

СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ РИСКА ПЕРЕЛОМОВ ПРИ ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ ПОЧЕК

Н. Р. Урманцева^a, Д. А. Вишняк^b, Е. Д. Куликов^c, Н. М. Джафарова²

Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация

^a <https://orcid.org/0000-0001-9163-6132>, nel-u@yandex.ru

^b <https://orcid.org/0000-0002-8473-5930>, diana100187@yandex.ru

^c <https://orcid.org/0009-0004-3602-3957>, g2002kulikov@yandex.ru

² <https://orcid.org/0009-0006-0903-0515>, nargizka.16.03.2000@mail.ru

Аннотация: нарушения фосфорно-кальциевого обмена являются одними из ведущих и поздно диагностируемых осложнений при хронической болезни почек. В работе представлены математический анализ данных пациентов и процесс создания алгоритма оценки рисков переломов с хронической болезнью почек.

Ключевые слова: хроническая болезнь почек, минерально-костные нарушения, цифровые технологии, прогнозирование, информационная система, остеопороз.

Для цитирования: Урманцева Н. Р., Вишняк Д. А., Куликов Е. Д., Джафарова Н. М. Создание алгоритма оценки риска переломов при хронической болезни почек. *Успехи кибернетики*. 2026;7(1):71–76.

Поступила в редакцию: 09.01.2026.

В окончательном варианте: 18.02.2026.

DIGITAL ASSESSMENT OF THE BONE FRACTURE RISK IN CHRONIC KIDNEY DISEASE PATIENTS

N. R. Urmantseva^a, D. A. Vishnyak^b, E. D. Kulikov^c, N. M. Jafarova^d

Surgut State University, Surgut, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0000-0001-9163-6132>, nel-u@yandex.ru

^b <https://orcid.org/0000-0002-8473-5930>, diana100187@yandex.ru

^c <https://orcid.org/0009-0004-3602-3957>, g2002kulikov@yandex.ru

^d <https://orcid.org/0009-0006-0903-0515>, nargizka.16.03.2000@mail.ru

Abstract: phosphorus and calcium metabolism disorders are one of the leading and late-diagnosed complications of chronic kidney disease. This paper presents the analysis of patient data and a computer-assisted procedure for fracture risk assessment in patients with chronic kidney disease.

Keywords: chronic kidney disease, mineral bone disorder, digital technologies, forecasting, information system, osteoporosis.

Cite this article: Urmantseva N. R., Vishnyak D. A., Kulikov E. D., Jafarova N. M. Digital Assessment of the Bone Fracture Risk in Chronic Kidney Disease Patients. *Russian Journal of Cybernetics*. 2026;7(1):71–76.

Original article submitted: 09.01.2026.

Revision submitted: 18.02.2026.

Введение

Современная медицина сталкивается с ростом числа остеопоротических минерально-костных нарушений (МКН) (рис. 1). Ожидается рост числа переломов до 730 тыс. случаев ежегодно [1, 2, 3, 4].

Согласно исследованиям переломы являются ведущим осложнением хронической болезни почек (ХБП) и вероятность МКН возрастает по мере прогрессирования ХБП, особенно для людей старше 65 лет [1, 2, 5] (рис. 2).

Пациенты с ХБП представляют особую группу больных, которые требуют специфических подходов и ранней диагностики МКН. Сегодня все силы брошены на организацию медицинской помощи пациентам с ХБП: необходимо верифицировать группы высокого риска развития МКН-ХБП и наибольшее внимание следует уделять именно предиктивной диагностике, что соответствует современным концепциям медицины 5П. В целях осуществления ранней персонифицированной верификации МКН-ХБП нами запланировано создание калькулятора для оценки риска развития остеопороза и переломов у пациентов с ХБП в ближайшие 3 года.

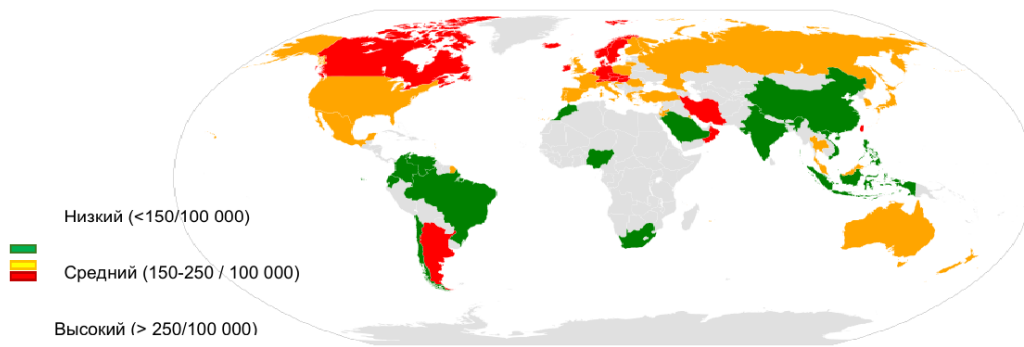


Рис. 1. Риски переломов шейки бедра в мире [7]

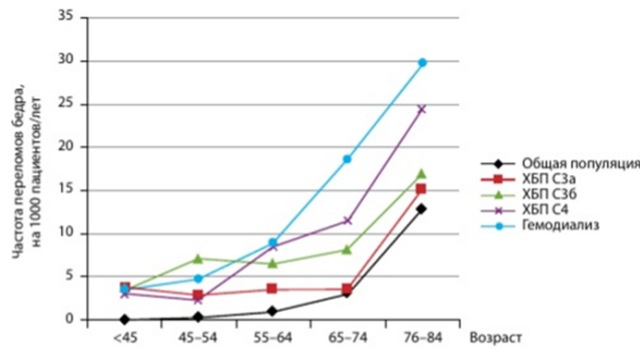


Рис. 2. Соотношение стадии ХБП и частоты переломов [1]

Возраст, 2024	Пол	Вес, 2024	Рост, 2024	ИМТ, начало	ИМТ, 2024	Переломы в анамнезе	Переломы, 2024 (за 3 года наблюдения)	Курение	Уровень витамина D, начало	Уровень витамина D, 2024	Уровень кальция общего, начало	Уровень общего кальция, 2024	Уровень нонинирированного кальция, начало	Уровень нонинирированного кальция, 2024	Уровень паратгормона, начало
64 муж		92	178	24,1	25,2	да			13,5	10,8	2,45	2,40			1,2
48 муж		80	178	21	23,2	да			14,2	31,3	2,41	2,10			1,1
63 жен		89	160	36	34,8				8,7	6,9	2,1	2,30			1,2
75 муж		58	160	21,2	22,7	да			12	3	2,27	1,98	1,17		1
79 муж		77	155	29	32 да				8	6,7	2,35	1,70			0,9
51 жен		93	164	33,4	34,6				6,5	15,7	2,41	2,00	1,2		1,1
64 муж		85	175	27,7	27,8				38	22,5	1,67	2,08	0,95		1,07
70 жен		52	154	23,4	21,9				18	3	2,47	1,31			0,68
53 жен		70	158	27	28				5,06	13,6	2,11	2,20	1,19		1,1
57 муж		101	183	32,1	30,2				5,8	5	2,57	1,60	1,49		1,1
74 жен		90	162	34,3	34,3				26,7	4,2	2,5	2,96	1,23		1,76
59 жен		70	170	24,8	24,2				3,6	8,9	2,18	2,40	1,11		1,47
67 муж		86	176	29,4	27,6				32	31	2,54	2,18			1,16
46 муж		79	172	26,3	26,7				10,5	7	2,05	2,15			1,18
40 муж		95	175	30,9	31				11	5,42	2,35	2,07			1,21
49 муж		100	171	34,2	34,2				3,09	4,81	2,32	1,41			0,72
53 муж		115	180	33,1	35,5 да				6	17,2	2,38	2,30			1,3
51 жен		51	170	16,8	17,6				28,5	19,6	2,46	2,00			1,1
57 муж		78	180	23,1	24,1			да	14,8	3,3	2,68	1,90			1,1
84 жен		90	151	38	39,5	да	да		8,7	10	2,28	0,05			1,1
61 муж		67	170	22,1	23,2				7,4	10,2	2,63	2,30	1,47		1,3
74 жен		91	174	30	30,1				11,2	33	2,48	2,05			1,1
74 муж		65	160	23,2	25,4				15,4	5,8	1,73	1,90	0,8		1,1
33 муж		94	172	30,6	31,8				23,7	10,51	2,44	2,10			0,66
59 жен		71	152	30,5	30,7				62,7	13,4	1,95	1,30	1,15		0,6
58 муж		77	181	23,7	23,5				11,8	3	2,51	2,00			1
78 жен		65	160	23	25,4	да			10,75	12	1,91	2,30	0,98		1,21
41 муж		60	160	23,3	23,4				1,67	13,28	1,67	1,65	0,95		0,84
57 муж		112	176	38	36				12,7	13,7	1,88	2,10	1,1		0,9
54 муж		93	173	30	31,1				19,4	5	2,3	2,00			1
66 муж		91	182	26,8	27	да			4,8	13	2,11	1,80	1,13		0,9
--		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Рис. 3. База данных пациентов

В исследовании была проанализирована база данных пациентов (рис. 3). Проведена оценка корреляционных связей между демографическими (пол, возраст), биохимическими (уровень кальция, фосфора, паратиреоидного гормона) и денситометрическими параметрами (Т-критерий поясничного отдела позвоночника) для нахождения рисков переломов (таблица 1).

Для построения модели была использована линейная регрессия. Значимость коэффициентов оценивалась с использованием р-значений, качество модели – коэффициентом детерминации R^2 . Анализ данных выявил корреляционные связи между изучаемыми параметрами.

Корреляционный анализ показал наличие значимых взаимосвязей между параметрами (таблица 2). Наиболее выраженная корреляция наблюдалась с возрастом, что соответствует биологическим

Таблица 1

Общая характеристика выборки

Параметр	СР±Ст. откл.	Мин-Макс
Возраст, лет	60.4 ± 11.7	31–84
Пол	63 жен. (64,3 %) 35 муж. (35,7 %)	
Общий кальций, ммоль/л	2.08 ± 0.25	0.05–2.70
Фосфор, ммоль/л	1.80 ± 0.49	0.5–3.25
ПТГ, пг/мл	352.0 ± 328.5	1.2–1666
Т-критерий L1–L4	-1.23 ± 1.55	-4.6 – +2.5
Риск перелома, % (основной)	6.2 ± 3.3	0.2–15.0

Таблица 2

Корреляция между демографическими, биохимическими и остеоденситометрическими параметрами

Пара	Значение	Уровень значимости
Возраст и Т-критерий L1–L4	-0.62	<0.001
Возраст и вероятность перелома, %	+0.78	<0.001
Пол (женский = 1) и Т-критерий	-0.31	0.002
ПТГ и Т-критерий	-0.41	<0.001
Кальций и ПТГ	-0.29	0.004
Т-критерий и вероятность перелома, %	-0.49	<0.001

закономерностям. Принадлежность к женскому полу также добавляет дополнительные 3,72% к риску переломов.

Женщины в исследуемой когорте в среднем старше и имеют более низкую минеральную плотность костной ткани и повышенный риск переломов, что соответствует типичной картине постменопаузального остеопороза. Анализ выявил ряд ключевых закономерностей.

У 24% пациентов уровень ПТГ превышал 65 пг/мл. У этой группы средний Т-критерий составлял -2.1 ± 1.3 , в то время как у пациентов с нормальным уровнем ПТГ он был значительно выше и составлял -0.9 ± 1.5 (таблица 3).

Таблица 3

Групповой анализ по полу

Параметр	Ж (N=63)	М (N=35)	P (Манна-Уитни)
Возраст, лет	62.9 ± 10.2	55.8 ± 12.7	0.003
Т-критерий L1–L4	-1.53 ± 1.58	-0.67 ± 1.28	0.006
Риск перелома, % (осн.)	6.8 ± 3.5	5.1 ± 2.6	0.012
ПТГ, пг/мл	392 ± 377	279 ± 207	0.078 (тенденция)

Это указывает на то, что гиперпаратиреоз является независимым фактором, ассоциированным со снижением минеральной плотности костной ткани. Кроме того, у пациентов с Т-критерием ниже -2.5 средний риск перелома оказался значительно выше: 7.9 ± 3.6 против 5.7 ± 2.9 у остальных, что показывает важность Т-критерия в оценке риска переломов данной категории больных.

Была построена базовая регрессионная модель с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.687$, включающая возраст, Т-критерий остеоденситометрии, пол, ИМТ, ПТГ и фосфор. Анализ остатков выявил U-образный изгиб, указывающий на нелинейный характер зависимости (рис. 5).

Для устранения этого эффекта был добавлен квадратичный член по возрасту, что повысило R^2 до 0.742 и обеспечило более равномерное распределение остатков (рис. 6).

Результаты исследования свидетельствуют о том, что учет нелинейных взаимосвязей и специ-

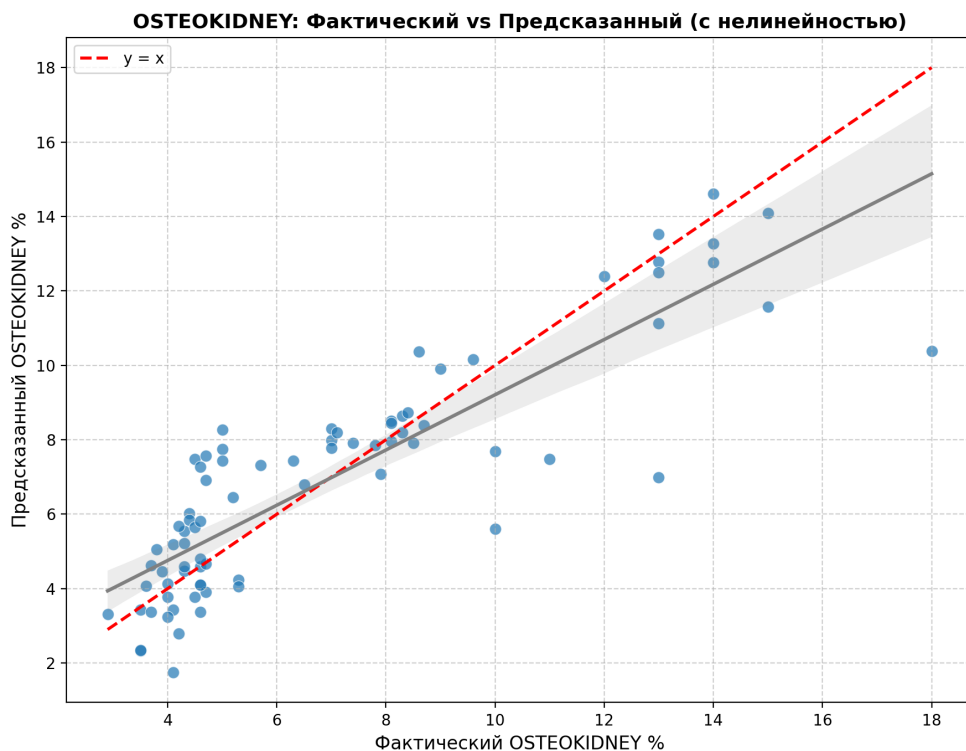


Рис. 4. Сравнение фактических и предсказанных значений OSTEOKIDNEY

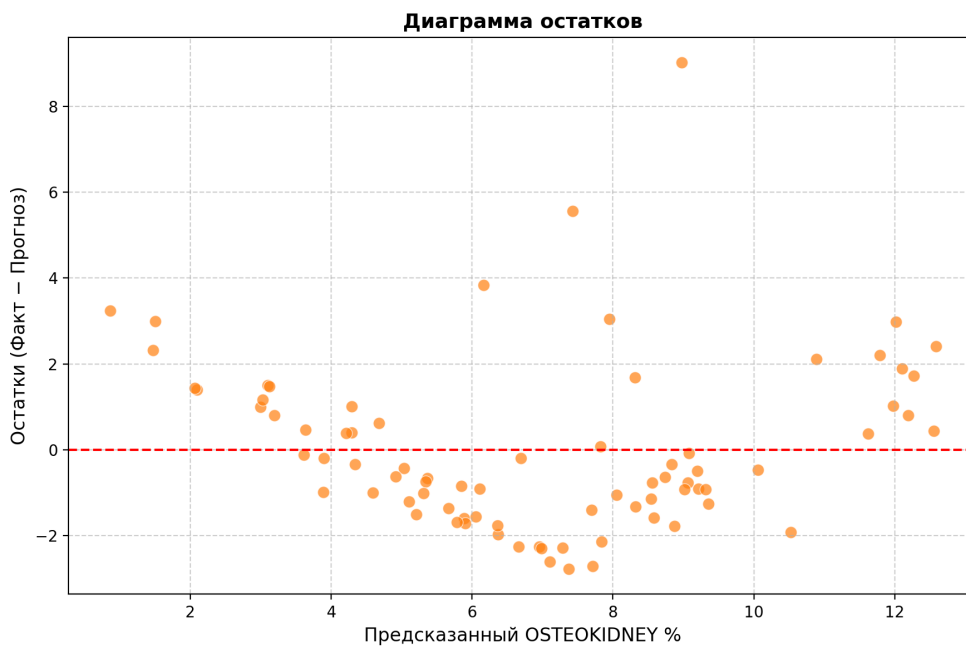


Рис. 5. Диаграмма остатков

фических биомаркеров позволяет существенно повысить точность прогнозирования риска переломов у пациентов с ХБП.

На основе этой математической модели можно создать систему расчета риска перелома, основываясь на биомаркерах, прошедших через корреляционный и регрессионный анализы.

Интерфейс системы

На рисунке 7 представлен спроектированный интерфейс системы. Планируется увеличение точности математической модели системы расчета риска перелома и ее дальнейшее внедрение.

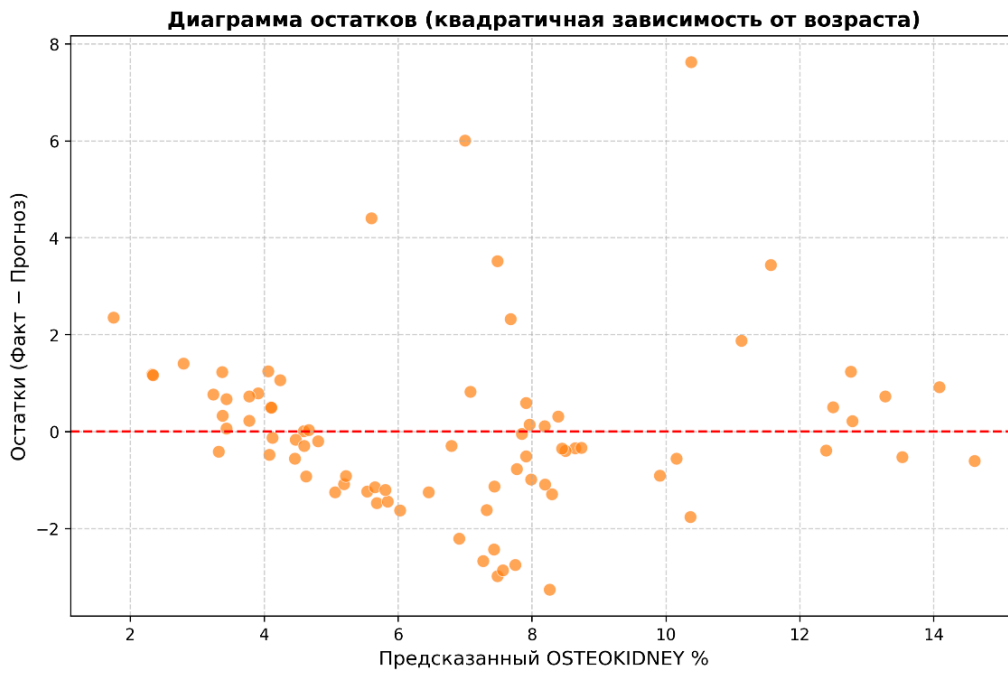



Рис. 6. Диаграмма остатков после добавления квадратичного члена



Калькулятор риска OSTEOKIDNEY

Оценка 3-летнего риска остеопоротического перелома

Пол

Женщина Мужчина

Возраст, лет

Рост, см

Вес, кг

ИМТ (автоматически)

T-критерий L1-L4

ПТГ, пг/мл

Фосфор, ммоль/л

Рассчитать 3-летний риск

Результат расчёта

8.2%

3-летний риск перелома

⚠️ **Уровень риска: Высокий**

Высокий риск перелома! Требуется срочная консультация врача. Необходимо исключить вторичные причины (гиперпаратиреоз, почечная недостаточность). Обсудите начало терапии остеопороза.

Рис. 7. Интерфейс калькулятора

Заключение

Внедрение системы, построенной на предложенной математической модели, создаст условия для ранней диагностики и своевременной коррекции МКН, что в перспективе приведет к заметному снижению частоты переломов, уменьшению сопутствующей летальности и значительному сокращению затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карлович Н. В., Мохорт Т. В., Сазонова Е. Г. Костная патология при хронической болезни почек. *Остеопороз и остеопатии*. 2022;25(1):29–38. DOI: 10.14341/osteo12943.
2. Никитинская О. А., Торопцова Н. В. Оценка 10-летней вероятности остеопоротических переломов с помощью российской модели FRAX® в популяционных выборках 5 регионов России. *Медицинский совет*. 2017;0:103-107. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-10-letney-veroyatnost-i-osteoporoticheskikh-perelomov-s-pomoschyu-rossiyskoj-modeli-frax-v-populyatsionnyh-vyborkah-5-regionov>.
3. Meng Y., Fu M., Guo J. et al. Characteristics and Complications of Fracture in Older Adults with Chronic Kidney Disease: a Cross-Sectional Study. *J Orthop Surg Res*. 2022;17:377. DOI: 10.1186/S13018-022-03253-8.
4. Kannus P., Parkkari J., Sievänen H., Heinonen A., Vuori I., Järvinen M. Epidemiology of Hip Fractures. *Bone*. 1996;18:1(1):57–63. DOI: 10.1016/8756-3282(95)00381-9.
5. Вишняк Д. А., Масталиева Э. Л., Шерифова Ф. Н. Осложнения ХБП: в фокусе минерально-костные нарушения. *Нефрология и диализ*. 2019;21(4):472–473. DOI: 10.28996/2618-9801-2019-4-466-495.
6. Белая Ж. Е., Белова К. Ю., Бирюкова Е. В. и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза. *Остеопороз и остеопатии*. 2021;24(2):4–47. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/federalnye-klinicheskie-rekomendatsii-po-diagnostike-lecheniyu-i-profilaktike-osteoporoza-1>.
7. Kanis J. A., Johansson H., Oden A., McCloskey E. Guidance for the Adjustment of FRAX According to the Dose of Glucocorticoids. *Osteoporos International*. 2011;22:809–816. DOI: 10.1007/s00198-010-1524-7.
8. Leslie W. D., Lix L. M., Johansson H., Oden A., McCloskey E., Kanis J. A. Spine-Hip Discordance and Fracture Risk Assessment: a Physician-Friendly FRAX Enhancement. *Osteoporos International*. 2011;22:839–847. DOI: 10.1007/s00198-010-1461-5.
9. Торопцова Н. В., Баранова И. А., Лесняк О. М. Рекомендации по применению российской модели FRAX® для определения 10-летней вероятности остеопоротических переломов. *Фарматека*. 2016;3(16):10–14. Режим доступа: <https://pharmateca.ru/ru/archive/article/33754>.