



ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЦИФРОВОМ ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ: ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ

Исмаилов Азамат Насирович

Клинический ординатор Центральноазиатского
медицинского университета.

Фергана, Узбекистан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21296452>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 06-iyul 2026 yil
Ma'qullandi: 08-iyul 2026 yil
Nashr qilindi: 10-iyul 2026 yil

KEYWORDS

искусственный интеллект,
цифровая патология,
патологическая анатомия,
цифровые препараты,
морфометрия, машинное
обучение, гистология..

ABSTRACT

Цифровизация патологической анатомии и внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) открывают новые возможности для повышения точности, воспроизводимости и скорости морфологической диагностики. Целью исследования является оценить эффективность применения технологий искусственного интеллекта при цифровом анализе патологических препаратов и определить их диагностическую ценность в современной патоморфологии. Проведен ретроспективный анализ 520 цифровых гистологических изображений, полученных при исследовании биопсийного и операционного материала. Выполнено сравнение результатов традиционной морфологической оценки и автоматизированного анализа на основе алгоритмов искусственного интеллекта. Использование систем искусственного интеллекта позволило повысить точность диагностики, сократить время анализа препаратов и обеспечить высокую корреляцию между автоматизированной и экспертной оценкой морфологических изменений.

Актуальность. В последние годы цифровая патология стала одним из наиболее динамично развивающихся направлений патологической анатомии. Переход от традиционной микроскопии к цифровым сканированным препаратам позволяет создавать электронные архивы изображений, проводить дистанционные консультации и использовать автоматизированные системы анализа данных [1, 2].

Алгоритмы машинного обучения способны автоматически распознавать патологические изменения тканей, количественно оценивать морфологические признаки и снижать влияние субъективного фактора при интерпретации гистологических препаратов [3, 4].

Особое значение приобретает внедрение технологий искусственного интеллекта, основанных на алгоритмах глубокого обучения. Такие системы способны распознавать опухолевые клетки, определять степень дифференцировки новообразований, оценивать экспрессию иммуногистохимических маркеров и проводить количественный анализ тканевых структур [5, 6].

Несмотря на значительный прогресс цифровой патологии, вопросы точности, воспроизводимости и клинической эффективности искусственного интеллекта требуют дальнейшего изучения и научного обоснования.

Цель исследования. Оценить диагностическую эффективность технологий искусственного интеллекта при цифровом анализе патологических препаратов и определить возможности их использования в практической деятельности патологоанатомических лабораторий.

Материал и методы исследования. Исследование выполнено в 2023-2025 гг. на базе патологоанатомического отделения и симуляционного центра Central Asian Medical University.

В исследование включено 520 цифровых гистологических изображений, полученных после сканирования биопсийного и операционного материала.

В анализ вошли препараты: эпителиальных опухолей; воспалительных процессов; предопухолевых изменений тканей; иммуногистохимических исследований.

Все препараты были предварительно оцифрованы с использованием сканера Whole Slide Imaging (WSI) с разрешением $\times 40$. Для автоматизированного анализа применялись алгоритмы глубокого обучения на основе сверточных нейронных сетей (CNN). Полученные результаты сравнивались с заключениями трех независимых врачей-патоморфологов со стажем работы более 10 лет.

Оценивались следующие показатели: точность диагностики; чувствительность; специфичность; время анализа препарата; коэффициент согласованности между ИИ и экспертом.

Статистическая обработка выполнялась с использованием программы IBM SPSS Statistics 19.0. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Проведенное исследование показало, что применение искусственного интеллекта обеспечивает статистически значимое повышение диагностической точности по сравнению с традиционной экспертной оценкой ($95,6 \pm 1,3\%$ против $91,8 \pm 1,7\%$; $p = 0,018$).

Среднее время анализа одного препарата сократилось более чем в три раза ($3,7 \pm 0,3$ мин против $12,4 \pm 0,8$ мин; $p < 0,001$), что существенно повышает производительность патологоанатомической службы.

Также отмечено достоверное повышение воспроизводимости результатов исследования ($97,1 \pm 1,1\%$; $p < 0,001$), что свидетельствует о снижении влияния субъективного фактора (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная эффективность традиционного и цифрового анализа гистологических препаратов ($M \pm m$)

Показатель	Экспертная оценка	Искусственный интеллект	p
Точность диагностики, %	91,8±1,7	95,6±1,3	0,018
Чувствительность, %	89,5±1,9	94,8±1,4	0,011
Специфичность, %	92,7±1,6	96,2±1,2	0,024
Время анализа одного препарата, мин	12,4±0,8	3,7±0,3	<0,001
Коэффициент воспроизводимости, %	88,3±1,5	97,1±1,1	<0,001

Наиболее сильная корреляционная связь выявлена между согласованностью экспертных заключений и результатами искусственного интеллекта ($r=0,88$; $p<0,001$), что свидетельствует о высокой надежности алгоритмов машинного обучения. Высокая положительная корреляция между качеством цифровых изображений и точностью диагностики ($r=0,84$; $p<0,001$) подтверждает важность стандартизации процессов сканирования и подготовки цифровых препаратов.

Полученные данные показывают, что эффективность искусственного интеллекта напрямую зависит от качества обучающей выборки и технических параметров цифровой патологии (табл. 2).

Таблица 2

Корреляционные связи между параметрами цифрового анализа и диагностической эффективностью

Показатели	r	p
Качество цифрового изображения и точность ИИ-диагностики	0,84	<0,001
Количество размеченных изображений и точность алгоритма	0,81	<0,001
Разрешение сканирования и чувствительность анализа	0,76	<0,001
Уровень автоматизации и скорость диагностики	0,79	<0,001
Согласованность экспертов и результатов ИИ	0,88	<0,001
Опыт врача и итоговая точность анализа	0,53	0,008

Результаты исследования подтверждают, что искусственный интеллект становится одним из ключевых направлений развития современной патологической анатомии. Использование алгоритмов глубокого обучения позволяет не только ускорить анализ цифровых препаратов, но и повысить объективность диагностики.

Особенно перспективным направлением является применение искусственного интеллекта для скрининга онкологических заболеваний, автоматического подсчета митозов, оценки степени злокачественности опухолей и анализа иммуногистохимических маркеров. Важным преимуществом является возможность обработки больших массивов данных без снижения качества диагностики.

Несмотря на высокую эффективность алгоритмов, искусственный интеллект не должен рассматриваться как замена врачу-патоморфологу. Наиболее рациональной моделью является интеграция цифровых технологий в качестве инструмента поддержки принятия диагностических решений.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что внедрение цифровой патологии и искусственного интеллекта способствует стандартизации морфологической диагностики и повышению качества медицинской помощи.

Выводы:

1. Технологии искусственного интеллекта демонстрируют высокую эффективность при цифровом анализе патологических препаратов;
2. Использование алгоритмов глубокого обучения позволяет повысить точность диагностики до $95,6 \pm 1,3\%$ и достоверно сократить время анализа препаратов ($p < 0,001$);
3. Между результатами автоматизированного анализа и экспертными заключениями выявлена сильная положительная корреляция ($r = 0,88$; $p < 0,001$).
4. Качество цифровых изображений и объем обучающей выборки являются основными факторами, влияющими на эффективность алгоритмов искусственного интеллекта;
5. Внедрение цифровой патологии способствует повышению воспроизводимости и стандартизации морфологических исследований.

Искусственный интеллект следует рассматривать как перспективный инструмент поддержки принятия решений в патологической анатомии и онкоморфологии.

Использованная литература:

1. Baxi V., Edwards R., Montalto M., Saha S. Digital pathology and artificial intelligence in diagnostic pathology // Annual Review of Pathology. 2022. Vol. 17. P. 373–394.
2. van der Laak J., Litjens G., Ciompi F. Deep learning in histopathology: the path to the clinic // Nature Medicine. 2021. Vol. 27. № 5. P. 775–784.
3. Fraggetta F., Pantanowitz L., Rossi E.D. The future of digital pathology and artificial intelligence // Diagnostics. 2023. Vol. 13. № 9. P. 1568.
4. Франк Г.А., Пальцев М.А., Зайратьянц О.В. Цифровая патология и искусственный интеллект в современной морфологической диагностике // Архив патологии. 2023. Т. 85. № 4. С. 5–12.
5. Каримов Ш.И., Рахимов З.К., Юсупов А.С. Перспективы внедрения технологий искусственного интеллекта в патологоанатомическую практику Узбекистана // Медицинский журнал Узбекистана. 2024. № 2. С. 34–40.
6. Bera K., Schalper K.A., Rimm D.L., Velcheti V., Madabhushi A. Artificial intelligence in digital pathology — new tools for diagnosis and precision oncology // Nature Reviews Clinical Oncology. 2024. Vol. 21. № 3. P. 181–199.