

УДК 616.62:548.23:089.615

*В.В. Поляков, А.И. Неймарк, П.Г. Коротких, Е.В. Петрухно***Применение рентгеновской томографии
для прогнозирования поведения почечных камней
при дистанционном механическом воздействии**

Ключевые слова: почечные камни, рентгеновская компьютерная томография, томографическая плотность, ПЛС-метод.

Формирующиеся в организме человека патологические биоминеральные образования (камни) представляют собой органо-минеральные агрегаты с неоднородной структурой и сложным химическим составом. Физико-химические параметры этих камней определяются значительным числом случайных факторов. В случае такого распространенного заболевания, как мочекаменная болезнь, широко применяются методы дистанционной ударно-волновой литотрипсии, позволяющей дробить камни непосредственно в почках и мочевых путях без операционного воздействия. Эффективность лечения в значительной степени зависит от выбора оптимального режима внешнего механического воздействия на камни, а также от возможности прогнозирования результатов применения литотрипсии. Высокая сложность этой задачи определяется тем, что подвергаемые дроблению почечные камни могут быть исследованы только методами ультразвуковой или рентгеновской диагностики, их состав, структура и другие параметры остаются неизвестными [1]. В связи с этим исключительно актуальной является задача установления связи между данными дооперационного рентгеновского исследования камней и результатами их разрушения при литотрипсическом воздействии.

Наиболее информативным методом медицинской диагностики почечных камней является рентгеновская компьютерная томография, позволяющая определить расположение камня, его размеры и форму, а также зависимость рентгеновской томографической плотности от точек измерений вдоль камня [2]. В то же время задача установления корреляции между рентгеновскими томографическими данными, с одной стороны, и результатами воздействия на камень при литотрипсии – с другой, до сих пор не была решена вследствие ее высокой сложности. Выявление такой корреляции, являющейся основой для прогнозирования последствий ударно-волновой литотрипсии, является целью настоящей работы.

Камни мочевыводящей системы по химическому составу делятся на три основные группы: ураты, состоящие из солей мочевой кислоты; оксалаты, образованные солями щавелевой кислоты; и фосфа-

ты, формируемые солями фосфорной кислоты, [3]. Структура и морфологические характеристики этих камней наглядно проявляются на их шлифах. Типичные камни и их шлифы, полученные по методике [4], приведены для иллюстрации на рисунке 1 (а – уратные камни, б – оксалатные, в – фосфатные). Как видно из рисунка 1, обычно можно выделить следующие элементы структуры камня: ядро, концентрические или радиальные слои, оболочку. В зависимости от особенностей структуры происходит разрушение камня при внешнем механическом воздействии.

В настоящей работе для исследования почечных камней использовались данные рентгеновской компьютерной томографии, полученные с помощью томографа Сименс в больнице №1 Барнаула. Типичный вид получаемых рентгеновских данных представлен на рисунке 2.

На рисунке 2 виден почечный камень, его расположение в почке, указан размер конкремента (1,2 мм), изображено схематическое расположение камня в срезе организма (отмечено стрелкой), а также выведено время проведения томографического исследования.

Для решения поставленной в настоящей работе задачи наиболее информативным является изображение, снятое с рентгеновского томографа (рис. 3). Здесь выделена секущая, задающая направление количественных измерений рентгеновской томографической плотности. Отчетливо видна форма камня, его размер, а также проиллюстрировано то обстоятельство, что измерения проводятся наиболее информативным образом – вдоль наибольшей секущей.

Количественные характеристики рентгеновской томографии основываются на вычислении коэффициентов линейного ослабления рентгеновского излучения в различных проекциях при сканировании объекта. Значения коэффициентов зависят от исходной энергии излучения, а также от химического состава и физической плотности вещества. Получаемые данные обычно представляются в виде гистограмм, изображающих зависимость томографической плотности I (в условных единицах по шкале Хаусфилда) на данном отрезке выделенной секущей от расстояния этого отрезка до границы камня вдоль секущей. Типичный вид экспериментальной гистограммы приведен на рисунке 4, из которого следует, что экспериментальная кривая имеет достаточно сложный вид, который

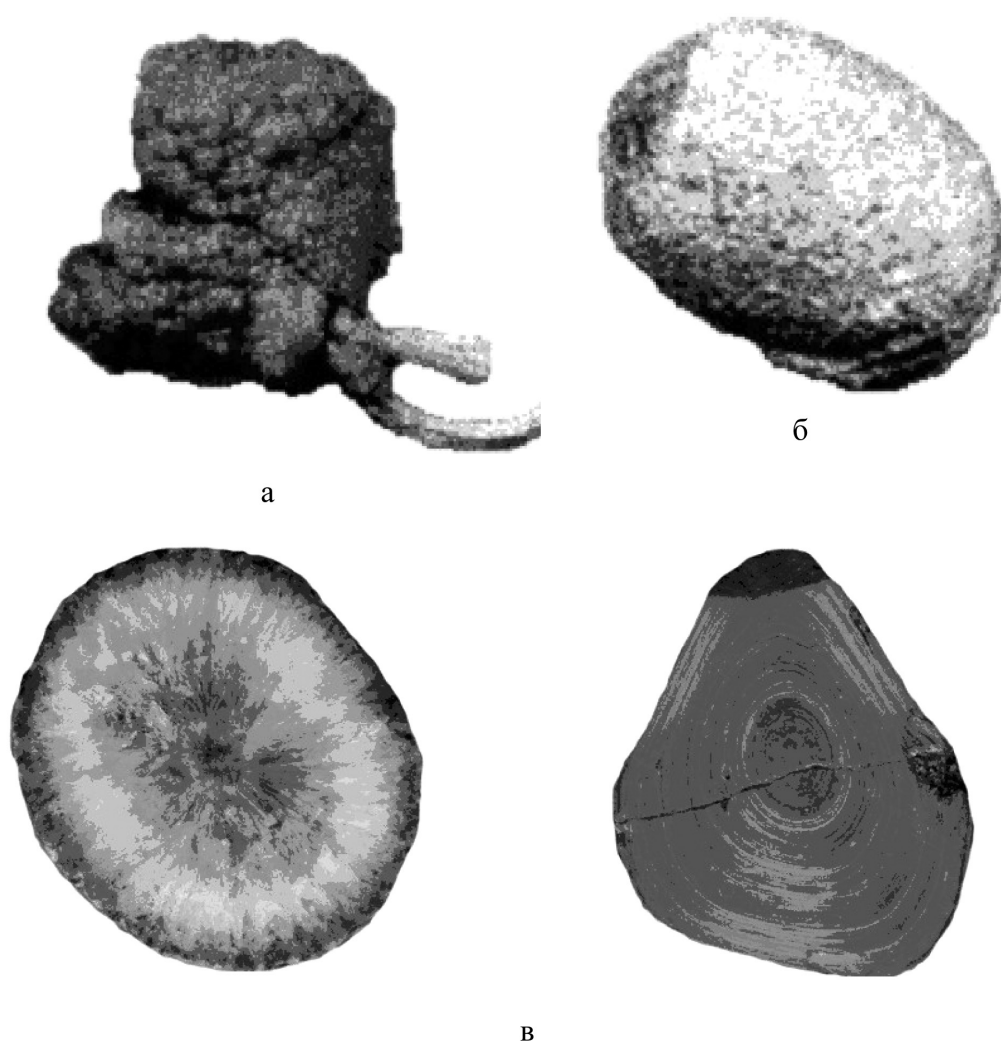


Рис. 1. Типичные камни мочевыводящей системы и их шлифы: а) уратный; б) оксалатный; в) фосфатные



Рис. 2. Рентгеновская томограмма почечного камня

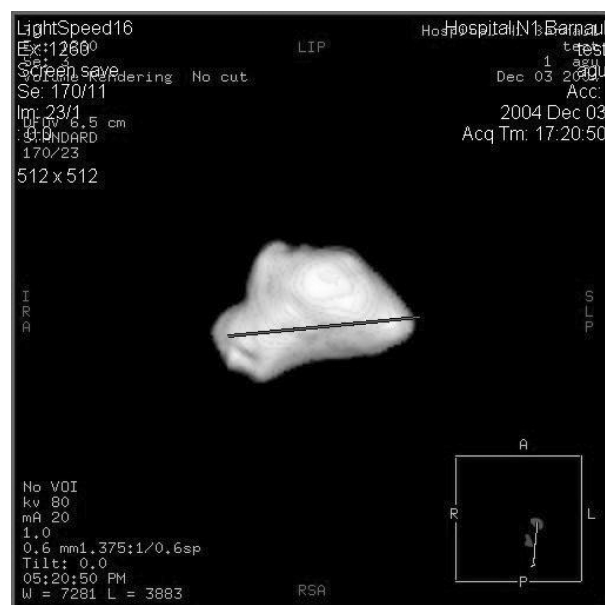


Рис. 3. Томограмма почечного камня с указанным направлением измерения рентгеновской томографической плотности

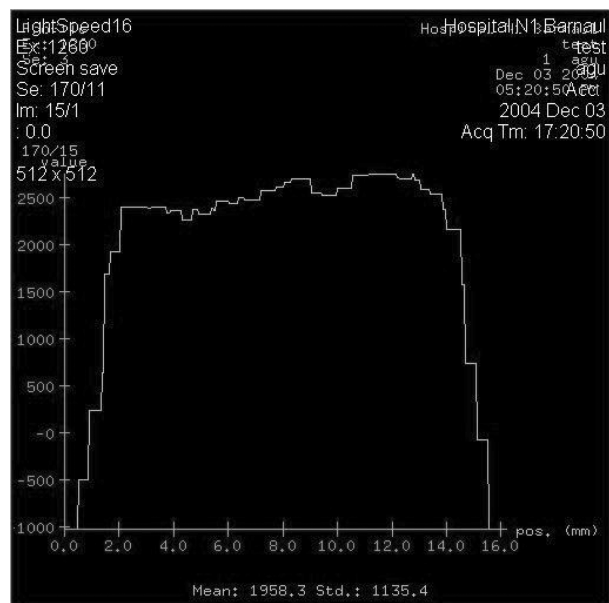


Рис. 4. Гистограмма зависимости томографической плотности почечного камня от относительного расстояния вдоль выделенной секущей

определяется такими физико-химическими параметрами, как химический состав камня, его плотность, пористость, наличие микротрещин и т.д. [5]. Другими словами, получаемый вид распределения рентгеновской томографической плотности должен (в той или иной степени) характеризовать прочностные свойства камней и их поведение при внешнем механическом воздействии.

Для выявления связи между экспериментальными распределениями томографической плотности и результатами разрушения при литотрипсии был привлечен математический аппарат анализа многомерных данных. Этот подход позволяет выделять в больших массивах данных скрытые (латентные) переменные и анализировать связи, существующие в изучаемой системе. При анализе и обработке рентгеновских данных использовался метод проекции на латентные структуры (ПЛС-метод) [6]. Это связано с тем, что «отклик» – результат литотриптического воздействия – напрямую и известным образом зависит от независимых переменных, т.е. значений томографической плотности для группы образцов, что позволяет ожидать наиболее надежных результатов. Непосредственные расчеты проводились с помощью пакета программ Unscrambler компании CAMO, предоставленного правообладателем, классов аналогий (SIMCA) и метода главных компонент (PCA) и др. Указанное программное обеспечение ранее хорошо проявило себя для расшифровки спектров сложных химических соединений (хеометрики), для обработки компьютерных томограмм оно ранее не применялось.

В качестве исходных экспериментальных данных использовались распределение рентгеновской

томографической плотности в почечных камнях, измеренное при обследовании пациентов в больнице №1 Барнаула, и результаты дистанционной ударно-волновой литотрипсии этих же пациентов, полученные в Алтайской краевой клинической больнице.

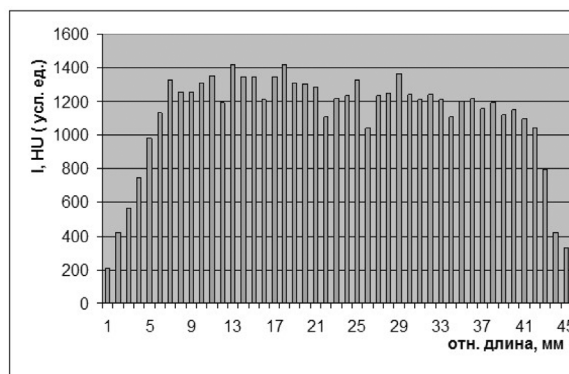


Рис. 5. Гистограмма распределения томографической плотности, использовавшаяся при расчете по методу ПЛС

Данные, вводимые в программу Unscrambler, требуют соответствующей предварительной подготовки, а именно: эти данные должны быть представлены в виде двух матриц X и Y. Матрица X имеет размерность $n \times p$, где n – число образцов (в нашем случае равное числу исследовавшихся камней); p – число переменных (ими являются значения томографической плотности). Матрица Y строилась следующим образом: в качестве «откликов» использовались результаты, полученные при литотрипсии, а также размеры камней, снятые с рентгеновских томограмм. Разрушенному камню сопоставлялось значение 1, а неразрушенному – 0. Таким образом, матрица Y имела размерность $n \times 2$, где первый столбец состоял из набора значений 1 и 0, а второй – из экспериментальных размеров камней (точнее, длин секущих, соответствующих точкам измерения). Экспериментальные данные, непосредственно снятые с томографа, интерполировались таким образом для получения сопоставимых гистограмм, при этом значения томографической плотности соответствовали шагу 0,3 мм. В случае малой длины секущей соответствующие элементы матрицы X дописывались нулевыми значениями. Типичный результат обработки, иллюстрирующий вводимые данные, приведен на рисунке 5.

Результат расчетов для 27 исследовавшихся образцов приведен на рисунке 6 в виде графика счетов по первой и второй главным компонентам [7] (светлым значком отмечены разрушившиеся камни, темным значком – неразрушившиеся). Предполагалось, что должно произойти разделение точек на две области, из которых одна соответствует разрушившимся камням, а другая – неразрушившимся. Однако, как видно из рисунка 6, такого разделения не произошло.

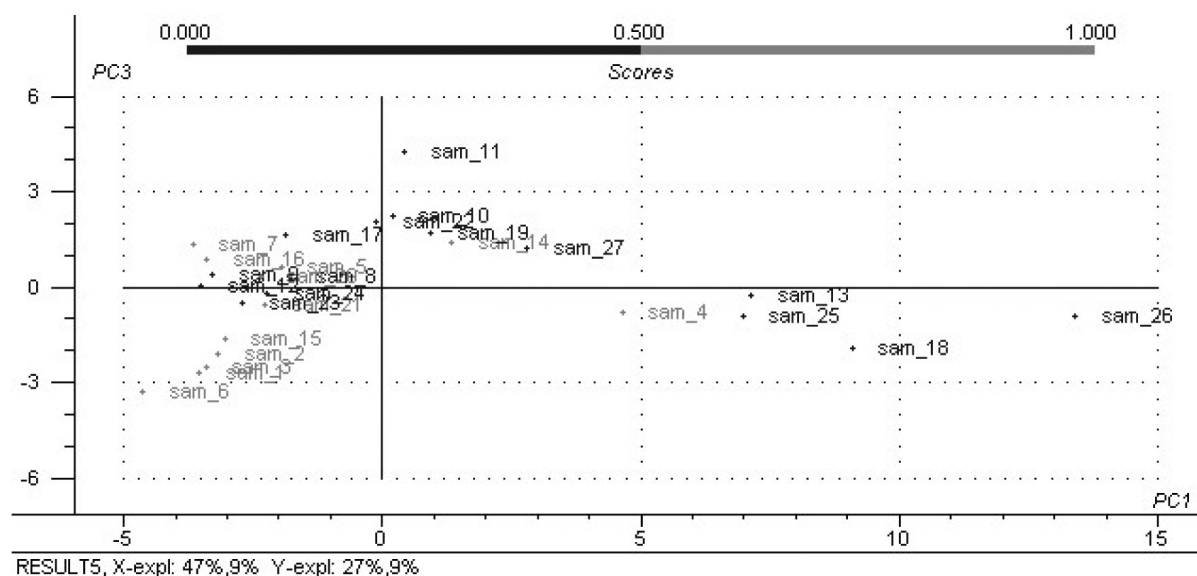


Рис. 6. График счетов для исследовавшихся почечных камней

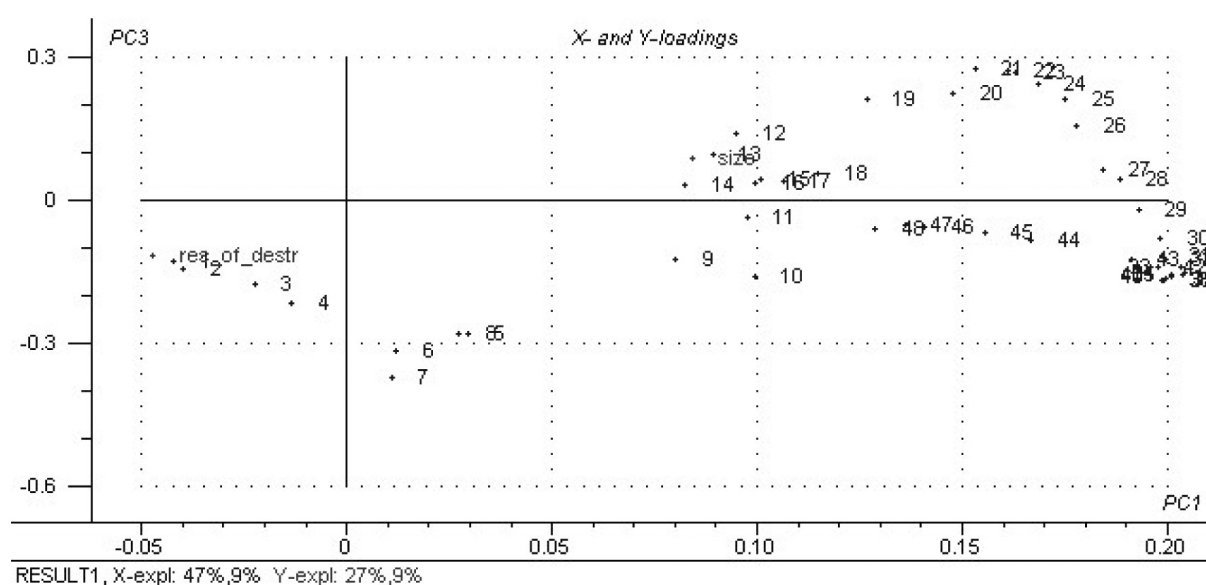


Рис. 7. График нагрузок для исследовавшихся почечных камней

Для выяснения этой причины проанализирован график нагрузок (рис. 7), из которого видно, что основная группа экспериментальных точек попадает в область, соответствующую не результату разрушения, а размеру камня. Это позволило предположить, что данные рентгеновских томографических исследований в первую очередь зависят именно от размера камня.

В связи с доминирующим вкладом размера камня все исследовавшиеся конкременты были разбиты на группы с близкими значениями размеров: от 30 до 17 мм (большие камни); от 16 до 8 мм (камни средних размеров) и менее 7 мм (маленькие камни), далее расчеты

проводились для камней выделенной группы. График счетов, соответствующий камням малого размера, приведен на рисунке 8, из которого следует, что томограммы этих камней разделяются достаточно надежно. График нагрузок (рис. 9) также свидетельствует о том, что доминирующим параметром становится результат разрушения. Аналогичные результаты были получены для томограмм, соответствовавших другим группам, объединявшим конкременты близких размеров.

Таким образом, установлено, что в группах камней близкого размера может быть проведено разделение распределений рентгеновской то-

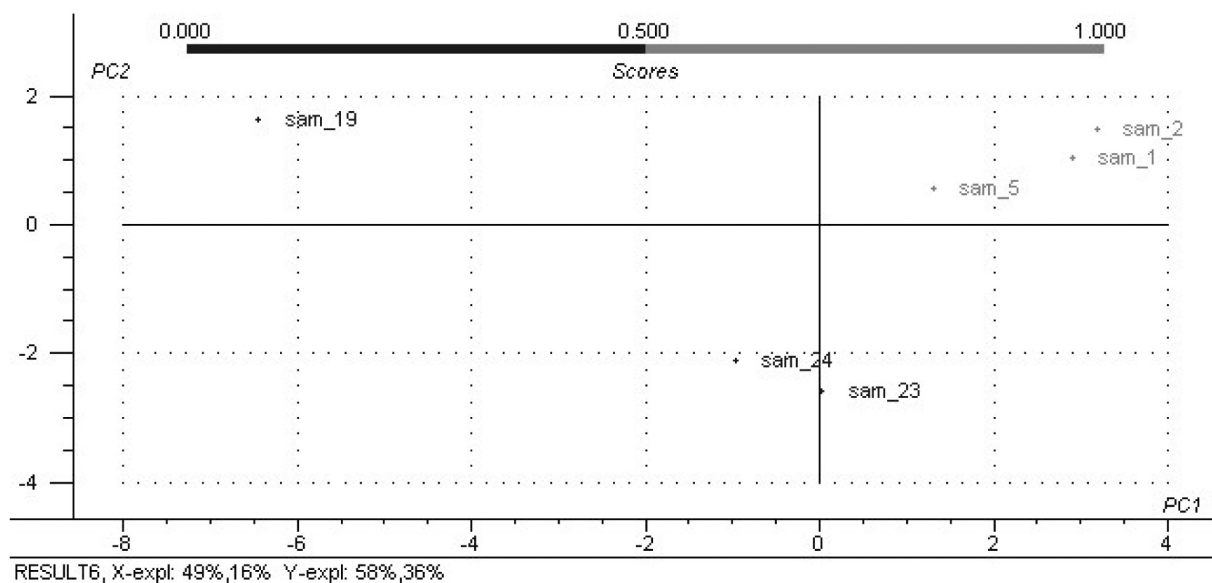


Рис. 8. График счетов для группы камней малого размера

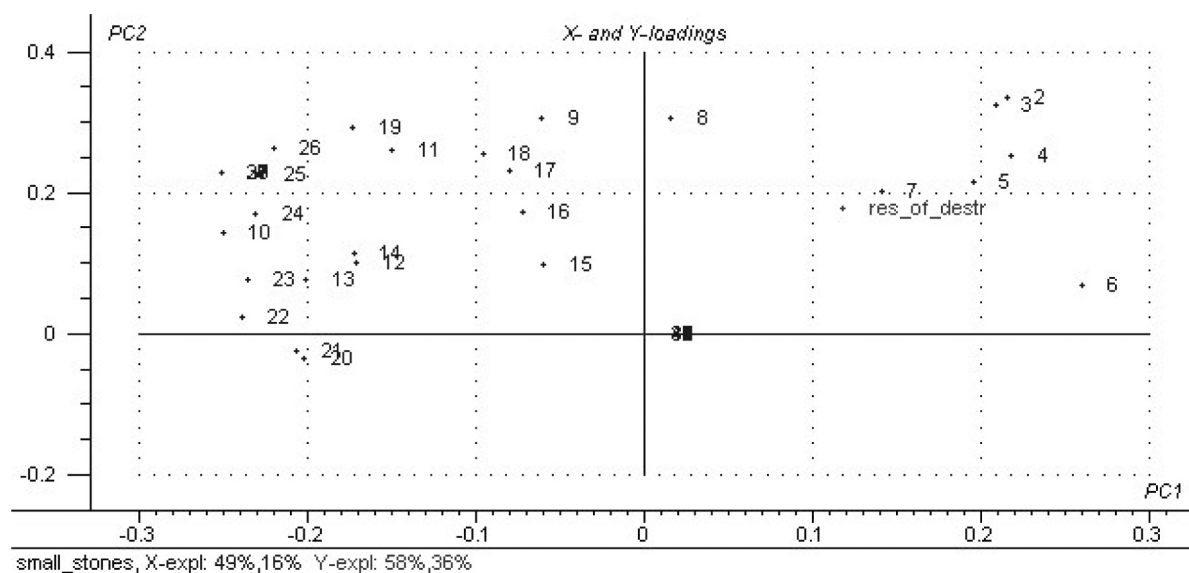


Рис. 9. График нагрузок для группы камней малого размера

мографической плотности по результатам разрушения камней. Это создает научную основу для прогнозирования результатов ударно-волновой

литотрипсии и оптимального подбора ее параметров по данным рентгеновской компьютерной диагностики.

Библиографический список

1. Александров, В.П. Мочекаменная болезнь: лечение и профилактика / В.П. Александров. – М., 2005.
2. Наттерер, Ф. Математические аспекты компьютерной томографии / Ф. Наттерер. – М., 1990.
3. Полиенко, А.К. Онтогенез уролитов / А.К. Полиенко, Г.В. Шубин, В.А. Ермолаев. – Томск, 1997.
4. Неймарк, А.И. Влияние структуры уролитов на их механические свойства / А.И. Неймарк, В.В. Поляков, Н.А. Титаренко // Известия АлтГУ. – 2000. – №1.

5. Степанов, В.Н. Влияние физико-химических свойств и структуры почечных камней на результаты дистанционной ударно-волновой литотрипсии / В.Н. Степанов, В.М. Перельман, В.Г. Истратов, З.А. Кадыров // Урология и нефрология. – 1994. – №1.
6. Родионова, О.Е. Хемометрика в аналитической химии / О.Е. Родионова, А.Л. Померанцев. – М., 2003.
7. Эсбесен, К. Анализ многомерных данных / К. Эсбесен. – Самара, 2006.