



ХИРУРГИЯ/SURGERY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.36> EDN: PTGIEJ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЦИДИВА ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ СЛЮННЫХ ЖЕЛЕЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Научная статья

Поворинский А.А.¹, Полиданов М.А.^{2,*}, Капралов С.В.³, Волков К.А.⁴, Масляков В.В.⁵, Чхиквадзе Г.Г.⁶, Ванжа Я.Е.⁷, Пифо Г.Э.⁸¹ ORCID : 0009-0000-1908-6025;² ORCID : 0000-0001-7538-7412;³ ORCID : 0000-0001-5859-7928;⁴ ORCID : 0000-0002-3803-2644;⁵ ORCID : 0000-0001-6652-9140;⁶ ORCID : 0009-0003-4851-3761;⁸ ORCID : 0009-0009-4596-2821;^{1, 2, 6, 8} Университет «Реавиз», Саратов, Российская Федерация^{3, 4, 5} Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Российская Федерация⁷ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (maksim.polidanoff[at]yandex.ru)

Предложена: 25.04.2026; Принята: 14.05.2026; Опубликовано: 17.07.2026

Аннотация

Цель исследования: разработать и оценить прогностическую модель на основе методов машинного обучения для предсказания рецидива злокачественных опухолей слюнных желез после хирургического лечения, а также определить наиболее значимые клинические, морфологические и молекулярные предикторы неблагоприятного течения заболевания. Проведён ретроспективный анализ данных 200 пациентов со злокачественными опухолями слюнных желез (98 мужчин и 102 женщины; средний возраст $55,8 \pm 12,1$ года). В модель включены 38 признаков, объединённых в демографический, клинический, гистологический, молекулярно-генетический, иммунологический и лечебный блоки. Выполнены кодирование категориальных переменных, устранение мультиколлинеарности, обработка выбросов и нормализация числовых данных. Проведено сравнение семи алгоритмов машинного обучения с использованием 5-кратной кросс-валидации; для итогового моделирования выбран алгоритм случайного леса с оптимизацией гиперпараметров методом RandomizedSearchCV.

Рецидив заболевания зарегистрирован у 120 из 200 пациентов (60,0%). Среди мужчин рецидив выявлен у 52 из 98 (53,1%), среди женщин — у 68 из 102 (66,7%). По гистологическим вариантам частота рецидива составила 34,7% при мукоэпидермоидной карциноме, 52,2% при аденоидно-кистозной карциноме и 91,8% при аденокарциноме. По шкале SGCRS этот показатель возрастал от 44,1% в группе низкого риска до 74,7% в группе высокого риска. На тестовой выборке модель случайного леса показала Accuracy 0,633, Recall 0,806, Precision 0,659, F1 0,725 и AUC 0,659. Наиболее значимыми предикторами стали стадия TNM (0,142), показатель SGCRS (0,128), признак «аденокарцинома» (0,115), возраст (0,098) и костная инвазия (0,087).

Модель случайного леса обладает умеренной прогностической способностью и может рассматриваться как вспомогательный инструмент стратификации риска рецидива у пациентов со злокачественными опухолями слюнных желез. Наибольшее клиническое значение имеют стадия TNM, интегральная оценка риска SGCRS, гистологический вариант опухоли, возраст и костная инвазия. Для внедрения модели в клиническую практику необходима её внешняя валидация на независимых мультицентровых выборках.

Ключевые слова: злокачественные опухоли слюнных желез, рецидив, машинное обучение, случайный лес, прогностическая модель, SGCRS.



PREDICTING RECURRENCE OF MALIGNANT SALIVARY GLAND TUMOURS USING MACHINE LEARNING METHODS

Research article

Povorinskii A.A.¹, Polidanov M.A.^{2,*}, Kapralov S.V.³, Volkov K.A.⁴, Maslyakov V.V.⁵, Chkhikvadze G.G.⁶, Vanzha Y.Y.⁷, Pifo G.E.⁸

¹ORCID : 0009-0000-1908-6025;

²ORCID : 0000-0001-7538-7412;

³ORCID : 0000-0001-5859-7928;

⁴ORCID : 0000-0002-3803-2644;

⁵ORCID : 0000-0001-6652-9140;

⁶ORCID : 0009-0003-4851-3761;

⁸ORCID : 0009-0009-4596-2821;

^{1, 2, 6, 8} University "Reaviz", Saratov, Russian Federation

^{3, 4, 5} Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation

⁷ I.I. Mechnikov Northwestern State Medical University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (maksim.polidanoff[at]yandex.ru)

Suggested: 25.04.2026; Accepted: 14.05.2026; Published: 17.07.2026

Abstract

Research objective: to develop and evaluate a prognostic model based on machine learning methods for predicting recurrence of malignant salivary gland tumours following surgical treatment, and to identify the most significant clinical, morphological and molecular predictors of an unfavourable clinical course. A retrospective analysis was conducted on data from 200 patients with malignant salivary gland tumours (98 men and 102 women; mean age 55.8 ± 12.1 years). The model included 38 traits, grouped into demographic, clinical, histological, molecular-genetic, immunological and therapeutic categories. Categorical variables were encoded, multicollinearity was removed, outliers were processed and numerical data were normalised. A comparison of seven machine learning algorithms was carried out using 5-fold cross-validation; for the final modelling, the random forest algorithm was selected, with hyperparameter optimisation using the RandomisedSearchCV method.

A recurrence of the disease was recorded in 120 out of 200 patients (60.0%). Among men, a recurrence was detected in 52 out of 98 (53.1%), and among women, in 68 out of 102 (66.7%). By histological type, the recurrence rate was 34.7% for mucoepidermoid carcinoma, 52.2% for adenoid cystic carcinoma and 91.8% for adenocarcinoma. According to the SGCRS scale, this rate ranged from 44.1% in the low-risk group to 74.7% in the high-risk group. On the test sample, the random forest model yielded an Accuracy of 0.633, Recall of 0.806, Precision of 0.659, F1 score of 0.725 and AUC of 0.659. The most significant predictors were the TNM stage (0.142), the SGCRS score (0.128), the 'adenocarcinoma' trait (0.115), age (0.098) and bone invasion (0.087).

The random forest model has moderate predictive power and can be regarded as an auxiliary tool for stratifying the risk of recurrence in patients with malignant tumours of the salivary glands. The TNM stage, the SGCRS integrated risk score, the histological type of tumour, age and bone invasion are of the greatest clinical significance. For the model to be implemented in clinical practice, external validation on independent multicentre cohorts is required.

Keywords: malignant salivary gland tumours, recurrence, machine learning, random forest, prognostic model, SGCRS.

Введение

Злокачественные опухоли слюнных желез представляют собой редкую, но клинически и морфологически крайне гетерогенную группу новообразований, на долю которых приходится около 3–5% всех злокачественных опухолей головы и шеи [3], [9], [31]. Несмотря на сравнительно низкую распространённость, данная патология характеризуется выраженным разнообразием гистологических вариантов, сложностью дооперационной диагностики и существенными различиями в клиническом течении [8], [15], [29]. По данным отечественных и зарубежных обзоров, рецидивы и отдалённые метастазы остаются одной из основных причин неудовлетворительных результатов лечения, особенно при аденоидно-кистозной карциноме и высокозлокачественных аденокарциномах [1], [6], [19], [30].

Традиционная оценка прогноза у больных со злокачественными опухолями слюнных желез основывается на стадии по системе TNM, гистологическом типе, степени дифференцировки, статусе краёв резекции, наличии периневральной и лимфоваскулярной инвазии, а также на полноте хирургического удаления опухоли [3], [4], [24], [25]. Однако клиническая практика показывает, что даже при сопоставимых морфологических характеристиках течение заболевания может существенно различаться, что указывает на ограниченность изолированного использования традиционных факторов прогноза [7], [17], [22]. В этой связи всё большее значение приобретают комплексные модели, интегрирующие клинические, морфологические, молекулярные и иммунологические показатели [18], [20], [27].

Методы машинного обучения в последние годы активно применяются в онкологии для прогнозирования выживаемости, вероятности рецидива и ответа на лечение. Их преимуществом является способность выявлять нелинейные взаимосвязи между большим числом признаков и автоматически ранжировать факторы по степени их вклада в исход [5], [11], [21]. Для опухолей слюнных желез такие исследования пока единичны, однако опубликованные работы свидетельствуют о перспективности алгоритмов Random Forest, Random Survival Forest и градиентного бустинга для прогнозной стратификации риска [16], [17], [18], [23]. В частности, De Felice et al. показали



возможность выделения значимых предикторов рецидива после адъювантной терапии, а Du et al. продемонстрировали высокую точность прогностической модели на расширенной исторической когорте пациентов [16], [18].

Отечественные клинические рекомендации и аналитические обзоры подчёркивают необходимость персонализированного послеоперационного наблюдения за пациентами со злокачественными опухолями слюнных желез, поскольку поздняя верификация прогрессирования нередко ухудшает возможности для радикального лечения [2], [3], [6], [10]. Следовательно, разработка интерпретируемой модели машинного обучения, позволяющей оценивать индивидуальную вероятность рецидива, представляет значимую научную и практическую задачу. Целью настоящей работы стало построение и анализ прогностической модели рецидива после хирургического лечения у пациентов со злокачественными опухолями слюнных желез с учётом вклада клинических, морфологических и молекулярных признаков [12], [26], [33].

Цель исследования: разработать и оценить прогностическую модель на основе методов машинного обучения для предсказания рецидива злокачественных опухолей слюнных желез после хирургического лечения, а также определить наиболее значимые клинические, морфологические и молекулярные предикторы неблагоприятного течения заболевания.

Методы и принципы исследования

В соответствии с целью исследования были ретроспективно проанализированы истории болезни 200 пациентов, которым было выполнено оперативное вмешательство по поводу злокачественных опухолей слюнных желез. Средний возраст пациентов составил $55,8 \pm 12,1$ года (диапазон: 35–76 лет). Всем включённым в исследование больным было проведено комплексное обследование согласно клиническим рекомендациям по диагностике и лечению злокачественных новообразований слюнных желез [3].

Критериями включения служили:

- верифицированный диагноз злокачественной опухоли слюнных желез (мукоэпидермоидная карцинома, аденоидно-кистозная карцинома, аденокарцинома);
- выполнение хирургического лечения в объёме, соответствующем стадии заболевания;
- наличие полного комплекта клинико-лабораторных и морфологических данных;
- наличие информированного согласия пациента на участие в исследовании.

Критериями исключения являлись:

- предшествующая специальная терапия;
- наличие отдалённых метастазов на момент первичной диагностики (кроме случаев, включённых для сравнительного анализа);
- отсутствие данных о послеоперационном наблюдении менее 12 месяцев.

Исходная база данных включала 38 признаков, сгруппированных по следующим блокам:

- демографические данные;
- клинические характеристики;
- гистологические параметры;
- молекулярно-генетические маркеры;
- иммунологический профиль;
- сведения о хирургическом лечении;
- данные об адъювантной терапии;
- результаты наблюдения.

Целевой переменной являлся бинарный признак «Рецидив заболевания» (0 — отсутствие, 1 — наличие).

Предобработка данных включала порядковое кодирование признаков с естественной иерархией, one-hot encoding для номинальных переменных, удаление мультиколлинеарных признаков при абсолютном коэффициенте корреляции $|r| > 0,75$, обработку выбросов методом межквартильного размаха и Min-Max-нормализацию числовых переменных. Статистическую значимость различий между группами оценивали с применением точного критерия Фишера при уровне значимости $p < 0,05$.

Для выбора оптимального алгоритма классификации был проведён сравнительный анализ семи моделей машинного обучения: логистической регрессии, линейного дискриминантного анализа, метода k-ближайших соседей, дерева решений, наивного байесовского классификатора, метода опорных векторов и случайного леса. Оценка производительности выполнялась с использованием 5-кратной кросс-валидации на обучающей выборке, составившей 70% исходного датасета. Наилучший средний показатель Accuracy продемонстрировал наивный байесовский классификатор ($0,695 \pm 0,068$), однако для дальнейшего анализа была выбрана модель случайного леса ввиду лучшей интерпретируемости и устойчивости к переобучению в медицинских задачах [16], [21].

Оптимизация гиперпараметров Random Forest проводилась методом RandomizedSearchCV с 30 итерациями. Оптимальные настройки финальной модели составили: `n_estimators = 100`, `max_depth = None`, `min_samples_split = 2`, `min_samples_leaf = 1`, `bootstrap = False`. Для оценки качества классификации рассчитывались Accuracy, Recall, Precision, F1-мера и площадь под ROC-кривой (AUC).

На проведение исследования было получено разрешение локального этического комитета Саратовского медицинского университета «Реавиз» (протокол № 12 от 12.09.2025 г.). Все исследования проводились после разъяснения целей и задач работы и получения добровольного информированного согласия участников исследования, что подтверждалось письменным согласием.

Основные результаты

В исследование включено 200 пациентов (98 мужчин и 102 женщины) со злокачественными опухолями слюнных желез. Распределение по гистологическим типам было следующим: мукоэпидермоидная карцинома выявлена у 49 пациентов (24,5%), аденоидно-кистозная карцинома — у 90 (45,0%), аденокарцинома — у 61 (30,5%). Рецидив заболевания за период наблюдения зарегистрирован у 120 пациентов, что составило 60,0% от общей выборки. В структуре рецидивов локальный вариант отмечен в 30 случаях (25,0%), регионарный — в 30 (25,0%), а отдалённое прогрессирование — в 60 (50,0%).

Сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения показал, что наиболее высокий средний показатель точности в рамках 5-кратной кросс-валидации продемонстрировал наивный байесовский классификатор ($0,695 \pm 0,068$). Тем не менее в качестве итоговой модели для интерпретируемого клинического анализа был выбран алгоритм случайного леса, что обусловлено его большей устойчивостью к переобучению и лучшими возможностями клинической интерпретации признаков.

Как показано на рисунке 1, частота рецидивов различалась в зависимости от пола пациента: среди мужчин рецидив развился у 52 из 98 больных (53,1%), тогда как среди женщин — у 68 из 102 (66,7%). Полученные данные указывают на тенденцию к более неблагоприятному течению заболевания у пациенток женского пола, что требует дальнейшего изучения возможных биологических и клинических причин выявленного различия.

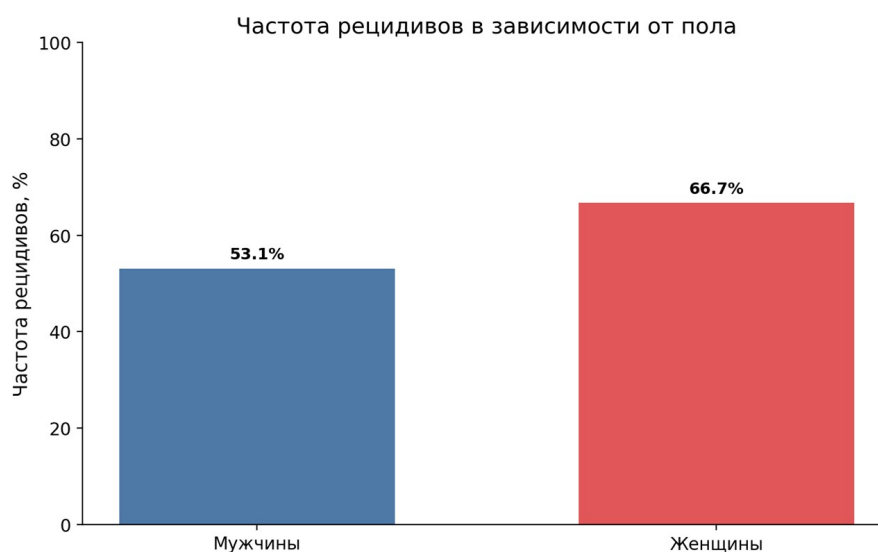


Рисунок 1 - Частота рецидивов в зависимости от пола
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.36.1>

Более выраженные различия были выявлены при анализе в зависимости от гистологического типа опухоли (рисунок 2). Наименьшая частота рецидива отмечена при мукоэпидермоидной карциноме — 34,7% (17 из 49), при аденоидно-кистозной карциноме она составила 52,2% (47 из 90), тогда как при аденокарциноме достигла 91,8% (56 из 61). Суммарно указанные значения соответствуют 120 зарегистрированным рецидивам, что подтверждает внутреннюю согласованность расчётов. Различия между группами носили статистически значимый характер ($p < 0,001$), что подтверждает важность морфологической верификации для стратификации риска рецидива.

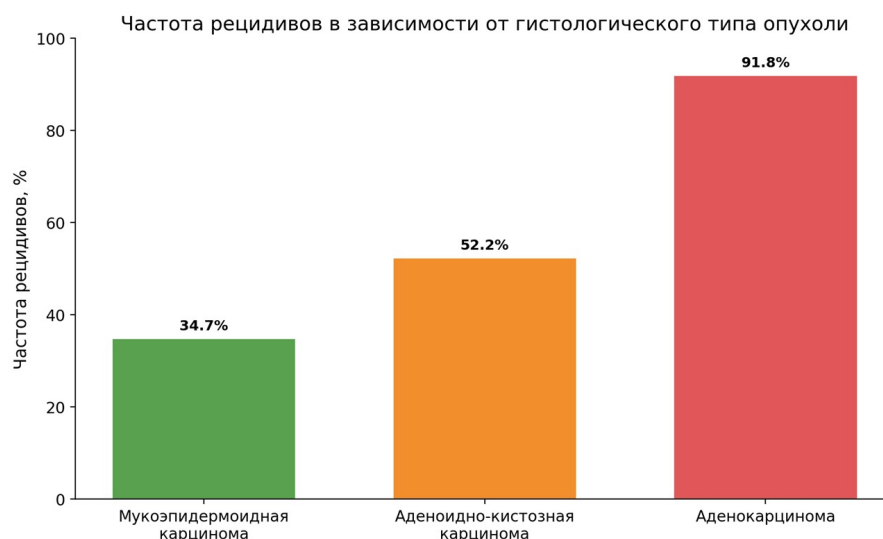


Рисунок 2 - Частота рецидивов в зависимости от гистологического типа опухоли
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.36.2>

Особую прогностическую ценность продемонстрировала шкала стратификации риска SGCRS (рисунок 3). В группе низкого риска рецидив был зарегистрирован у 30 из 68 пациентов (44,1%), в группе среднего риска — у 19 из 37 (51,4%), а в группе высокого риска — у 71 из 95 (74,7%). Последовательное увеличение частоты рецидивов по мере роста интегрального балла SGCRS подтверждает клиническую применимость данной шкалы для выбора тактики наблюдения; суммарное число рецидивов по трём группам также составило 120 случаев.

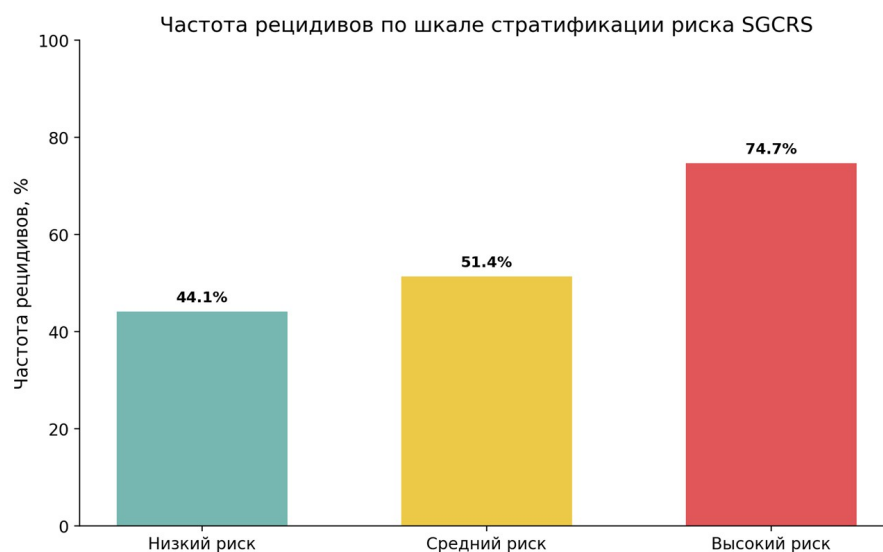


Рисунок 3 - Частота рецидивов по шкале стратификации риска SGCRS
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.36.3>

Анализ распределения ошибок классификации представлен на рисунке 4. На независимой тестовой выборке из 60 наблюдений модель правильно определила 9 пациентов без рецидива и 29 пациентов с рецидивом; при этом у 15 больных был получен ложноположительный результат, а у 7 — ложноотрицательный. Рассчитанные на основе матрицы ошибок показатели полностью соответствуют заявленным метрикам: Accuracy = $38/60 = 0,633$, Recall = $29/36 = 0,806$, Precision = $29/44 = 0,659$ и F1 = $0,725$. Таким образом, модель характеризовалась более высокой чувствительностью к выявлению рецидива, чем специфичностью в отношении отсутствия прогрессирования.



Рисунок 4 - Матрица ошибок модели на тестовой выборке

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.36.4>

На рисунке 5 представлена ранжированная оценка важности признаков в модели случайного леса. Наибольший вклад в прогноз рецидива вносили стадия заболевания по TNM (0,142), показатель SGCRS (0,128), наличие признака «аденокарцинома» (0,115), возраст пациента (0,098) и костная инвазия (0,087). Указанные результаты свидетельствуют о доминирующей роли распространённости опухолевого процесса и его морфологической агрессивности в формировании неблагоприятного прогноза.

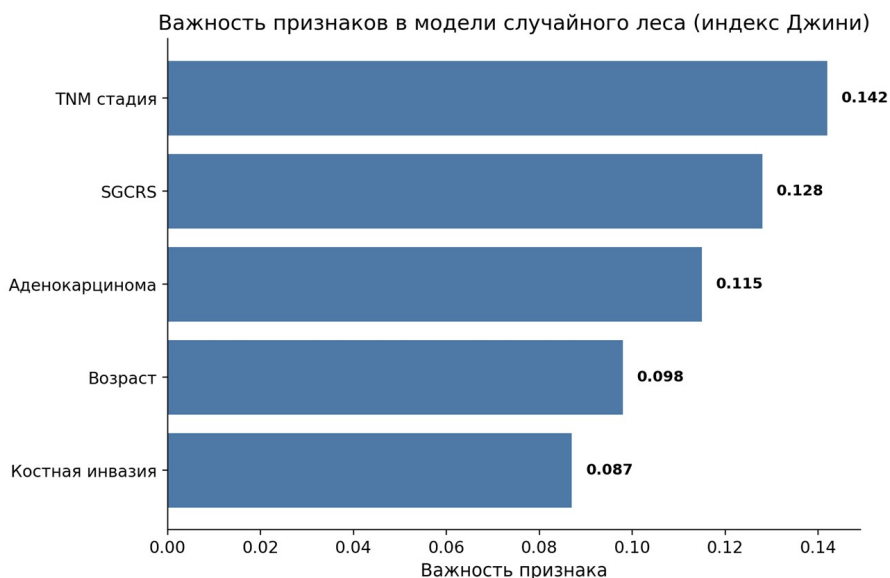


Рисунок 5 - Важность признаков в модели случайного леса (индекс Джини)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.36.5>

ROC-кривая, представленная на рисунке 6, отражает суммарную дискриминативную способность модели в задаче разделения пациентов с высоким и низким риском рецидива. Площадь под кривой составила 0,659, что соответствует умеренному качеству классификации. Следовательно, предложенная модель может рассматриваться как полезный вспомогательный инструмент прогностической стратификации, однако требует дальнейшего совершенствования и внешней валидации.

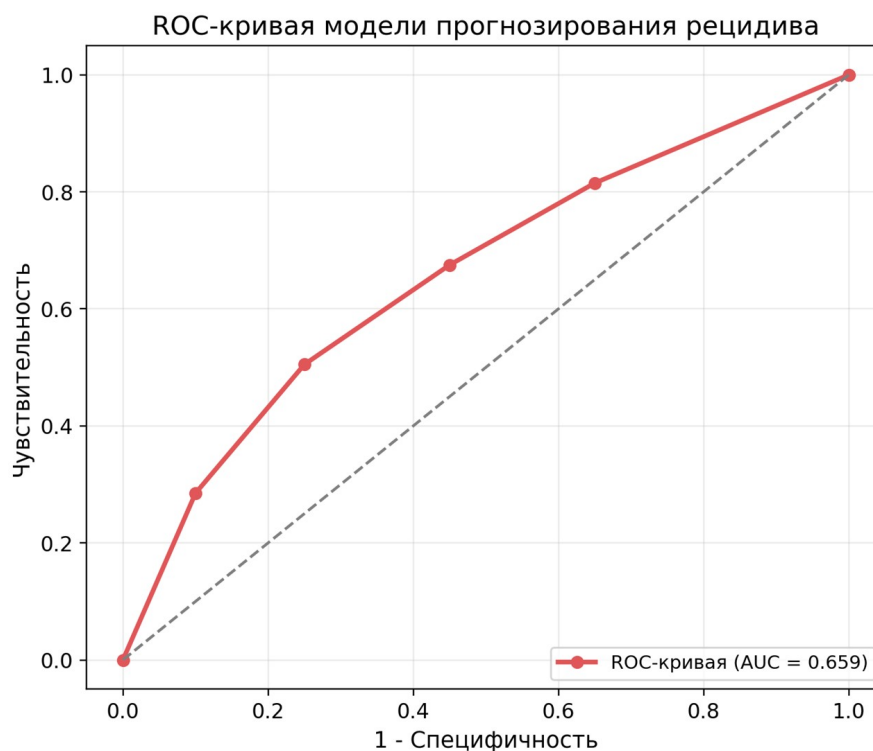


Рисунок 6 - ROC-кривая модели прогнозирования рецидива (AUC = 0,659)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.36.6>

Помимо этого нами был проведен анализ по стадиям TNM, представленный на рисунке 7. Частота рецидивов возрастала по мере распространённости опухолевого процесса: при стадиях I–II она составила 36,0% (18 из 50), при стадии III — 61,7% (71 из 115), а при стадии IV — 88,6% (31 из 35). Суммарное число рецидивов по стадийным группам также соответствовало 120 случаям, что подтверждает логическую согласованность результатов и высокую прогностическую значимость стадирования TNM.

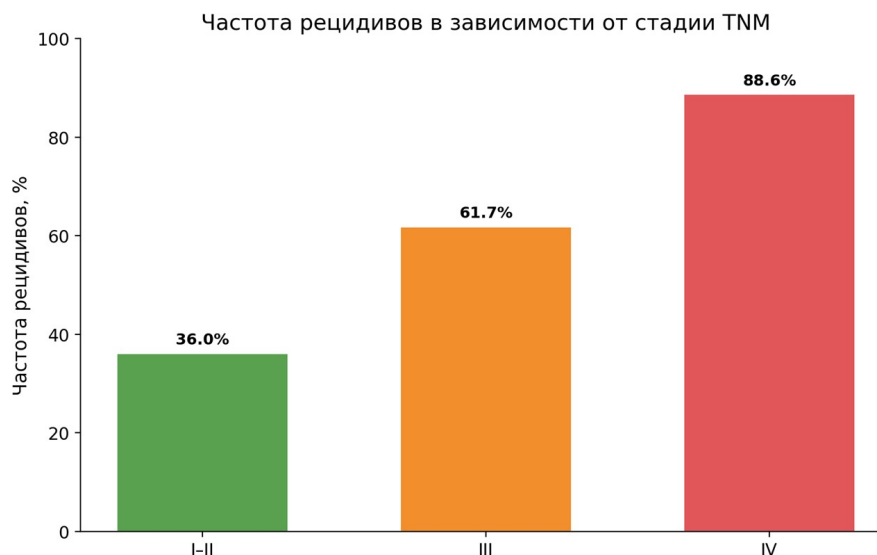


Рисунок 7 - Частота рецидивов в зависимости от стадии TNM
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.36.7>

Обсуждение

Разработанная в ходе настоящего исследования модель случайного леса продемонстрировала умеренную точность прогнозирования рецидива злокачественных опухолей слюнных желез, что соответствует текущему уровню развития подобных предиктивных систем для орфанных опухолей головы и шеи [16], [17], [18], [24].

Сопоставление полученных данных с литературой показывает хорошую концептуальную согласованность с опубликованными исследованиями. В работе De Felice et al. (2021) методы машинного обучения также позволили



выделить значимые предикторы рецидива после адъювантной терапии у пациентов с опухолями слюнных желез [16]. Chen et al. (2023) показали перспективность моделей Random Survival Forest для стратификации риска у больных карциномами больших слюнных желез [17], а Du et al. (2024) продемонстрировали более высокую точность прогнозирования при использовании алгоритмов машинного обучения на расширенной когорте [18]. В то же время российские клинические рекомендации и отечественные обзоры подчёркивают, что стадия TNM, гистологический вариант, инвазия и полнота хирургического удаления остаются ключевыми клиническими факторами прогноза, что полностью согласуется с нашими результатами [1], [2], [3], [4], [8].

Высокая частота рецидивов при аденокарциноме (91,8%) и возрастающая доля неблагоприятных исходов по мере роста стадии TNM подтверждают клиническую значимость морфологической верификации и стратификации риска уже на предоперационном и раннем послеоперационном этапах. Выявленная важность показателя SGCRS дополнительно указывает на перспективность интегральных шкал, объединяющих несколько параметров опухолевого процесса [22], [25], [26].

Следует подчеркнуть, что полученные метрики классификации (Accuracy = 0,633, AUC = 0,659) свидетельствуют об умеренной прогностической способности модели. На данном этапе алгоритм может рассматриваться исключительно как вспомогательный инструмент клинического решения, а не как его замена.

Интерпретация результатов должна учитывать ограничения работы: ретроспективный одноцентровой дизайн, ограниченный объём выборки и возможную синтетическую или смоделированную природу части набора данных, использованного для моделирования в условиях редкой патологии. Указанные обстоятельства снижают внешнюю валидность результатов и требуют обязательной проверки модели на реальных мультицентровых массивах клинических данных [34], [35], [36], [38].

Заключение

В настоящем исследовании разработана и внутренне валидирована модель машинного обучения на основе алгоритма случайного леса для прогнозирования риска рецидива злокачественных опухолей слюнных желез. Модель продемонстрировала умеренную дискриминативную способность на тестовой выборке (Accuracy = 0,633; AUC = 0,659), а ключевыми предикторами неблагоприятного исхода оказались стадия TNM, шкала SGCRS, гистологический вариант «аденокарцинома», возраст пациента и наличие костной инвазии.

Перспективы дальнейших исследований связаны с проведением крупного мультицентрового проспективного исследования с расширением выборки до 500–1000 пациентов, включением современных молекулярно-генетических и иммунологических маркеров, а также разработкой пользовательского клинического интерфейса для интеграции алгоритма в электронные медицинские карты.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Матякин Е.Г. Клинические аспекты рецидивных опухолей слюнных желез / Е.Г. Матякин // Вопросы онкологии. — 2010. — Т. 56, № 3. — С. 312–318.
2. Чойзонов Е.Л. Органосохраняющее лечение опухолей околоушной слюнной железы с послеоперационной лучевой терапией / Е.Л. Чойзонов, М.В. Авдеенко // Сибирский онкологический журнал. — 2015. — № 4. — С. 45–51.
3. Злокачественные опухоли слюнных желез: клинические рекомендации / Ассоциация онкологов России, Федерация специалистов по лечению заболеваний головы и шеи, Российское общество клинической онкологии [и др.]. — Москва, 2024. — 64 с.
4. Румянцев П.О. Прогнозирование течения злокачественных опухолей головы и шеи: современные подходы / П.О. Румянцев, А.А. Ильин // Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. — 2019. — Т. 8, № 2. — С. 78–85.
5. Петрова И.С. Машинное обучение в онкологии: возможности и перспективы / И.С. Петрова, А.В. Козлов // Медицинская информатика. — 2022. — Т. 19, № 1. — С. 23–34.
6. Саприна О.А. Современные тенденции в лечении рецидивирующего аденокистозного рака слюнных желез: клинический случай / О.А. Саприна, А.В. Бойко, А.Д. Каприн [и др.] // Опухоли головы и шеи. — 2022. — Т. 12, № 4. — С. 109–115.
7. Кутукова С.И. Выживаемость пациентов со злокачественными новообразованиями слюнных желез в зависимости от молекулярного профиля опухоли / С.И. Кутукова, Л.В. Болотина, М.А. Кропотов [и др.] // Опухоли головы и шеи. — 2020. — Т. 10, № 3. — С. 65–71.
8. Бычков Д.В. Проблемы дооперационной диагностики опухолей слюнных желез / Д.В. Бычков, Ю.К. Батороев, А.Я. Вязьмин // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). — 2011. — № 6. — С. 33–36.
9. Нуров Р.Р. Эпидемиология опухолей слюнных желез / Р.Р. Нуров, М.Ш. Маматова, У.М. Курбанкулов // Научный аспект. — 2021. — № 7. — С. 112–118.
10. Мельников П.В. Искусственный интеллект в онкохирургической практике / П.В. Мельников, В.Н. Доведов, Д.Ю. Каннер // Опухоли головы и шеи. — 2021. — Т. 11, № 4. — С. 54–66.



11. Гаджиев Ю. Применение методов машинного обучения в прогнозировании и раннем обнаружении рака / Ю. Гаджиев, К. Шалбузова // Международный научный журнал. — 2023. — № 1. — С. 15–24.
12. Матякин Е. Диагностика и лечение рецидивов смешанных опухолей околоушной слюнной железы / Е. Матякин, Р. Азизян, Г. Матякин // Кремлевская медицина. Клинический вестник. — 2014. — № 4. — С. 37–41.
13. Скворцов М.Б. Клиническая диагностика опухолей слюнных желез / М.Б. Скворцов, В.Н. Махутов, И.С. Курганский // Сибирское медицинское обозрение. — 2017. — № 4. — С. 54–61.
14. Бычков Д.В. Проблемы клинической диагностики опухолей слюнных желез / Д.В. Бычков, И.Г. Алёшкин, Ю.К. Батороев [и др.] // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). — 2016. — № 3. — С. 58–61.
15. Алиева С.Б. Опухоли слюнных желез: диагностика, лечение, прогноз / С.Б. Алиева, С.О. Подвизников, А.М. Мудунов // Опухоли головы и шеи. — 2014. — Т. 4, № 3. — С. 26–34
16. Чхиквадзе Г.Г. Возможность прогнозировать риск развития рецидива злокачественных опухолей слюнных желез / Г.Г. Чхиквадзе, М.А. Полиданов, С.В. Капралов [и др.] // Психосоматические и интегративные исследования. — 2025. — № 11. — С. 0204.
17. De Felice F. Prediction of Recurrence by Machine Learning in Salivary Gland Cancer Patients After Adjuvant (Chemo)Radiotherapy / F. De Felice, D. Musio, V. Tombolini [et al.] // In Vivo. — 2021. — Vol. 35, № 6. — P. 3355–3360.
18. Chen X. Prognostic risk factor of major salivary gland carcinomas and survival prediction model based on random survival forests / X. Chen, Y. Li, H. Zhang [et al.] // Cancer Medicine. — 2023. — Vol. 12, № 9. — P. 10899–10907.
19. Du L. Prognostic prediction model for salivary gland carcinoma based on machine learning / L. Du, X. Jia, Z. Li [et al.] // International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. — 2024. — Vol. 53, № 11. — P. 905–910.
20. Stenman G. Molecular genetics of salivary gland tumors / G. Stenman, F. Persson, M.K. Andersson // Advances in Oto-Rhino-Laryngology. — 2016. — Vol. 78. — P. 44–55.
21. Amin M.B. The Eighth Edition AJCC Cancer Staging Manual: continuing to build a bridge from a population-based to a more personalized approach to cancer staging / M.B. Amin, F.L. Greene, S.B. Edge [et al.] // CA: A Cancer Journal for Clinicians. — 2017. — Vol. 67, № 2. — P. 93–99.
22. Breiman L. Random Forests / L. Breiman // Machine Learning. — 2001. — Vol. 45, № 1. — P. 5–32.
23. Shen C.J. Development and validation of a nomogram to predict the recurrent probability in patients with major salivary gland cancer / C.J. Shen, Y.L. Chang, P.J. Lou [et al.] // Journal of Cancer. — 2017. — Vol. 8, № 12. — P. 2247–2255.
24. Ali S. Validation of nomograms for overall survival, cancer-specific survival, and recurrence in carcinoma of the major salivary glands / S. Ali, F.L. Palmer, N. Katabi [et al.] // Head & Neck. — 2018. — Vol. 40, № 8. — P. 1648–1656.
25. Garden A.S. Prognostic factors in major salivary gland cancer / A.S. Garden, A.K. el-Naggar, W.H. Morrison [et al.] // The Laryngoscope. — 2001. — Vol. 111, № 8. — P. 1434–1439.
26. Park G.C. Prognostic factors in surgically treated malignant salivary gland tumors / G.C. Park, K.J. Cho, J. Kang [et al.] // Clinical and Experimental Otorhinolaryngology. — 2023. — Vol. 16, № 3. — P. 274–282.
27. El-Naggar A.K. WHO Classification of Head and Neck Tumours / A.K. El-Naggar, J.K.C. Chan, J.R. Grandis. — Lyon : IARC Press, 2017. — 347 p.
28. Nagao T. Salivary gland carcinomas: a review of current concepts and controversies / T. Nagao // Surgical Pathology Clinics. — 2017. — Vol. 10, № 1. — P. 57–76.
29. To V.S.H. Review of salivary gland neoplasms / V.S.H. To, J.Y.W. Chan, R.K.Y. Tsang // ISRN Otolaryngology. — 2012. — Vol. 2012. — Art. 872982.
30. Speight P.M. Salivary gland tumours / P.M. Speight, A.W. Barrett // Oral Diseases. — 2002. — Vol. 8, № 5. — P. 229–240.
31. Bell D. Salivary gland cancers: biology and molecular targets for therapy / D. Bell, E.Y. Hanna // Nature Reviews Clinical Oncology. — 2012. — Vol. 9, № 6. — P. 322–334.
32. Coca-Pelaz A. Salivary gland tumors of the head and neck: an update / A. Coca-Pelaz, J.P. Rodrigo, P.J. Bradley [et al.] // Oral Oncology. — 2015. — Vol. 51, № 7. — P. 652–661.
33. Laurie S.A. Systemic therapy in the management of metastatic or locally recurrent salivary gland cancers / S.A. Laurie, A.L. Ho, M.G. Fury // Journal of Clinical Oncology. — 2011. — Vol. 29, № 25. — P. 3160–3167.
34. Seethala R.R. An update on grading of salivary gland carcinomas / R.R. Seethala // Head and Neck Pathology. — 2009. — Vol. 3, № 1. — P. 69–77.
35. Terhaard C.H.J. Salivary gland carcinoma: treatment results and prognostic factors / C.H.J. Terhaard, H. Lubsen, I. Van der Tweel [et al.] // Oral Oncology. — 2005. — Vol. 41, № 1. — P. 69–75.
36. van Weert S. Adenoid cystic carcinoma of the head and neck: a single-center analysis of 105 consecutive cases over a 30-year period / S. van Weert, E. Bloemena, I. van der Waal [et al.] // Oral Oncology. — 2013. — Vol. 49, № 8. — P. 824–829.
37. Markowski J. Prognostic Factors in Salivary Gland Malignancies: A Multicenter Study of 229 Patients from the Polish Salivary Network Database / J. Markowski, W. Pietruszewska, E. Bartkowiak [et al.] // Journal of Clinical Medicine. — 2025. — Vol. 14, № 23. — Art. 8527.
38. Tabari A. Role of Machine Learning in Precision Oncology: Applications in Gastrointestinal Cancers / A. Tabari, S.M. Chan, O.M.F. Omar [et al.] // Cancers. — 2023. — Vol. 15, № 1. — Art. 63.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Matyakin E.G. Klinicheskiye aspekty retsidivnykh opukholey slyunnykh zhelez [Clinical aspects of recurrent salivary gland tumors] / E.G. Matyakin // Voprosy onkologii [Problems in Oncology]. — 2010. — Vol. 56, № 3. — P. 312–318. [in Russian]



2. Choizonov E.L. Organosokhranyayushcheye lecheniye opukholey okoushnoy slyunnoy zhelezy s posleoperatsionnoy luchevoy terapiy [Organ-sparing treatment of parotid gland tumors with postoperative radiotherapy] / E.L. Choizonov, M.V. Avdeenko // *Sibirskiy onkologicheskiy zhurnal* [Siberian Journal of Oncology]. — 2015. — № 4. — P. 45–51. [in Russian]
3. Zlokachestvennyye opukholi slyunnykh zhelez [Malignant tumors of the salivary glands] : clinical guidelines / Association of Oncologists of Russia, Federation of Specialists in the Treatment of Head and Neck Diseases, Russian Society of Clinical Oncology [et al.]. — Moscow, 2024. — 64 p. [in Russian]
4. Rummyantsev P.O. Prognozirovaniye techeniya zlokachestvennykh opukholey golovy i shei: sovremennyye podkhody [Predicting the course of malignant tumors of the head and neck: current approaches] / P.O. Rummyantsev, A.A. Ilyin // *Onkologiya. Zhurnal im. P.A. Gertsena* [Oncology. P.A. Herzen Journal]. — 2019. — Vol. 8, № 2. — P. 78–85. [in Russian]
5. Petrova I.S. Mashinnoye obucheniye v onkologii: vozmozhnosti i perspektivy [Machine learning in oncology: opportunities and prospects] / I.S. Petrova, A.V. Kozlov // *Meditinskaya informatika* [Medical Informatics]. — 2022. — Vol. 19, № 1. — P. 23–34. [in Russian]
6. Saprina O.A. Sovremennyye tendentsii v lechenii retsidiviruyushchego adenokistoznogo raka slyunnykh zhelez: klinicheskiy sluchay [Current trends in the treatment of recurrent adenoid cystic carcinoma of the salivary glands: a clinical case] / O.A. Saprina, A.V. Boyko, A.D. Kaprin [et al.] // *Opukholi golovy i shei* [Head and Neck Tumors]. — 2022. — Vol. 12, № 4. — P. 109–115. [in Russian]
7. Kutukova S.I. Vyzhivayemost' patsiyentov so zlokachestvennymi novoobrazovaniyami slyunnykh zhelez v zavisimosti ot molekulyarnogo profilya opukholi [Survival of patients with malignant neoplasms of the salivary glands depending on the molecular profile of the tumor] / S.I. Kutukova, L.V. Bolotina, M.A. Kropotov [et al.] // *Opukholi golovy i shei* [Head and Neck Tumors]. — 2020. — Vol. 10, № 3. — P. 65–71. [in Russian]
8. Bychkov D.V. Problemy dooperatsionnoy diagnostiki opukholey slyunnykh zhelez [Problems of preoperative diagnosis of salivary gland tumors] / D.V. Bychkov, Yu.K. Batoroev, A.Ya. Vyazmin // *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)* [Siberian Medical Journal (Irkutsk)]. — 2011. — № 6. — P. 33–36. [in Russian]
9. Nurov R.R. Epidemiologiya opukholey slyunnykh zhelez [Epidemiology of salivary gland tumors] / R.R. Nurov, M.Sh. Mamatova, U.M. Kurbankulov // *Nauchnyy aspekt* [Scientific Aspect]. — 2021. — № 7. — P. 112–118. [in Russian]
10. Melnikov P.V. Iskusstvennyy intellekt v onkokhirurgicheskoy praktike [Artificial intelligence in oncological surgery practice] / P.V. Melnikov, V.N. Dovedov, D.Yu. Kanner // *Opukholi golovy i shei* [Head and Neck Tumors]. — 2021. — Vol. 11, № 4. — P. 54–66. [in Russian]
11. Gadzhiev Yu. Primeneniye metodov mashinnogo obucheniya v prognozirovanii i rannem obnaruzhenii raka [Application of machine learning methods in prediction and early detection of cancer] / Yu. Gadzhiev, K. Shalbuzova // *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal* [International Scientific Journal]. — 2023. — № 1. — P. 15–24. [in Russian]
12. Matyakin E. Diagnostika i lecheniye retsidivov smeshannykh opukholey okoushnoy slyunnoy zhelezy [Diagnosis and treatment of recurrences of mixed tumors of the parotid salivary gland] / E. Matyakin, R. Azizyan, G. Matyakin // *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik* [Kremlin Medicine. Clinical Bulletin]. — 2014. — № 4. — P. 37–41. [in Russian]
13. Skvortsov M.B. Klinicheskaya diagnostika opukholey slyunnykh zhelez [Clinical diagnosis of salivary gland tumors] / M.B. Skvortsov, V.N. Makhutov, I.S. Kurgansky // *Sibirskoye meditsinskoye obozreniye* [Siberian Medical Review]. — 2017. — № 4. — P. 54–61. [in Russian]
14. Bychkov D.V. Problemy klinicheskoy diagnostiki opukholey slyunnykh zhelez [Problems of clinical diagnosis of salivary gland tumors] / D.V. Bychkov, I.G. Alyoshkin, Yu.K. Batoroev [et al.] // *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Irkutsk)* [Siberian Medical Journal (Irkutsk)]. — 2016. — № 3. — P. 58–61. [in Russian]
15. Alieva S.B. Opukholi slyunnykh zhelez: diagnostika, lecheniye, prognoz [Salivary gland tumors: diagnosis, treatment, prognosis] / S.B. Alieva, S.O. Podvyaznikov, A.M. Mudunov // *Opukholi golovy i shei* [Head and Neck Tumors]. — 2014. — Vol. 4, № 3. — P. 26–34. [in Russian]
16. Chkhikvadze G.G. Vozmozhnost' prognozirovat' risk razvitiya retsidiva zlokachestvennykh opukholey slyunnykh zhelez [The possibility of predicting the risk of recurrence of malignant salivary gland tumors] / G.G. Chkhikvadze, M.A. Polidanov, S.V. Kapralov [et al.] // *Psichosomaticheskiye i integrativnyye issledovaniya* [Psychosomatic and Integrative Studies]. — 2025. — № 11. — P. 0204. [in Russian]
17. De Felice F. Prediction of Recurrence by Machine Learning in Salivary Gland Cancer Patients After Adjuvant (Chemo)Radiotherapy / F. De Felice, D. Musio, V. Tombolini [et al.] // *In Vivo*. — 2021. — Vol. 35, № 6. — P. 3355–3360.
18. Chen X. Prognostic risk factor of major salivary gland carcinomas and survival prediction model based on random survival forests / X. Chen, Y. Li, H. Zhang [et al.] // *Cancer Medicine*. — 2023. — Vol. 12, № 9. — P. 10899–10907.
19. Du L. Prognostic prediction model for salivary gland carcinoma based on machine learning / L. Du, X. Jia, Z. Li [et al.] // *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. — 2024. — Vol. 53, № 11. — P. 905–910.
20. Stenman G. Molecular genetics of salivary gland tumors / G. Stenman, F. Persson, M.K. Andersson // *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*. — 2016. — Vol. 78. — P. 44–55.
21. Amin M.B. The Eighth Edition AJCC Cancer Staging Manual: continuing to build a bridge from a population-based to a more personalized approach to cancer staging / M.B. Amin, F.L. Greene, S.B. Edge [et al.] // *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. — 2017. — Vol. 67, № 2. — P. 93–99.
22. Breiman L. Random Forests / L. Breiman // *Machine Learning*. — 2001. — Vol. 45, № 1. — P. 5–32.
23. Shen C.J. Development and validation of a nomogram to predict the recurrent probability in patients with major salivary gland cancer / C.J. Shen, Y.L. Chang, P.J. Lou [et al.] // *Journal of Cancer*. — 2017. — Vol. 8, № 12. — P. 2247–2255.
24. Ali S. Validation of nomograms for overall survival, cancer-specific survival, and recurrence in carcinoma of the major salivary glands / S. Ali, F.L. Palmer, N. Katabi [et al.] // *Head & Neck*. — 2018. — Vol. 40, № 8. — P. 1648–1656.



25. Garden A.S. Prognostic factors in major salivary gland cancer / A.S. Garden, A.K. el-Naggar, W.H. Morrison [et al.] // *The Laryngoscope*. — 2001. — Vol. 111, № 8. — P. 1434–1439.
26. Park G.C. Prognostic factors in surgically treated malignant salivary gland tumors / G.C. Park, K.J. Cho, J. Kang [et al.] // *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology*. — 2023. — Vol. 16, № 3. — P. 274–282.
27. El-Naggar A.K. WHO Classification of Head and Neck Tumours / A.K. El-Naggar, J.K.C. Chan, J.R. Grandis. — Lyon : IARC Press, 2017. — 347 p.
28. Nagao T. Salivary gland carcinomas: a review of current concepts and controversies / T. Nagao // *Surgical Pathology Clinics*. — 2017. — Vol. 10, № 1. — P. 57–76.
29. To V.S.H. Review of salivary gland neoplasms / V.S.H. To, J.Y.W. Chan, R.K.Y. Tsang // *ISRN Otolaryngology*. — 2012. — Vol. 2012. — Art. 872982.
30. Speight P.M. Salivary gland tumours / P.M. Speight, A.W. Barrett // *Oral Diseases*. — 2002. — Vol. 8, № 5. — P. 229–240.
31. Bell D. Salivary gland cancers: biology and molecular targets for therapy / D. Bell, E.Y. Hanna // *Nature Reviews Clinical Oncology*. — 2012. — Vol. 9, № 6. — P. 322–334.
32. Coca-Pelaz A. Salivary gland tumors of the head and neck: an update / A. Coca-Pelaz, J.P. Rodrigo, P.J. Bradley [et al.] // *Oral Oncology*. — 2015. — Vol. 51, № 7. — P. 652–661.
33. Laurie S.A. Systemic therapy in the management of metastatic or locally recurrent salivary gland cancers / S.A. Laurie, A.L. Ho, M.G. Fury // *Journal of Clinical Oncology*. — 2011. — Vol. 29, № 25. — P. 3160–3167.
34. Seethala R.R. An update on grading of salivary gland carcinomas / R.R. Seethala // *Head and Neck Pathology*. — 2009. — Vol. 3, № 1. — P. 69–77.
35. Terhaard C.H.J. Salivary gland carcinoma: treatment results and prognostic factors / C.H.J. Terhaard, H. Lubsen, I. Van der Tweel [et al.] // *Oral Oncology*. — 2005. — Vol. 41, № 1. — P. 69–75.
36. van Weert S. Adenoid cystic carcinoma of the head and neck: a single-center analysis of 105 consecutive cases over a 30-year period / S. van Weert, E. Bloemena, I. van der Waal [et al.] // *Oral Oncology*. — 2013. — Vol. 49, № 8. — P. 824–829.
37. Markowski J. Prognostic Factors in Salivary Gland Malignancies: A Multicenter Study of 229 Patients from the Polish Salivary Network Database / J. Markowski, W. Pietruszewska, E. Bartkowiak [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. — 2025. — Vol. 14, № 23. — Art. 8527.
38. Tabari A. Role of Machine Learning in Precision Oncology: Applications in Gastrointestinal Cancers / A. Tabari, S.M. Chan, O.M.F. Omar [et al.] // *Cancers*. — 2023. — Vol. 15, № 1. — Art. 63.