

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОКСЕЛЬНОГО И СУБВОКСЕЛЬНОГО ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ С КОНТРАСТОМ

Евсеев Федор Александрович; Иванов Иван Александрович

Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана, г. Ханты-Мансийск

E-mail: fedor_evseev@rambler.ru

ЧЕРТЕЖИ И СХЕМЫ

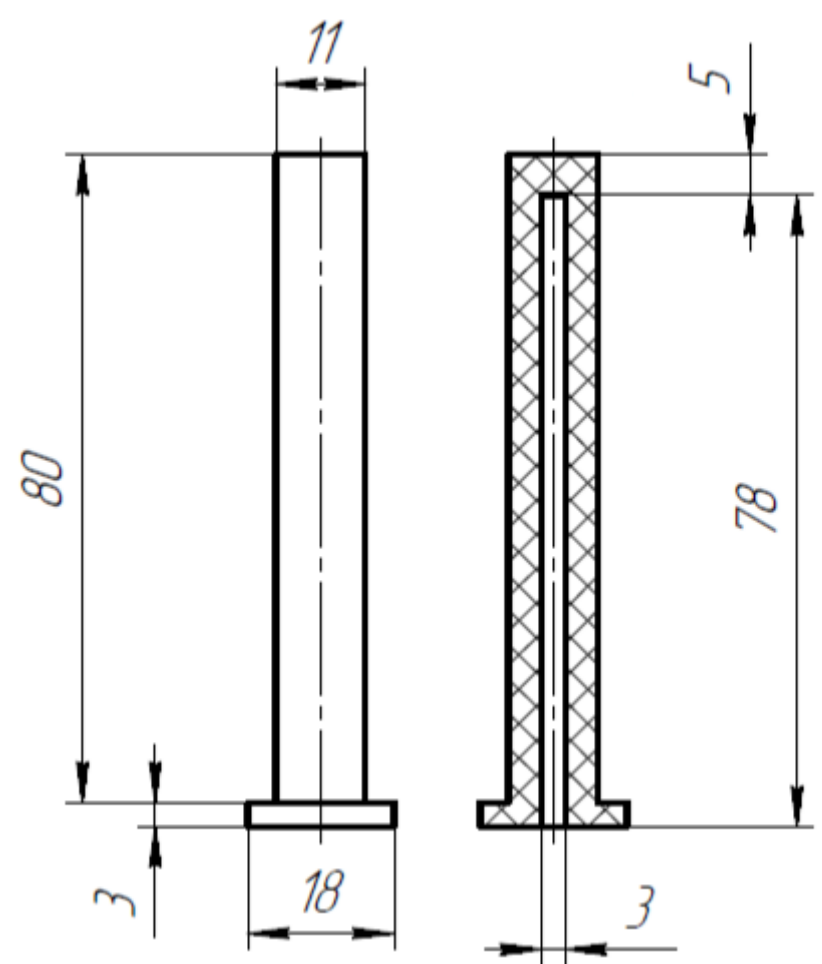


Рисунок 1 – Пример чертежа барокамеры, рассчитанный под диаметр образцов до 4 мм.

№ п/п	ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛЕЙ
1	Барокамеры (рис. 1) изготовлены из тонких рентгенопрозрачных материалов.
2	Масса конструкции не превышает 1 кг, что позволяет удобно разместить барокамеру на кернодержателе томографа.
3	Диаметры образцов керна, доступные для сканирования, составляют 2-2,5 мм; 4 мм и 8 мм.
4	Барокамеры рассчитаны на рабочее давление до 40 бар как в условиях сканирования газом, так и в жидких средах.
5	Миниатюрность моделей и простота механизмов подсоединения позволяют удобно разместить барокамеры в томографе, не препятствуя процессу сканирования.

Система (рис. 2) включает в себя газовый баллон (1), в котором под давлением содержится рентгеноконтрастный газ, например, ксенон, расположенные последовательно два компрессора: низкого и высокого давления (3), вакуумный насос (6) и нагревательные элементы (7), используемые для удаления воздуха и влаги из внутренней среды измерительной ячейки (8), в которую помещается анализируемый образец геологического происхождения (10). Система дополняется манометрами (2), трехходовыми кранами (4), вакуумметром (5), и связующими всю систему медными трубками с внутренним диаметром 1 мм (9), по которым циркулирует газ.

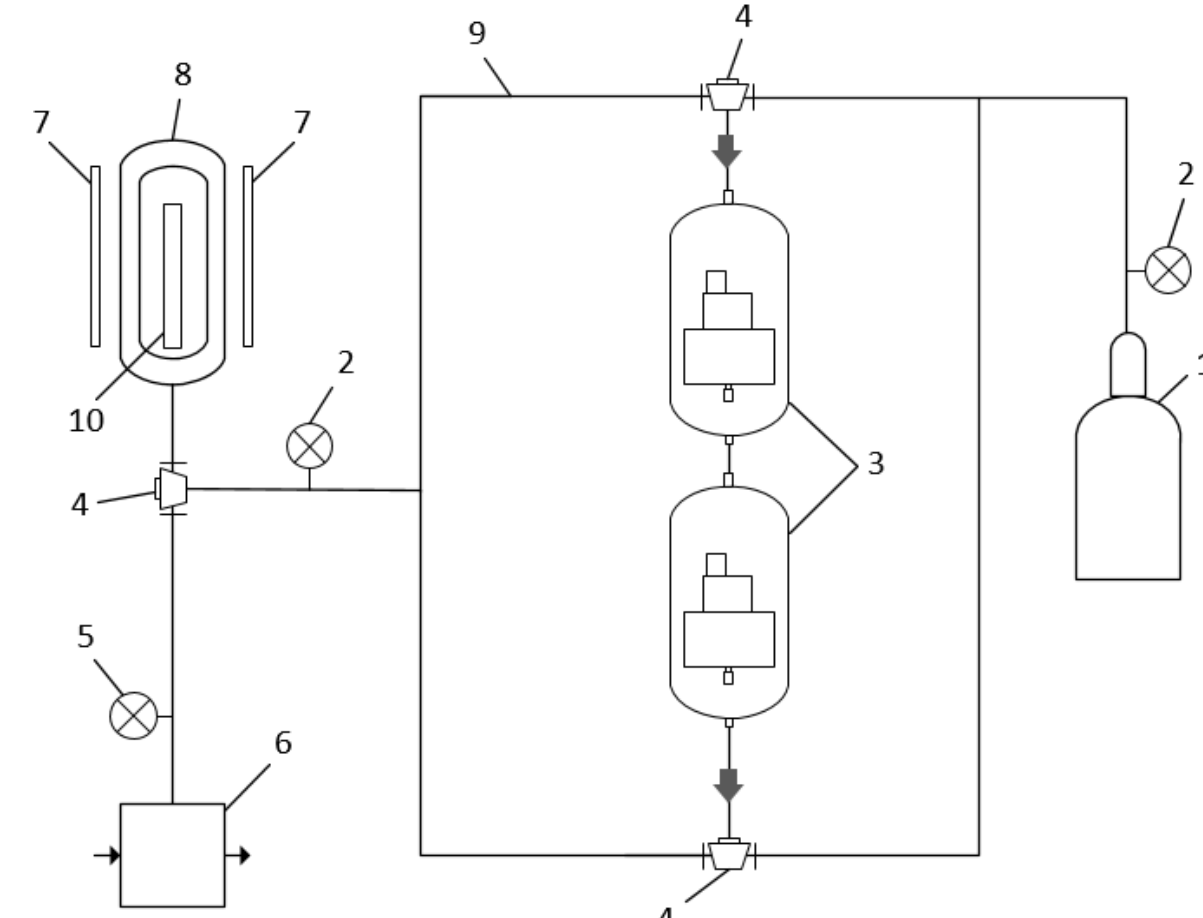


Рисунок 2 – Схема системы рекуперации отработанного рентгеноконтрастного газа.

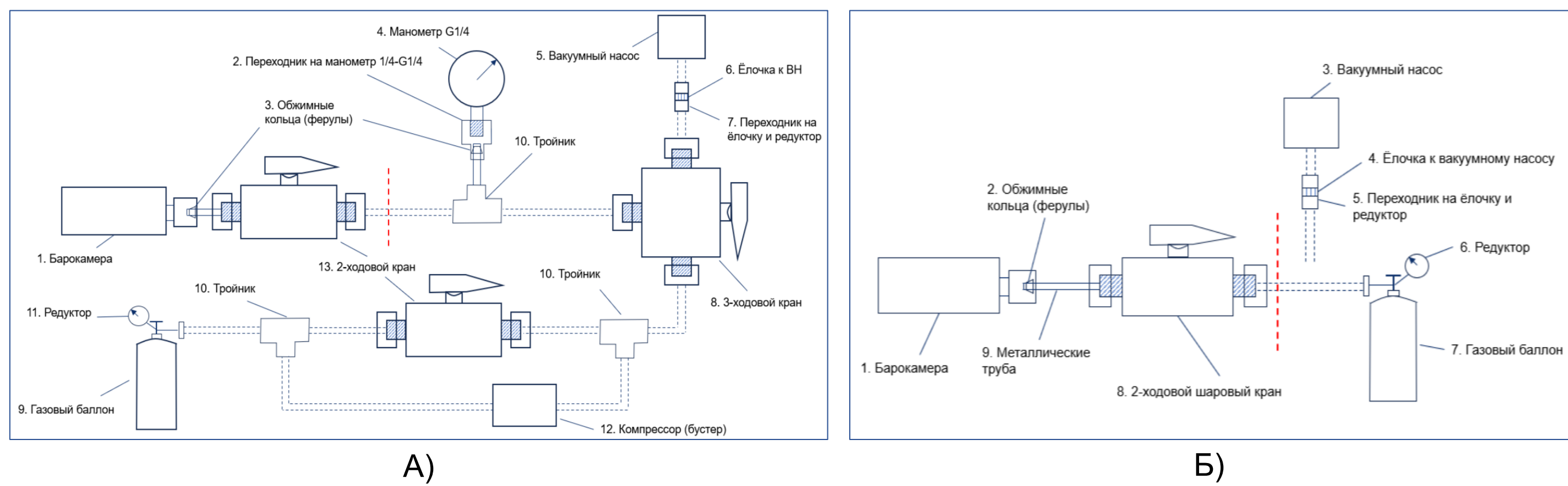
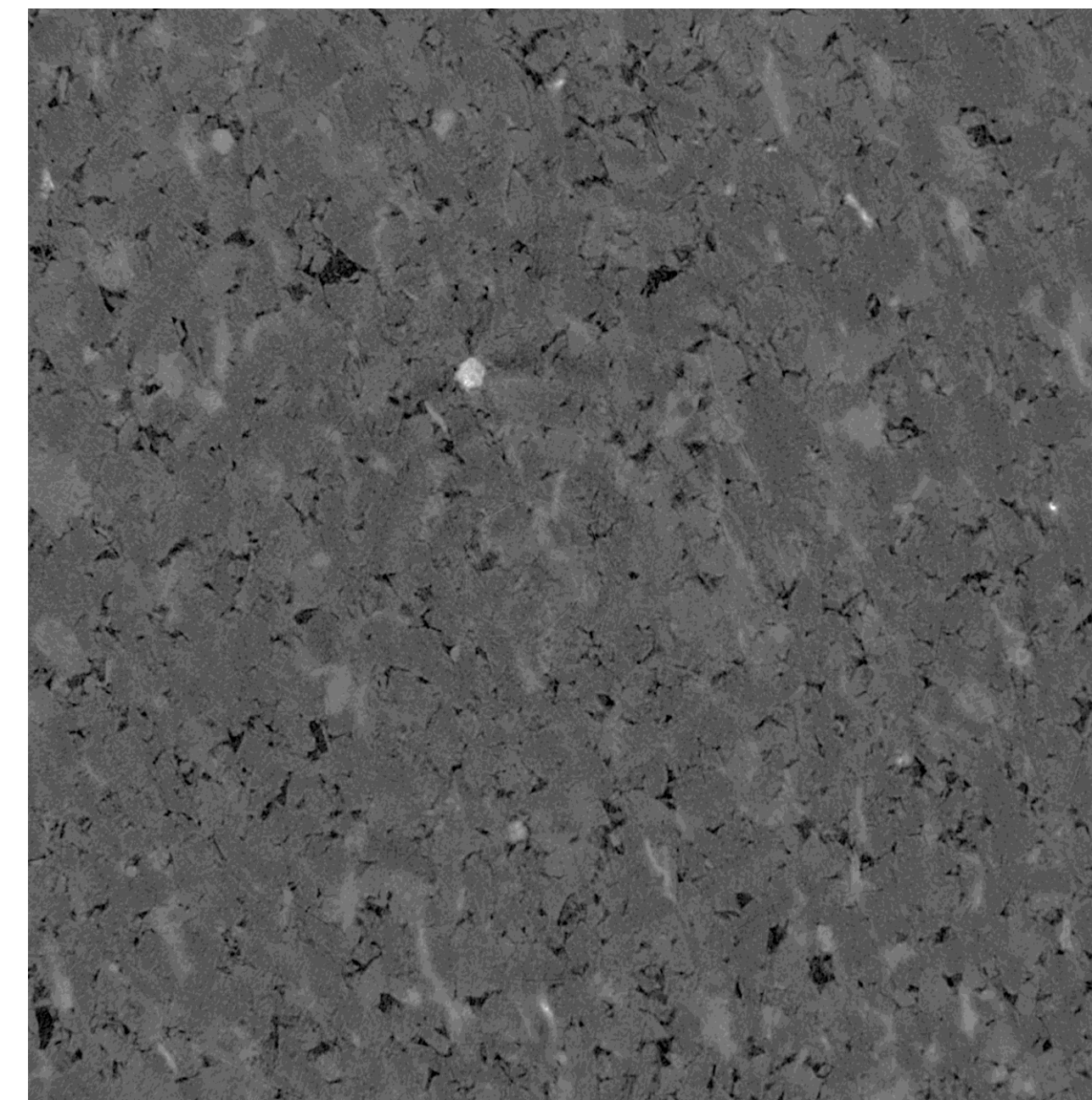
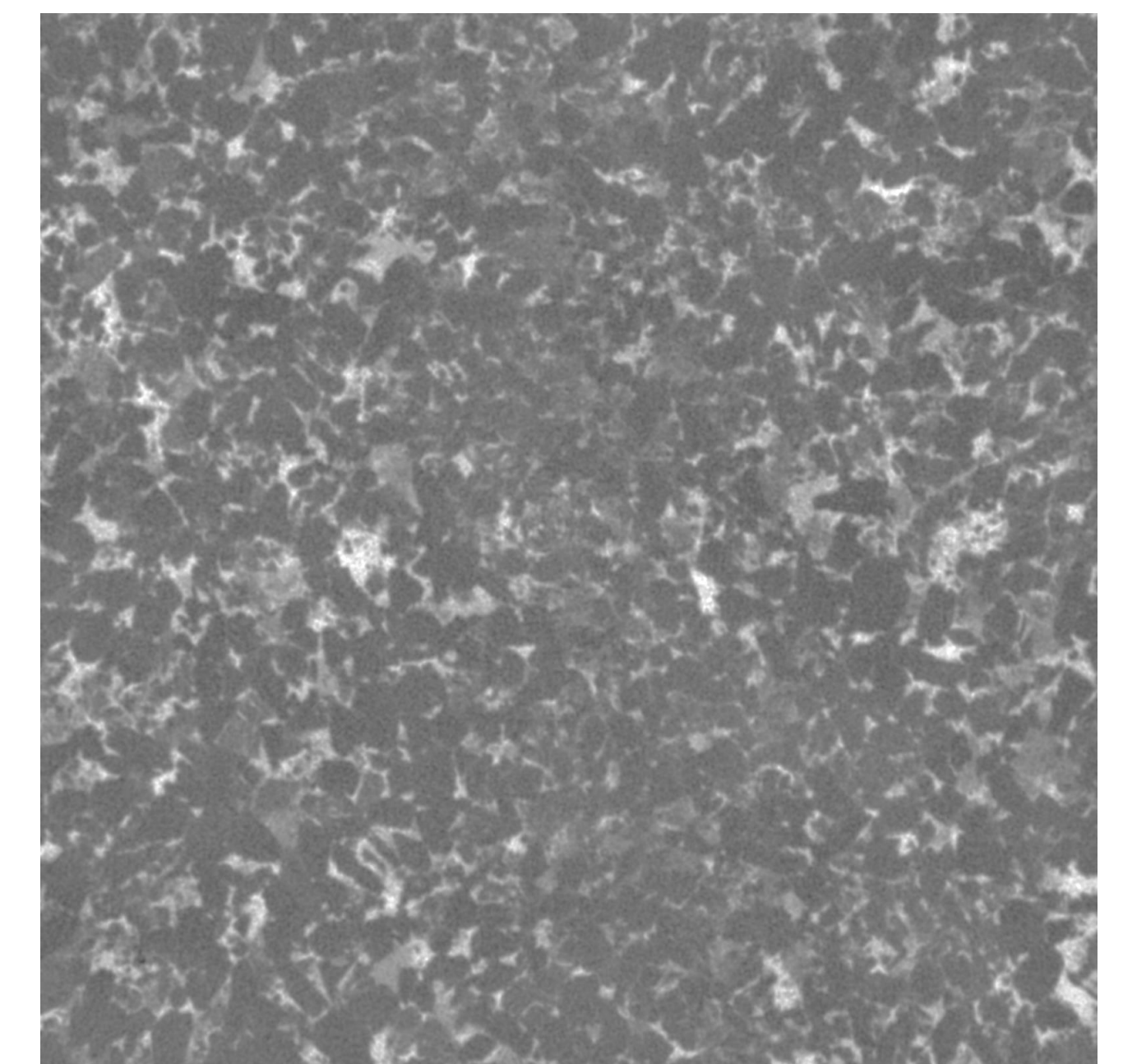


Рисунок 3 – Схемы элементов подсоединения «барокамера-томограф-ксенон»: с рекуперацией (А) и без рекуперации (Б) рентгеноконтрастного газа.

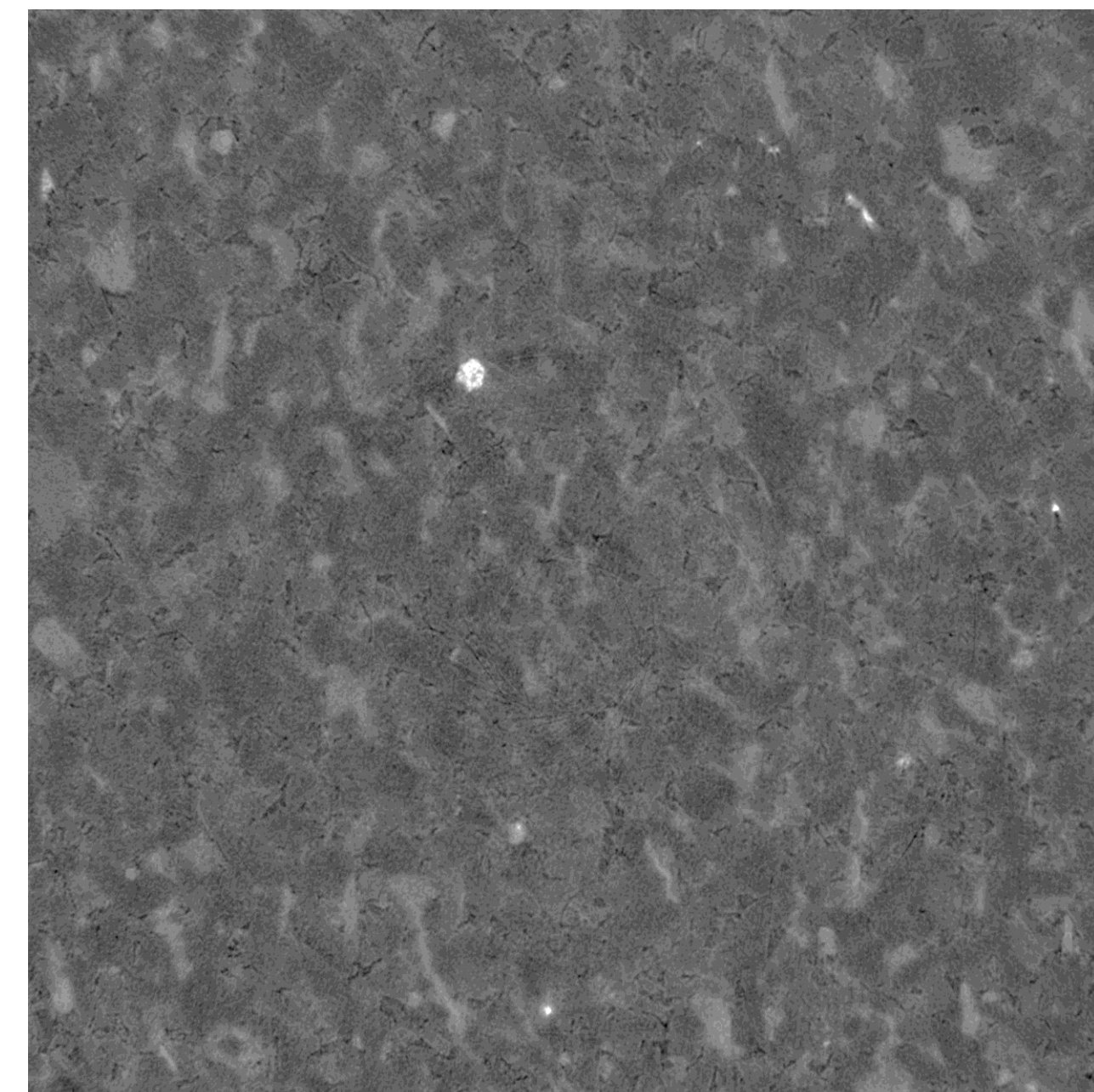
РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ



Томограмма до насыщения ксеноном



Разностное изображение томограмм



Томограмма после насыщения ксеноном

Рисунок 6 – Определение порового пространства низкопроницаемого керна с использованием рентгеноконтрастного газа ксенона.

РЕНТГЕНОКОНТРАСТНЫЕ ГАЗЫ

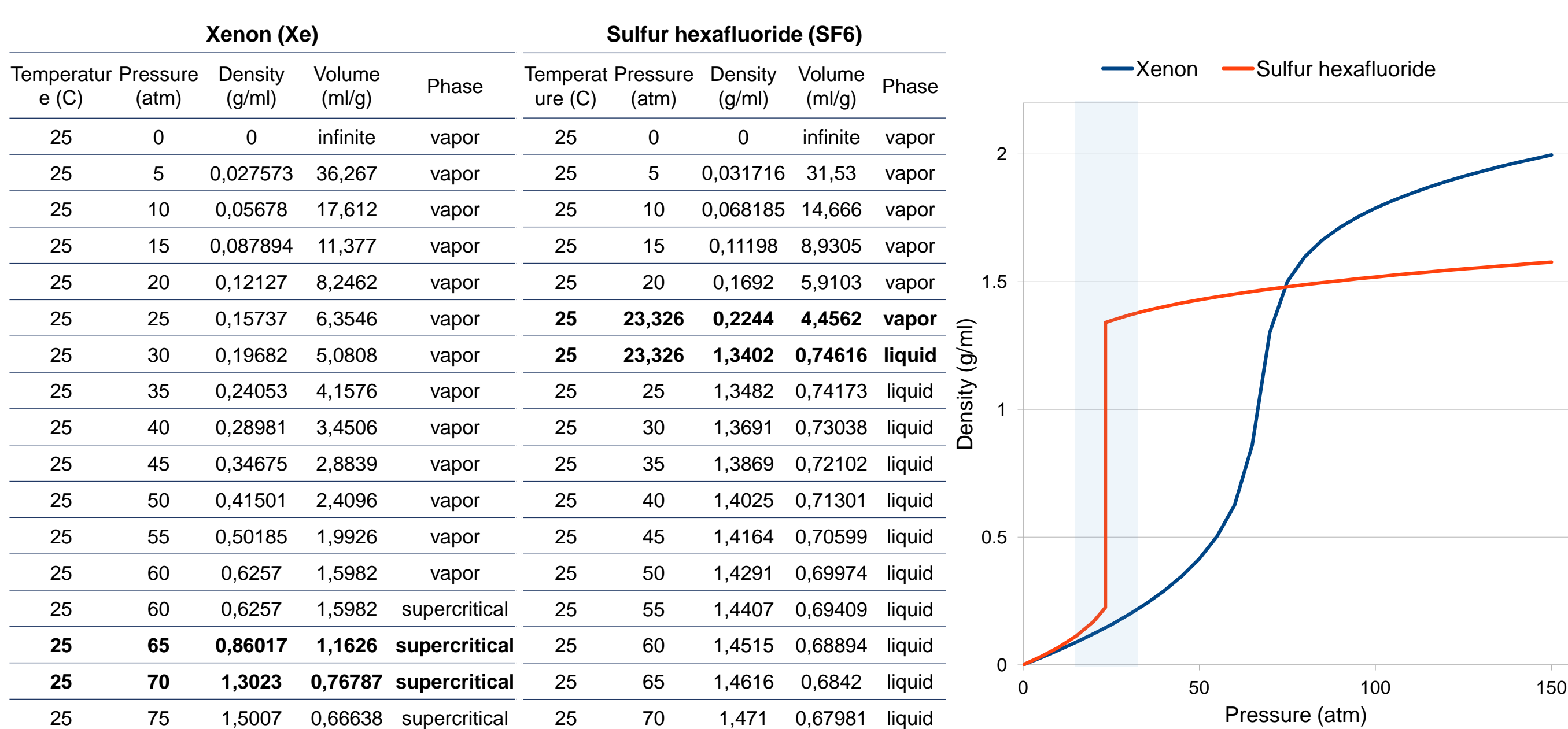


Рисунок 4 – Сравнение зависимостей плотностей газов ксенона (Xe) и гексафторида серы (SF6) от их термодинамических параметров.

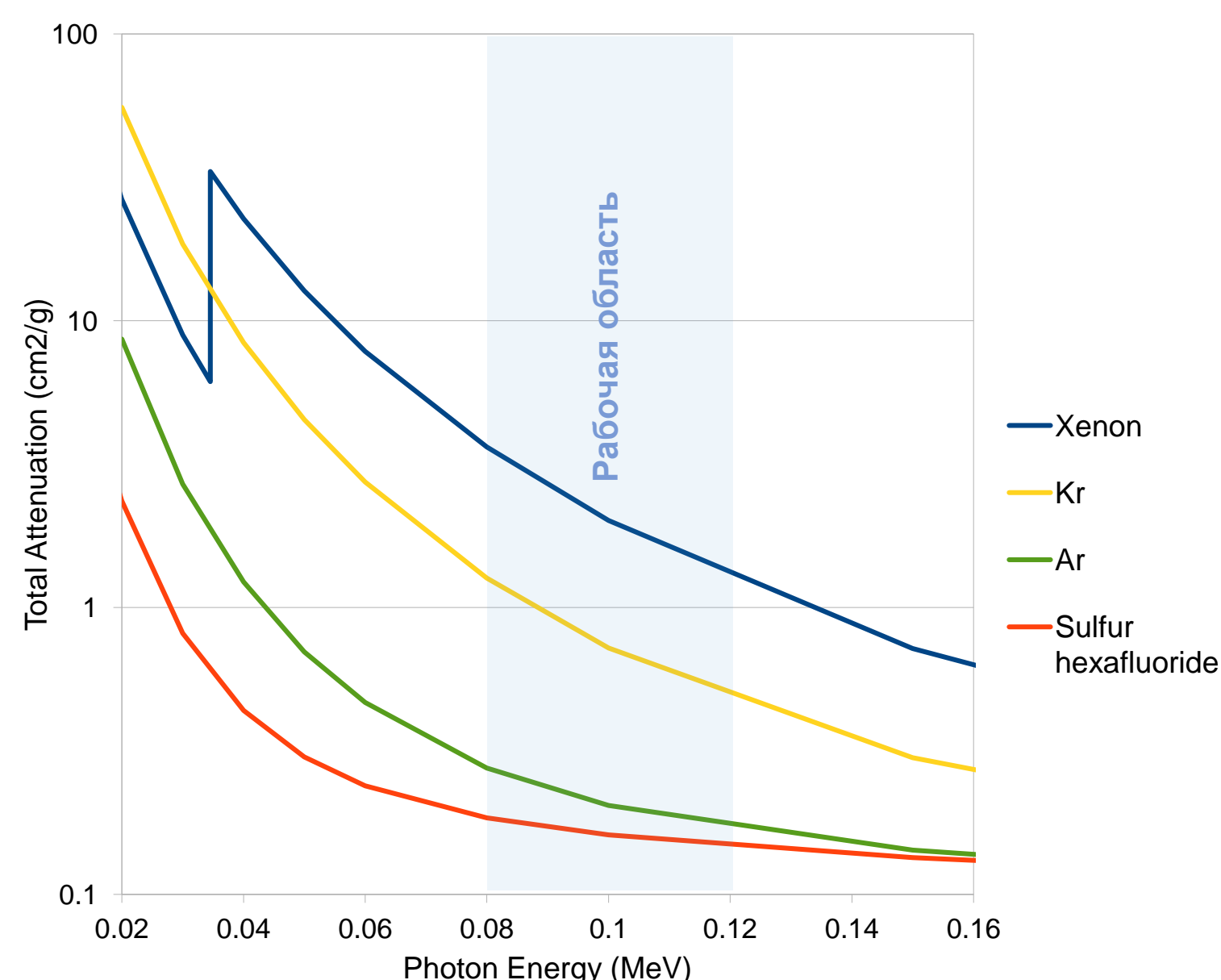


Рисунок 5 – Логарифмический график зависимости поглощающей способности различных газов от энергии фотонов.

Формула ослабления интенсивности рентгеновских лучей в зависимости от количества атомов вещества имеет вид:

$$I_n = I_0 e^{-\mu_a n}, \quad (2)$$

где I_n – степень ослабления интенсивности пучка после прохождения вещества; I_0 – степень ослабления интенсивности пучка до прохождения вещества; μ_a – коэффициент пропорциональности, называемый атомным коэффициентом ослабления, $см^2$; n – число атомов, приходящихся на единицу площади поглощающего слоя.

Из-за наличия наибольшего количества атомов ксенон примерно в 4 раза эффективнее поглощает рентгеновские лучи, чем криптон, и в 30 раз эффективнее, чем аргон, в рабочем диапазоне энергий фотонов от 80 до 120 кЭв (рис. 5).

Формула ослабления интенсивности рентгеновских лучей в зависимости от плотности вещества имеет вид:

$$I_m = I_0 e^{-\mu_m m}, \quad (1)$$

где I_m – степень ослабления интенсивности пучка после прохождения вещества; I_0 – степень ослабления интенсивности пучка до прохождения вещества; m – поверхностная плотность, $г/см^2$; массовый коэффициент ослабления имеет размерность $[μ_m] = см^2/г$;

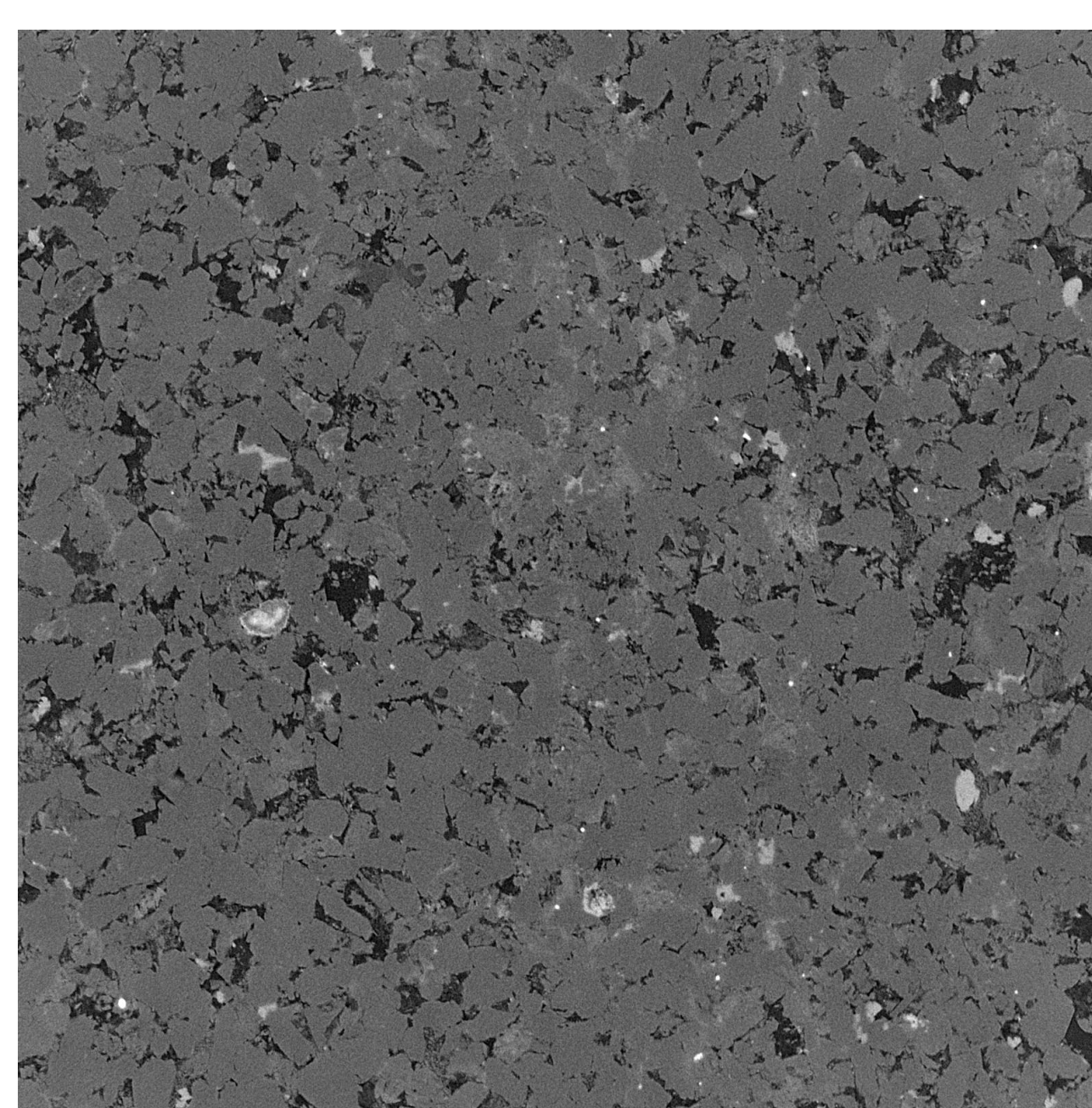
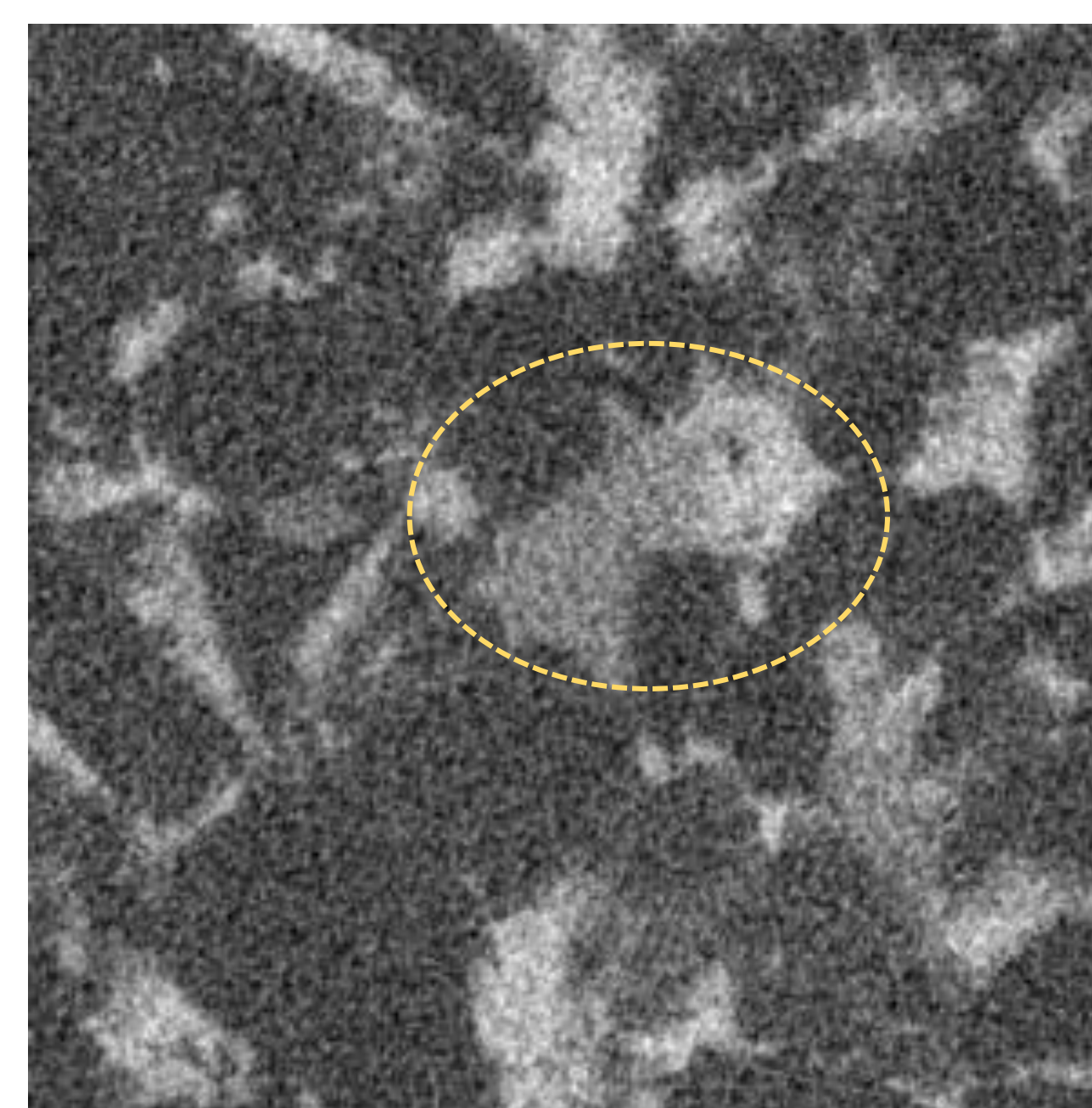
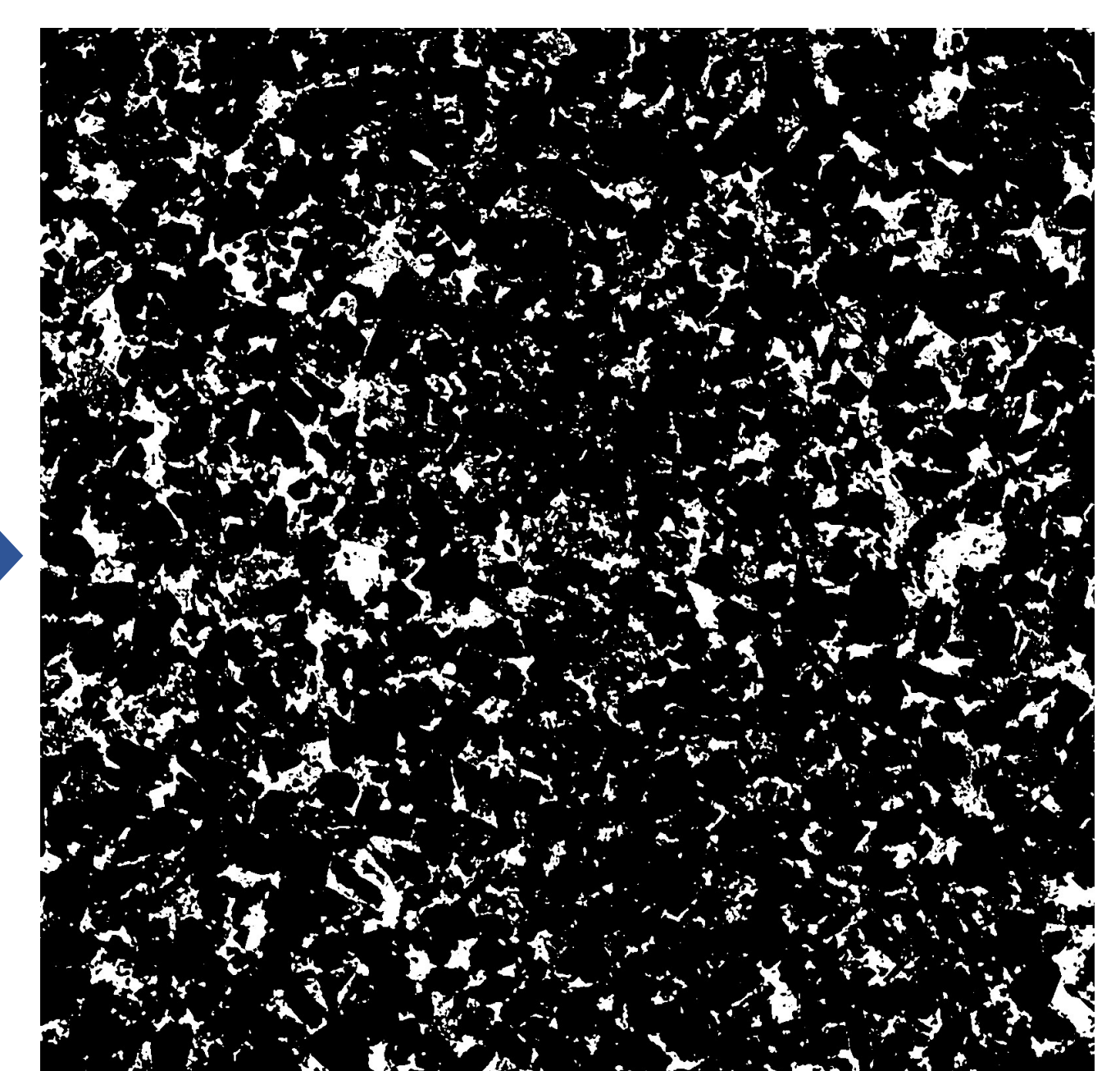
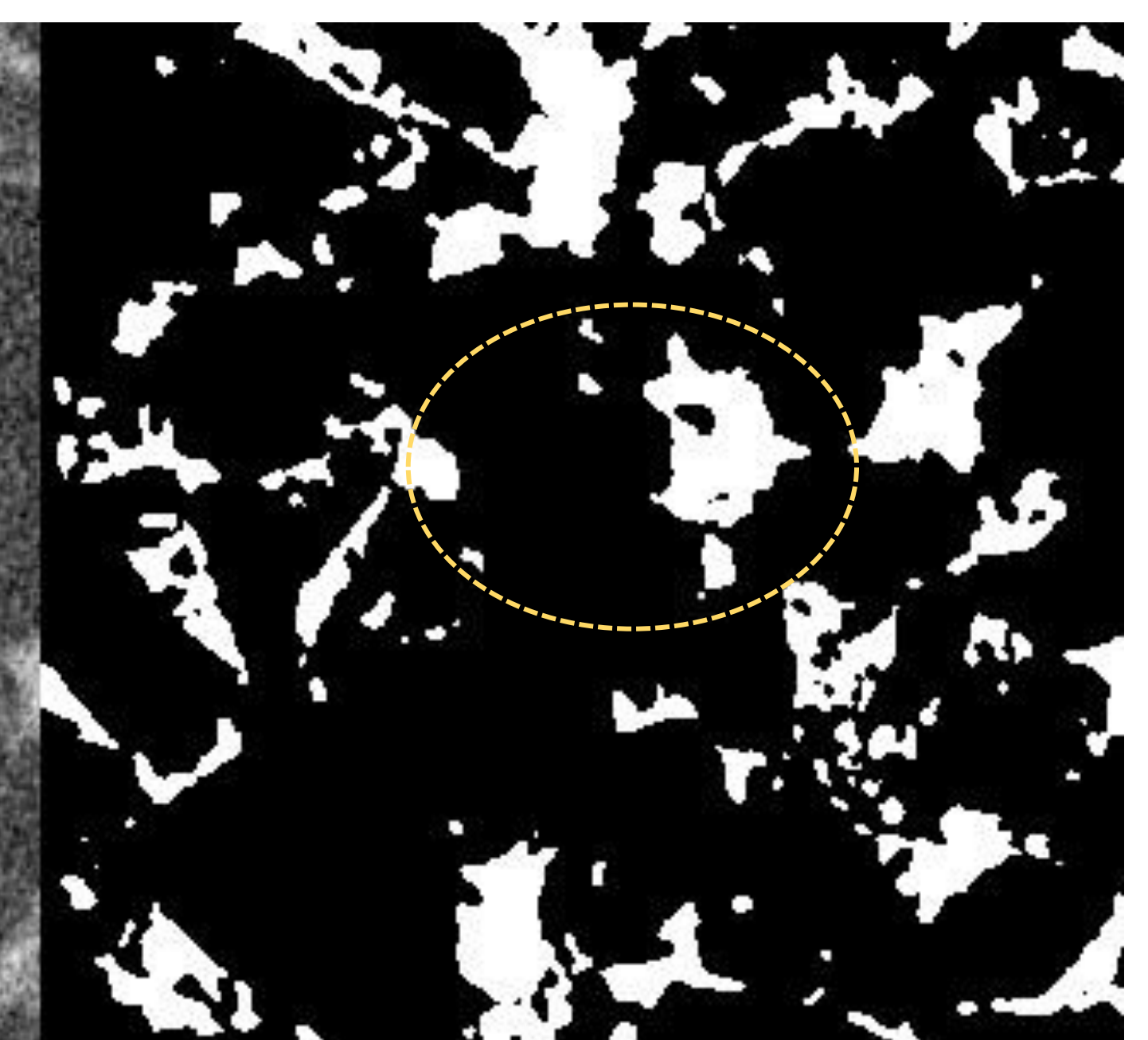


Рисунок 7 – Пример определения порового пространства пороговой бинаризацией.



А)



Б)

Рисунок 8 – Сравнение методов определения порового пространства: метода сканирования с контрастом (А) и методом пороговой бинаризацией (Б).

Данная разработка позволяет визуализировать неразрешаемую пористость – поры, размеры которых сопоставимы или меньше размера одного вокселя, – что, в свою очередь, повышает точность определения эффективной пористости на низкопроницаемых породах-коллекторах. С помощью представленной разработки возможно строить более качественные цифровые модели керна, для прогнозирования запасов УВ в пласте, снижения финансовых затрат при поиске и разработке залежей нефти и, в целом, для оптимизации всего процесса нефтегазодобычи.