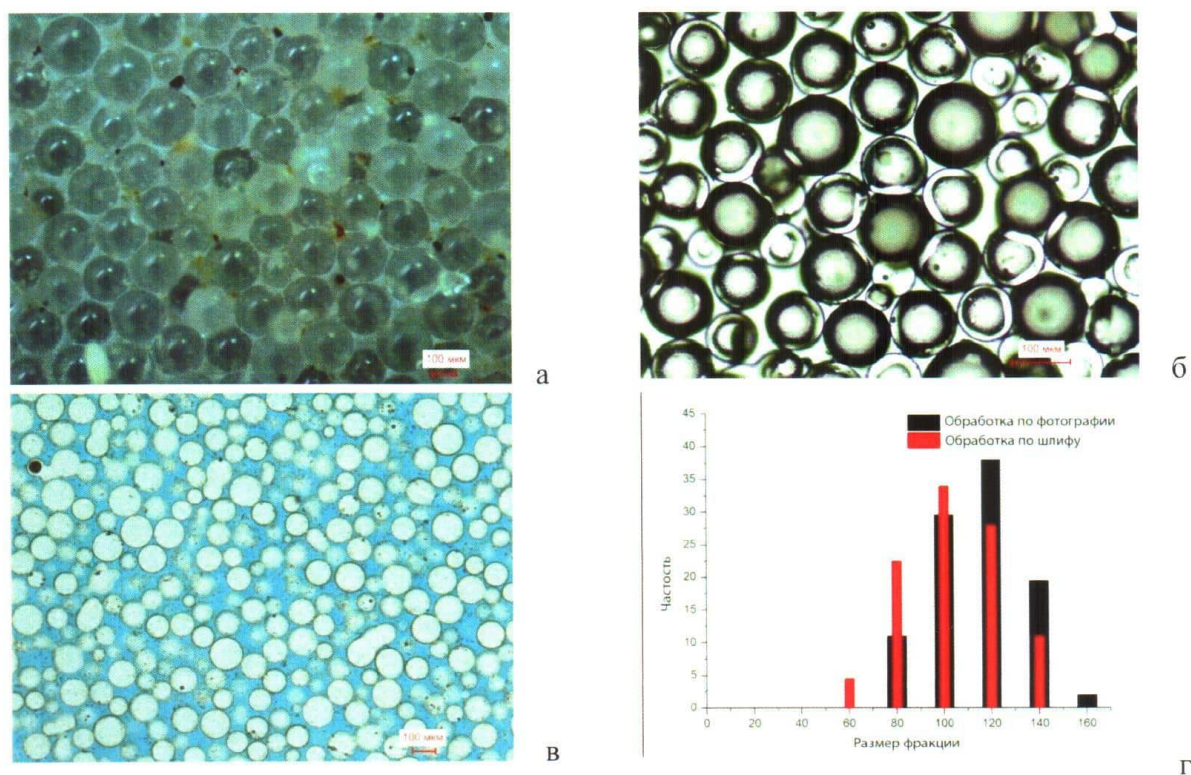


Рис. 2. Фракция шариков размером 100-160 мкм; фотографии: а – в отраженном свете, б – в проходящем свете (шарики в глицерине), в – в петрографическом шлифе, г – распределение шариков по размерам в глицерине и шлифе

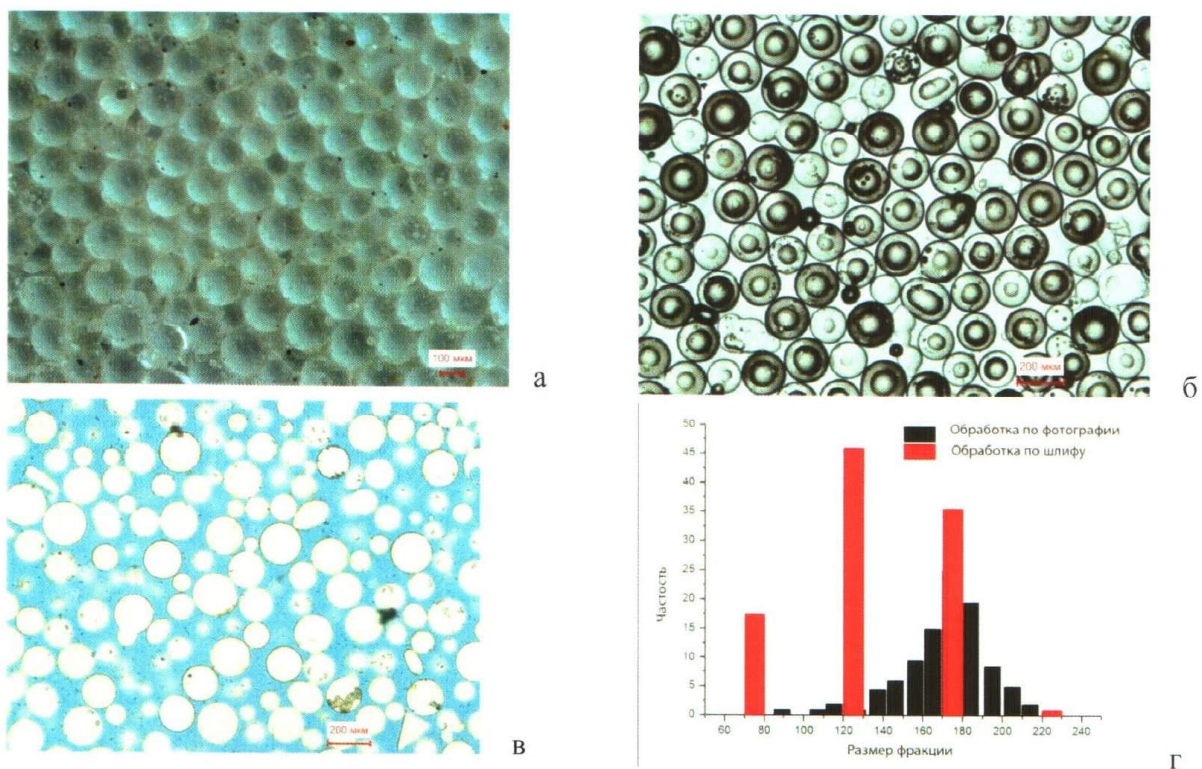


Рис. 3. Фракция шариков размером 160-200 мкм; фотографии: а – в отраженном свете, б – в проходящем свете (шарики в глицерине), в – в петрографическом шлифе, г – распределение шариков по размерам в глицерине и шлифе

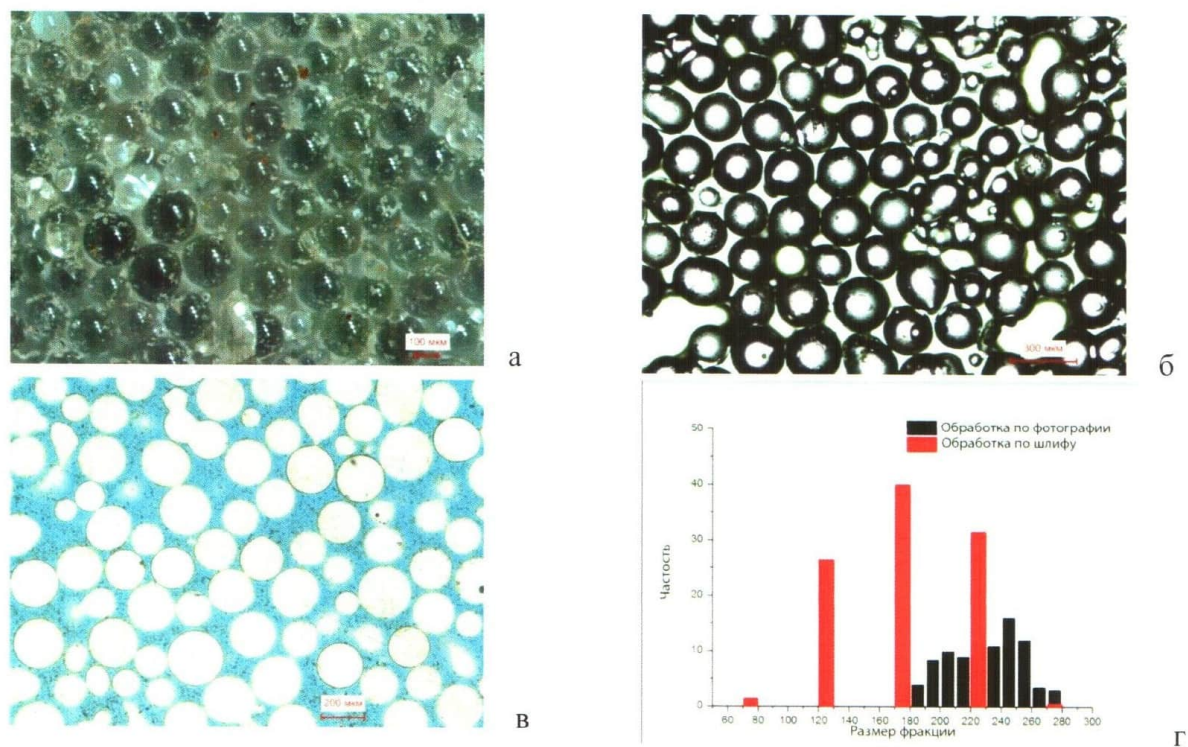


Рис. 4. Фракция шариков размером 200-250 мкм; фотографии: а – в отраженном свете, б – в проходящем свете (шарики в глицерине), в – в петрографическом шлифе, г – распределение шариков по размерам в глицерине и шлифе

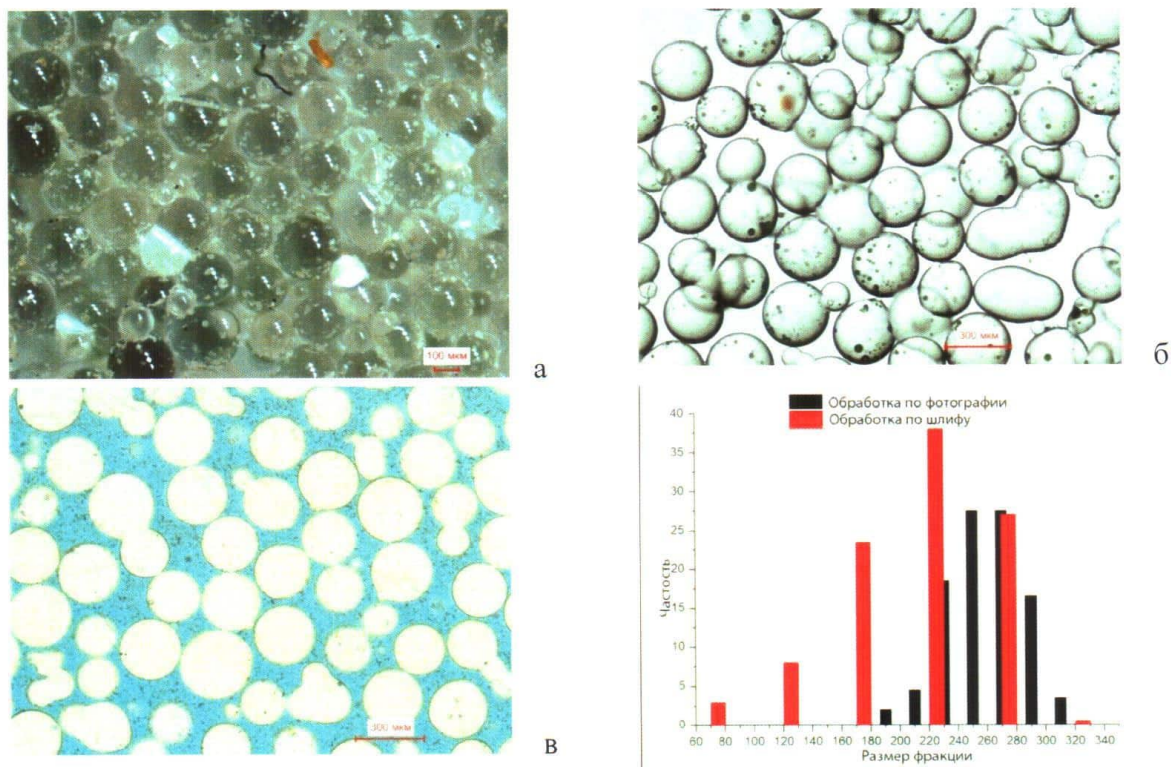


Рис. 5. Фракция шариков размером 250-315 мкм; фотографии: а – в отраженном свете, б - в проходящем свете (шарики в глицерине), в – в петрографическом шлифе, г – распределение шариков по размерам в глицерине и шлифе

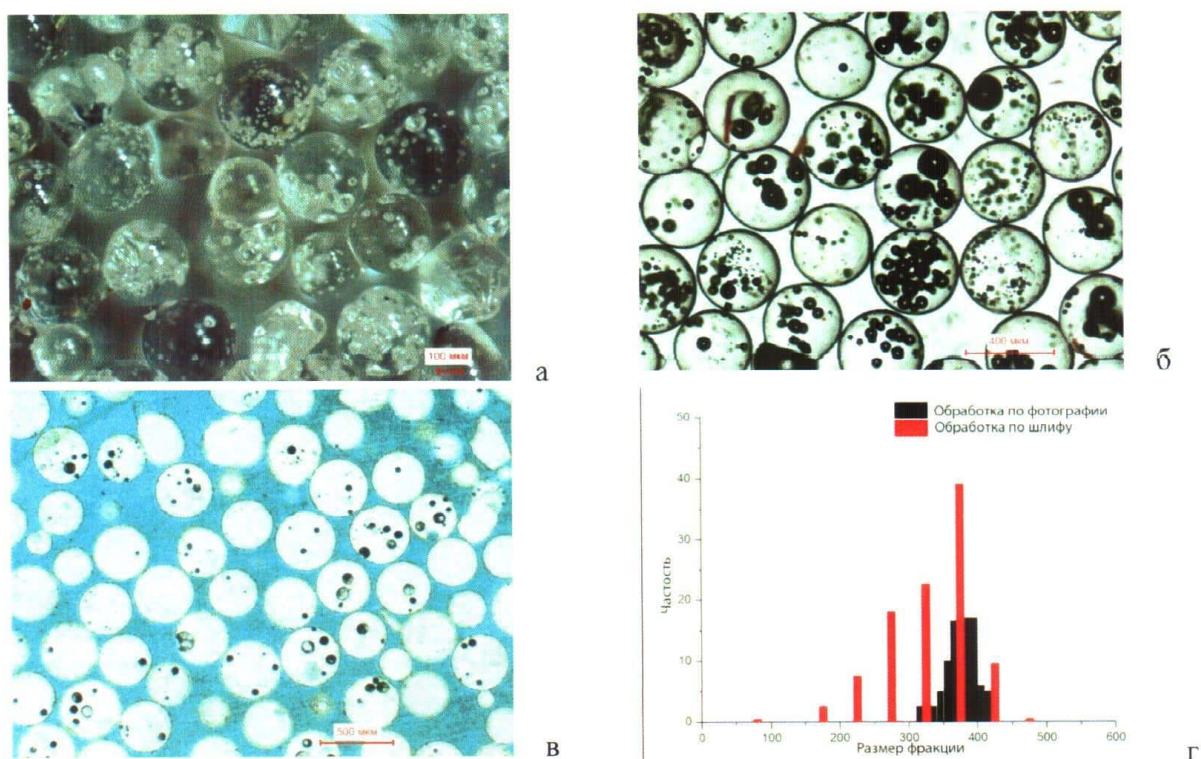
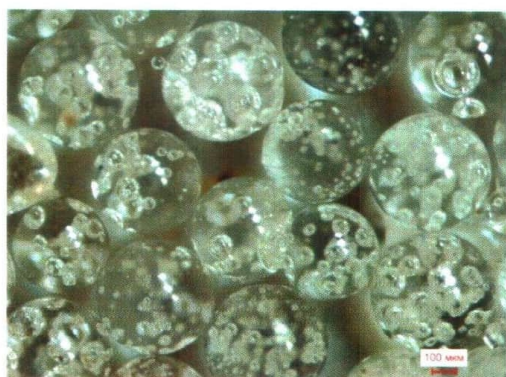
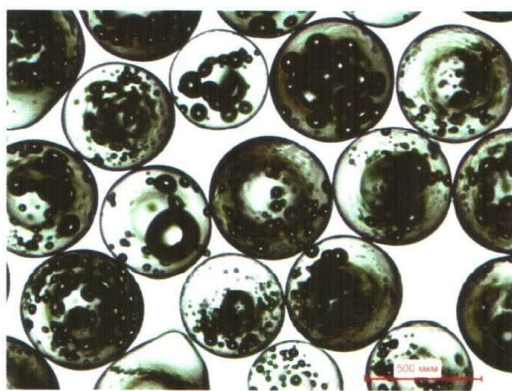


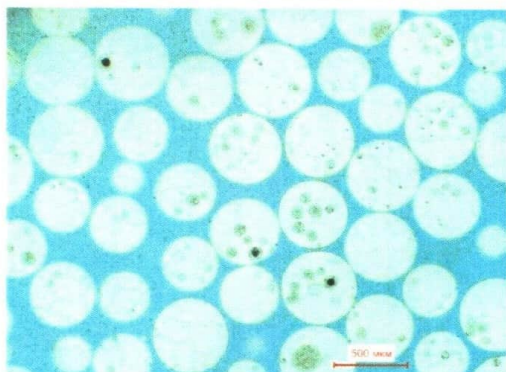
Рис. 6. Фракция шариков размером 315-400 мкм; фотографии: а – в отраженном свете, б - в проходящем свете (шарики в глицерине), в – в петрографическом шлифе, г – распределение шариков по размерам в глицерине и шлифе



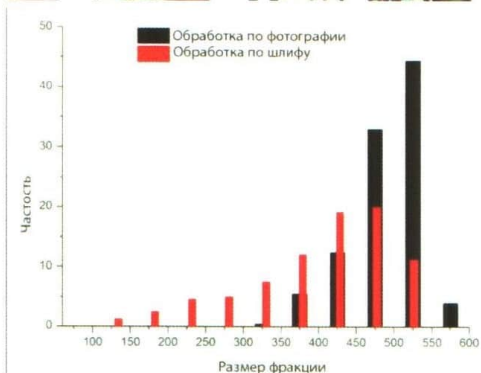
а



б

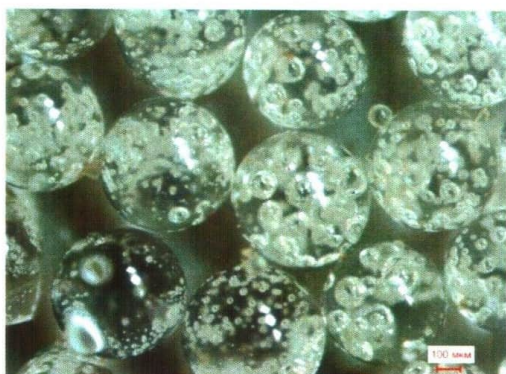


в

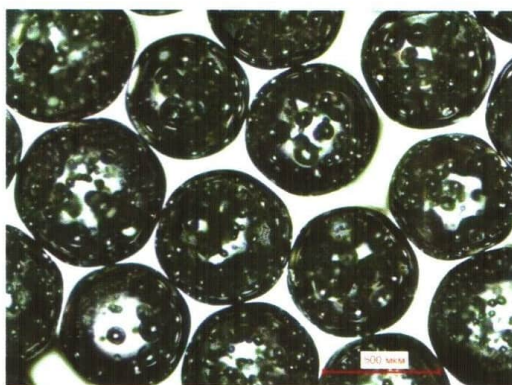


г

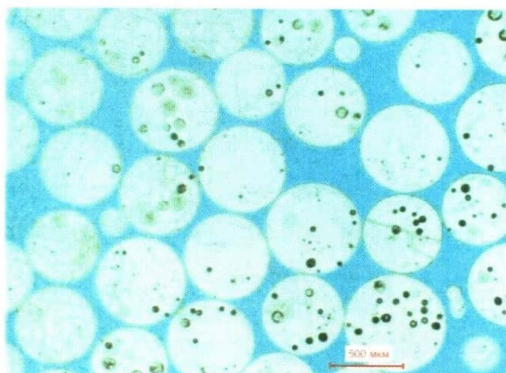
Рис. 7. Фракция шариков размером 400-500 мкм; фотографии: а – в отраженном свете, б – в проходящем свете (шарики в глицерине), в – в петрографическом шлифе, г – распределение шариков по размерам в глицерине и шлифе



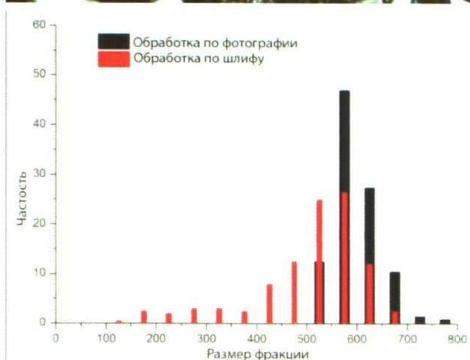
а



б



в



г

Рис. 8. Фракция шариков размером 500-630 мкм; фотографии: а – в отраженном свете, б – в проходящем свете (шарики в глицерине), в – в петрографическом шлифе, г – распределение шариков по размерам в глицерине и шлифе

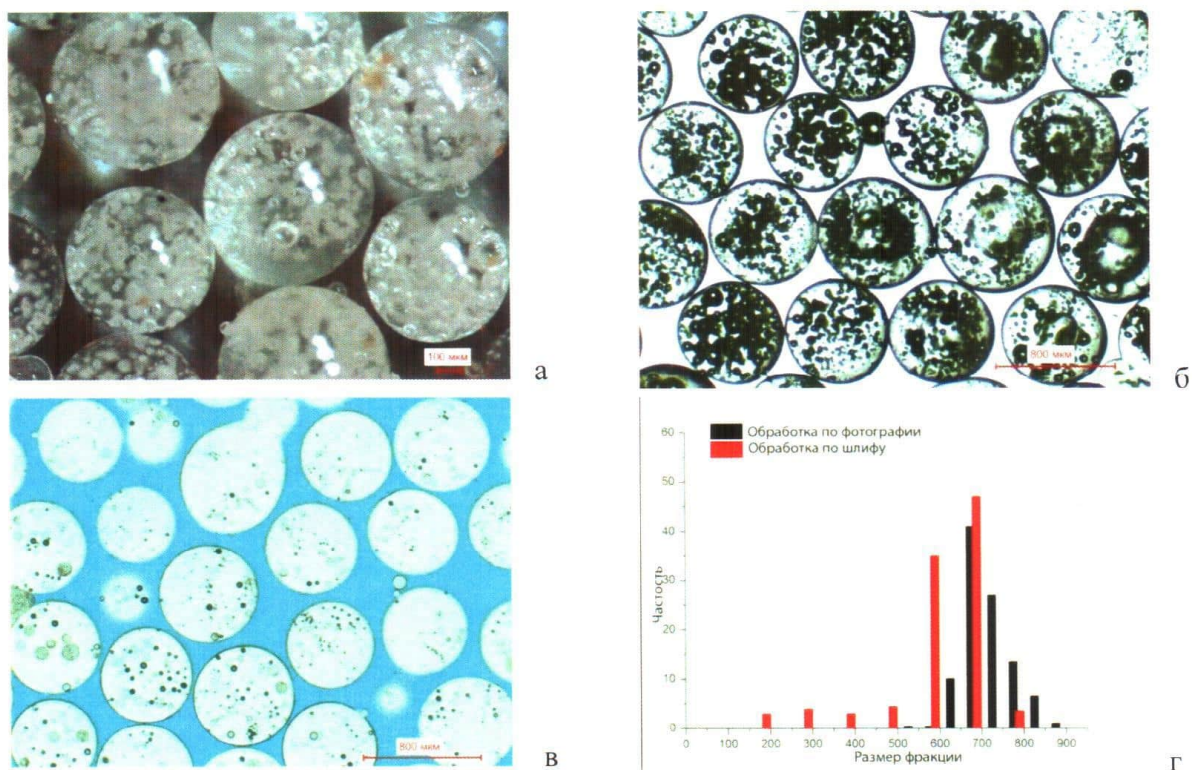


Рис. 9. Фракция шариков размером 630-800 мкм; фотографии: а – в отраженном свете, б - в проходящем свете (шарики в глицерине), в – в петрографическом шлифе, г – распределение шариков по размерам в глицерине и шлифе

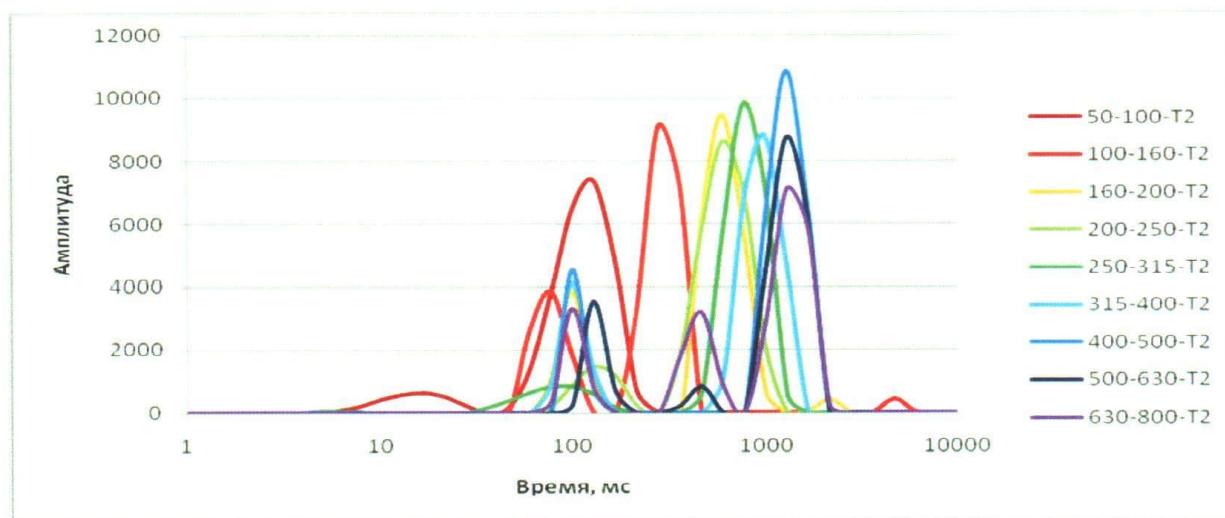


Рис. 10. Время поперечной релаксации T_2

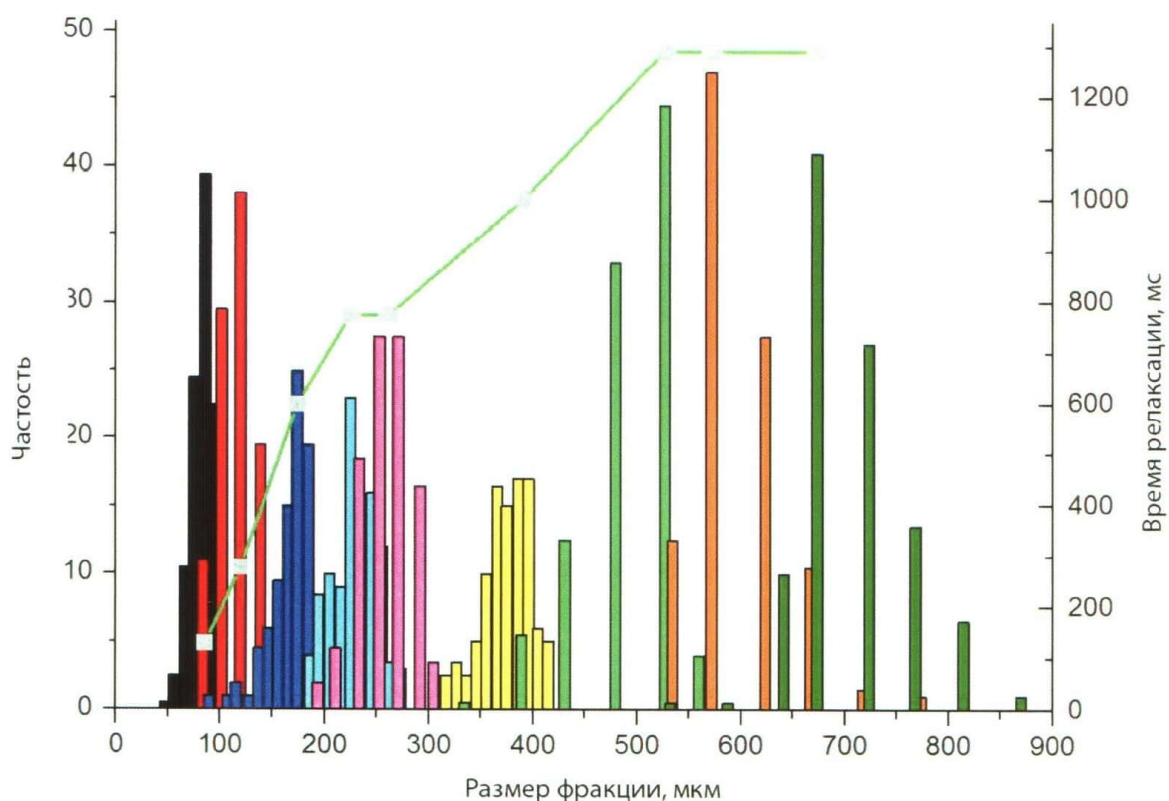


Рис. 11. Распределение шариков по размерам и время, соответствующее максимальной амплитуде времени релаксации T_2 для каждой фракции

Сопоставление распределений шариков по размерам, определенным по фотографиям в проходящем свете и в прозрачных петрографических шлифах показало, что размеры шариков, определенные в прозрачных петрографических шлифах всегда меньше, чем истинные размеры шариков. Этот факт имеет простое объяснение, связанное с тем, что если в проходящем свете мы наблюдаем истинные размеры шариков (измеряем их диаметр), то в шлифах присутствуют случайные срезы шариков, которые часто проходят не по их диаметрам, а представляют собой сферические сегменты, диаметр которых всегда меньше диаметра шара (см. рис. 1-9).

Спектры времени поперечной релаксации T_2 приведены на рис. 10. При построении зависимости между временем поперечной релаксации и размерами фракций шариков, слагающих водонасыщенные насыпные модели, использовались самые интенсивные пики, а более мелкие, расположенные как в областях меньших, так и больших времен релаксации не учитывались (см. рис. 10 - 11).

Получилась достаточно устойчивая зависимость между средними размерами шариков в каждой из выделенных фракций, с одной стороны, и временами поперечной релаксации, с другой (см. рис. 11).

Если полученную зависимость описывать с помощью логарифмической зависимости, то ее вид будет следующим:

$$y = 596,93 \ln(x) - 2520,8,$$

при значении коэффициента корреляции 0.985.

Если же использовать полиномиальную зависимость, то она принимает следующий вид:

$$y = 4E-06x^3 - 0,0088x^2 + 6,4284x - 339,51,$$

также при значении коэффициента корреляции 0.985.

Анализируя рассматриваемую зависимость, следует отметить, что время поперечной релаксации для двух соседних фракций 200-250 мкм и 250-315 мкм оказалось одинаковым (см. рис. 11). Максимальное содержание шариков в рассматриваемых фракциях имеет размеры 225 мкм и 260 мкм, соответственно. Возможно, что малые различия в размерах шариков, входящих в состав этих фракций проявились в минимальных различиях и в размерах пор, присутствующих между ними, что не позволило прибору продемонстрировать эти различия на выбранных нами настройках.

Следующая особенность полученной зависимости заключается в том, что для трех самых крупных фракций шариков или вернее насыпных моделей, построенных из них, также время поперечной релаксации практически не меняется и составляет около 1250 мс (см. рис. 11). Если две фракции с размерами фракций 400-500 мкм и 500-630 мкм имеют сближенные максимумы по размерам преобладающих частиц (их разделяют всего около 45 мкм), поэтому отсутствие различий во временах поперечных релаксаций в составленных из этих шариков моделях можно объяснить низкой разрешающей способностью прибора при использованных настройках, то модель, состоящая из самых крупных шариков, имеет максимум с размерами шариков примерно на 100 мкм большими, чем в предыдущей по размерам шариков модели и объяснить отсутствие различий во временах релаксации той же причиной в этом случае вряд ли возможно (см. рис. 11).

Используя полученные логарифмическую и полиномиальную зависимости между временем поперечной релаксации и размерами шариков в насыпных моделях можно легко определить размеры шариков, соответствующих нулевому значению времени релаксации – они должны иметь диаметр около 55-60 мкм (см. рис. 11). Понятно, что полученные значения размеров шариков не соответствуют действительности. Скорее всего, рассматриваемая зависимость должна проходить через нулевую отметку, т. е. при размерах шариков, стремящихся к нулю, время поперечной релаксации также должно приближаться к нулю. Следовательно, полученная зависимость

«не работает» в интервале, где должны бы быть водонасыщенные модели, состоящие из самых мелких шариков (менее 50 мкм).

Можно предположить влияние многочисленных пузырьков, присутствующих в шариках самых крупных фракций (начиная с 315-400 мкм), на время поперечной релаксации в водонасыщенных моделях, сложенных ими (см. рис. 6-9). Так как расположенные по периферии шариков пузырьки сообщаются с внешней средой и при насыщении модели водой под вакуумом также заполняются водой, а поскольку их преобладающие размеры составляют около 15-35 мкм, то они могут давать самостоятельный пик в малых временах T_2 и/или смещать основной пик поперечной релаксации в область более малых времен (см. рис. 10, 11).

Выводы

1. При выбранных настройках получена высококорреляционная зависимость между размерами шариков в водонасыщенных насыпных моделях и временем поперечной релаксации атомов водорода в них.

2. Полученная зависимость - размеры шариков-время поперечной релаксации, имеет ограничения в области моделей, состоящих из очень мелких шариков (имеющих диаметр менее 50 мкм) и самых крупных (с диаметром более 500 мкм).

3. Нарушения в обсуждаемой зависимости между размерами шариков, в водонасыщенных насыпных моделях, с одной стороны, и временем поперечной релаксации, с другой, может объясняться как минимум двумя причинами. Во-первых, недостаточной разрешающей способностью прибора (при условии близких размеров шариков в составе соседних фракций, слагающих насыпные модели). Во-вторых, наличием в составе самых крупных шариков, входящих в состав соответствующих моделей, многочисленных мелких пузырьков, которые при насыщении моделей водой также могли заполняться водой и влиять на время поперечной релаксации атомов водорода в этих моделях.