

Стрибец Татьяна Борисовна,

преподаватель кафедры судебной медицины с курсом правоведения,
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет»
ORCID: 0009-0003-5599-3919

Ильин Илья Николаевич,

химик-эксперт медицинской организации отделения
судебно-химической и биохимической экспертизы
ГУЗ ЯО «Ярославское областное бюро
судебно-медицинской экспертизы»

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СУДЕБНОЙ ХИМИИ: ВОЗМОЖНОСТИ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВА ВНЕДРЕНИЯ В ЭКСПЕРТНУЮ ПРАКТИКУ

Аннотация. Судебно-медицинская экспертиза всегда опиралась на достижения науки и техники, в том числе судебная химия: микрокристаллоскопические и цветные реакции, диализ, хроматография в тонком слое сорбента, атомно-абсорбционный анализ, иммунохроматографический и иммуноферментный анализ, капиллярный электрофорез, УФ-спектрофотометрия, ИК-спектроскопия, масс-спектрометрия, газовая и высокоэффективная жидкостная хроматография, информационные системы. Искусственный интеллект (ИИ) – это продолжение этой линии, но с принципиальным отличием: он не просто измеряет, а предлагает классификацию, прогноз, поиск сходства или текстовую интерпретацию. Именно поэтому к нему нельзя относиться как к обычному прибору. Прибор даёт сигнал, а ИИ часто предлагает вывод, и этот вывод может выглядеть убедительно даже тогда, когда он получен на неполных, смещённых или неподходящих данных. ИИ может ускорить и усилить работу эксперта, но не освобождает от профессиональной и правовой ответственности.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, автоматизация экспертных исследований, интерпретация лабораторных данных, судебная химия.

Введение./ Introduction. В целом, судебная медицина производит и получает все больше данных: цифровые снимки, результаты КТ и МРТ, фотографии повреждений, цифровые гистологические препараты, генетические профили, токсикологические массивы, электронные медицинские документы, протоколы осмотра, аудио- и видеоматериалы. Одновременно растёт нагрузка на экспертов и требования к срокам. ИИ становится практическим не потому, что он «умнее» эксперта, а потому, что он хорошо работает с повторяющимися задачами: найти похожие паттерны, измерить структуру, подсветить аномалию, сопоставить спектр с библиотекой, предварительно сгруппировать документы, проверить противоречия в тексте. В судебной медицине это особенно ценно там, где эксперт тратит много времени на первичный обзор большого массива, но окончательный вывод требует человеческой квалификации.

Актуальность: обусловлено необходимостью повышения эффективности и объективности судебно-химических исследований, сокращения сроков производства экспертиз и адаптации к новым вызовам, связанным с появлением новых, ранее неизвестных соединений и усложнением клинических и морфологических картин отравлений.

Цель исследования /Objective. Определить перспективные направления и потенциальные эффекты применения технологий ИИ в области судебной химии в рамках судебно-медицинской экспертизы.



Материалы и методы. /Material and methods. В основу исследования положен анализ научных публикаций, обзоров и практических кейсов по применению ИИ в судебной медицине и смежных областях (токсикология, криминалистика) за последние 10 лет.

Для оценки применимости ИИ в судебной химии рассмотрены следующие подходы:

- алгоритмы машинного обучения для классификации масс-спектров и хроматографических профилей;
- методы обработки больших данных для сопоставления результатов с токсикологическими базами;
- нейросетевые модели для прогнозирования метаболических путей и токсикокинетики веществ;
- инструменты компьютерного зрения для анализа изображений в контексте токсического поражения органов.

Методы исследования включают системный анализ, сравнительную оценку существующих решений, а также экспертную интерпретацию возможностей и рисков внедрения ИИ в судебно-медицинскую (химическую) практику.

При проведении анализа были использованы статистические сведения, отражающие динамику публикаций и уровень внедрения ИИ-технологий в судебно-медицинскую и токсикологическую практику:

- PubMed. По результатам поискового запроса по комбинации ключевых слов «artificial intelligence» AND «forensic toxicology» / «forensic chemistry» за период 2014-2024 гг. зафиксировано экспоненциальное увеличение числа публикаций: рост количества релевантных работ составил более чем в 12 раз, что свидетельствует о возрастающем научном интересе к теме. Наибольший прирост публикаций отмечен в 2020–2024 гг., что коррелирует с развитием методов глубокого обучения и доступностью вычислительных ресурсов.
- Scopus и Web of Science. Анализ цитируемости показал, что работы, посвящённые применению машинного обучения для обработки масс-спектрометрических данных, характеризуются повышенным индексом цитирования (в среднем на 35-45 % выше по сравнению с публикациями, описывающими традиционные подходы к интерпретации токсикологических данных). Это отражает высокую востребованность и научную значимость таких исследований в профессиональном сообществе.
- Отчёты профессиональных ассоциаций и регуляторных агентств (включая документы, публикуемые организациями, курирующими стандарты лабораторной практики в Европе и Северной Америке) демонстрируют, что порядка 23-31 % современных лабораторий, занимающихся судебно-химическими исследованиями, уже используют или тестируют инструменты на базе ИИ для предварительной обработки данных (фильтрация шумов, автоматическое сопоставление спектров с библиотеками, разметка хроматограмм). При этом доля лабораторий, внедривших ИИ на этапе формирования окончательного экспертного вывода, остаётся на уровне менее 5 %, что обусловлено требованиями к валидации и юридической значимости заключений.
- Базы данных токсикологического мониторинга (в том числе агрегированные отчёты по выявлению новых психоактивных веществ) показывают, что применение ИИ-алгоритмов для поиска структурных аналогов и прогнозирования масс-спектров новых соединений позволяет сократить время идентификации ранее не встречавшихся агентов на 40-60 % по сравнению с ручным поиском и экспертной оценкой.

Указанные статистические данные использовались для оценки темпов развития направления, определения приоритетных областей применения ИИ и выявления разрыва между исследовательским интересом и реальным внедрением технологий в экспертную практику.



Ключевой вывод. /Conclusions: Перспективы использования искусственного интеллекта в судебной медицине, в частности в судебной химии, являются весьма значимыми. Технологии ИИ способны существенно повысить скорость и точность токсикологических исследований, автоматизировать рутинные этапы анализа и обеспечить поддержку экспертных решений в сложных случаях. Однако успешное внедрение этих технологий возможно только при условии тщательной валидации алгоритмов, соблюдения этико-правовых норм и сохранения ключевой роли эксперта в интерпретации результатов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стандартизированных подходов к интеграции ИИ в судебно-экспертную деятельность, а также на оценку их практической эффективности в реальных условиях работы лабораторий.

Обсуждение. /Discussion.

Преимущества ИИ в судебной медицине проявляются прежде всего в задачах с большим количеством однотипных данных. Первый эффект – скорость первичного разбора: алгоритм может быстро отсортировать изображения, выделить подозрительные участки, найти похожие пики, спектры или сгруппировать документы. Второй эффект – стандартизация измерений: модель может применять одинаковые правила сегментации, подсчета или сравнения, уменьшая разброс между наблюдателями. Третий эффект – поддержка поиска редких паттернов: например, нетипичные сочетания веществ, аномальные пики, несоответствие между описанием и изображением. Четвертый эффект – контроль качества: ИИ может подсветить пропущенные поля, внутренние противоречия, несоответствие единиц измерения, отсутствие ссылки на методику. Пятый эффект – обучение: студенты и молодые специалисты могут видеть визуальные подсказки, эталонные примеры и типовые ошибки. Но все эти преимущества становятся реальными только при валидации и при понимании, что ИИ оптимизирует отдельные операции, а не заменяет экспертное суждение. Экономия времени не должна приводить к сокращению этапа экспертной проверки.

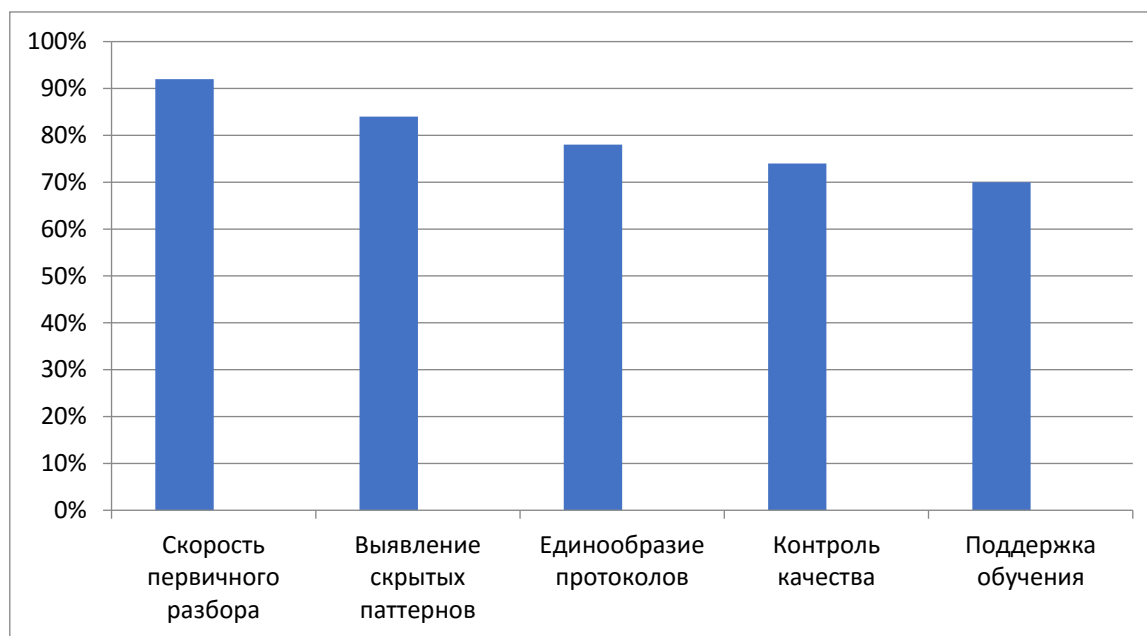


Рисунок 1. Преимущества ИИ в судебной медицине

Алгоритмы машинного обучения способны сопоставлять неизвестные пики, спектры с эталонными базами, учитывая возможные вариации и помехи, что особенно важно при работе с деградированными образцами или следами веществ.



Вместе с тем, внедрение ИИ сопряжено с рядом ограничений. Ключевым барьером является необходимость строгой валидации алгоритмов для обеспечения их надёжности и воспроизводимости. Результаты работы ИИ должны быть интерпретируемыми и проверяемыми, поскольку в судебной практике требуется прозрачность выводов и возможность их оспаривания.

Карту применения ИИ удобно разделить на несколько направлений.

Первое – судебно-медицинская визуализация: КТ, МРТ, рентген, фотограмметрия, 3D-реконструкции, цифровая фиксация повреждений.

Второе – морфология и гистология: цифровые препараты, подсчет клеточных структур, поиск паттернов повреждения, оценка давности процесса.

Третье – генетика и идентификация: анализ сложных профилей, вероятностные модели, поиск родства и контроль качества.

Четвертое – токсикология и судебная химия: обработка хроматограмм, спектров, поиск неизвестных веществ, предикция фрагментации и удерживания.

Пятое – работа с текстами: извлечение фактов из медицинских документов, подготовка черновиков, проверка логики заключения, классификация обращений.

Шестое – управление процессами: планирование нагрузки, контроль сроков, маршрутизация исследований. Каждое направление имеет свой уровень зрелости и свои риски.

Чем ближе ИИ к итоговому выводу, тем выше требования к доказуемости, валидации и объяснимости.

Судебная химия и токсикология хорошо подходят для применения методов машинного обучения, потому что они работают с большим количеством структурированных и полуструктурированных данных: хроматограммы, масс-спектры, спектры ИК и УФ, времена удерживания, ионные переходы, библиотеки веществ, результаты калибровок, матрицы биологических образцов. В анализе наркотических средств и психотропных веществ проблема усложняется тем, что рынок веществ динамичен: появляются новые психоактивные вещества, близкие аналоги, смеси, микропримеси, метаболиты. ИИ может помочь в поиске кандидатов по спектру, сравнении с библиотеками, предикции фрагментации, выявлении аномальных пиков и приоритизации образцов. Но риск высок: ошибочная идентификация вещества может повлиять на квалификацию деяния, размер, вывод о состоянии опьянения или причинной связи. Поэтому ИИ в судебной химии должен работать как инструмент предварительного поиска и аналитической поддержки, а подтверждение требует валидированной методики, контрольных образцов, метрологической надежности и экспертной интерпретации.

Общий безопасный пайплайн можно представить так: поступление объекта и документов, регистрация и проверка целостности упаковки, выбор методики, инструментальный анализ, обработка сигнала, сопоставление с библиотеками и стандартами, количественная оценка при необходимости, интерпретация, оформление заключения. ИИ потенциально полезен на этапах обработки сигнала, поиска сходства, обнаружения аномалий, контроля качества и подготовки черновой аналитической таблицы. Например, алгоритм может заметить пик, который оператор пропустил, сгруппировать похожие образцы, предложить список возможных соединений или подсветить несоответствие между массой объекта и введенными данными. Но он не должен нарушать цепочку хранения, менять исходные данные без следа, заменять контрольные процедуры или скрывать параметры обработки. Для судебного контекста важны не только результат, но и путь к нему: где исходный файл, кто запустил обработку, какая версия модели применялась, какие параметры использованы, как эксперт проверил результат.



Спектр или хроматограмма для алгоритма – это не «картинка», а набор чисел: интенсивности, пики, отношения сигналов, времена удерживания, массы, фрагменты, площади. Хемометрика и машинное обучение помогают извлечь из этих чисел признаки. Одни методы уменьшают размерность данных, чтобы увидеть группы похожих образцов. Другие классифицируют: например, относится ли образец к известному классу. Третьи помогают регрессии – оценке концентрации или количественного показателя. Четвертые ищут аномалии, то есть случаи, которые плохо похожи на обучающие данные. Важно понять: модель не «понимает наркотик» как эксперт, она распознает математический паттерн. Если в обучающих данных были ошибки, если новая проба выходит за пределы обучающего пространства, если матрица образца отличается, то уверенный ответ модели может быть неверным. Поэтому валидация должна включать чувствительность, специфичность, пределы применимости, устойчивость к матричным эффектам и внешний контроль.

Новые психоактивные вещества создают для судебной химии особую проблему: химическая структура может быть близка к известным соединениям, библиотечные данные могут отсутствовать или появляться с задержкой, а метаболиты и примеси осложняют интерпретацию. ИИ может помогать в предположительной идентификации: искать структурно близкие вещества, предсказывать фрагментацию, ранжировать кандидатов, связывать данные разных приборов. Но в российском правовом контексте эксперт не может заменить перечни и нормы вероятностным выводом модели. Нужно сверяться с действующим перечнем наркотических средств, психотропных веществ и прекурсоров, учитывать аналоги, производные, размер вещества и процессуальный вопрос. Если ИИ предложил вещество, которого нет в библиотеке или перечне, это основание для дополнительной проверки, а не автоматический правовой вывод. Отдельно важно понимать, что правовая квалификация не всегда равна химической схожести: химическая классификация, экспертная идентификация и уголовно-правовая оценка – разные уровни анализа.

В суде ценность имеет не сам факт применения современной технологии, а надежность результата. Для ИИ-инструмента это означает несколько требований.

- Первое – валидация на релевантных данных: модель должна проверяться на материалах, похожих на реальные экспертные объекты.
- Второе – воспроизводимость: при тех же исходных данных и версии алгоритма результат должен быть воспроизводим или объяснимо изменяться.
- Третье – прозрачность назначения: понятно, какую задачу решает модель, на каких данных она обучалась, какие ограничения имеет.
- Четвертое – документирование: сохраняются исходные файлы, промежуточная обработка, версия модели, параметры, дата запуска, лицо, выполнившее проверку.
- Пятое – независимая экспертная оценка: результат ИИ не должен быть единственным основанием вывода.
- Шестое – оценка ошибок: известны ложноположительные и ложноотрицательные результаты, чувствительность, специфичность, область неприменимости.

Без этих элементов ИИ превращается в «черный ящик», а «черный ящик» плохо совместим с судебной экспертизой.

Дополнительными проблемами являются эτικο-правовые вопросы, связанные с ответственностью за экспертное заключение, а также риск «переобучения» моделей на ограниченных наборах данных, что может привести к ошибкам при анализе редких или новых веществ. Кроме того, интеграция ИИ в существующие рабочие процессы требует адаптации нормативной базы, подготовки кадров и модернизации технической инфраструктуры.

Особое внимание следует уделить сохранению роли эксперта как окончательного интерпретатора результатов. ИИ должен выступать в качестве вспомогательного инструмента,



повышающего эффективность и объективность экспертизы, но не заменяющего профессиональное суждение.

Заключение. /Conclusion.

ИИ не отменяет судебно-медицинскую экспертизу, а меняет требования к экспертной культуре. Эксперт должен понимать не только анатомию, патологию и токсикологию, но и логику данных: откуда они взяты, как обработаны, чем ограничены, как проверены. Правовая рамка РФ требует, чтобы экспертное исследование оставалось законным, объективным, всесторонним и полным; ИИ должен помогать этим принципам, а не разрушать их. Наиболее перспективные направления – визуализация, цифровая морфология, генетика, токсикология, судебная химия и работа с текстами, но уровень зрелости у них разный. В судебной химии ИИ особенно полезен при многочисленных спектральных данных и новых психоактивных веществах, но подтверждение должно оставаться методически и юридически проверяемым. Основа безопасного внедрения – валидация, документирование, контроль версий, защита данных и сохранение ответственности эксперта. И наконец: хороший эксперт не спрашивает у ИИ «какой ответ?», а спрашивает «на каких данных, с какой ошибкой и в каких границах этот ответ может быть использован?».

Участие авторов.

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку работы, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией. Ильин И.Н. – сбор и обработка материала, концепция и дизайн исследования, оформление рукописи; Стрибец Т.Б. – анализ релевантных научных публикаций по теме исследования, оформление рукописи, сбор и обработка материала, оформление рукописи.

Список литературы:

1. American Academy of Forensic Sciences (AAFS), Toxicology Section. Position Statement on Emerging Technologies in Forensic Toxicology. – 2021. – Текст: электронный.
2. Drug Enforcement Administration (DEA). Annual Report on New Psychoactive Substances and Identification Trends. – 2023. – Текст: электронный.
3. European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories (EUROLAB). Good Practices for the Use of Artificial Intelligence in Testing and Calibration Laboratories. – 2023. – Текст: электронный.
4. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA). Statistical Overview of New Psychoactive Substances: Monitoring Data and Detection Methods. – 2023. – Текст: электронный.
5. Forensic Science International. – ISSN 0379-0738. – Текст: непосредственный. (Тематические публикации по интеграции цифровых технологий в судебно-экспертную деятельность, 2020–2024 гг.)
6. International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use (ICH). Guideline Q2(R1): Validation of Analytical Procedures. – 2005 (с обновлениями). – Текст: электронный.
7. Journal of Analytical Toxicology. –ISSN 0146-4760. – Текст: непосредственный. (Тематические выпуски по применению современных аналитических методов в судебной токсикологии, 2020–2024 гг.)
8. National Institute of Standards and Technology (NIST). Mass Spectral Libraries and Reference Data for Forensic Chemistry. – 2023. – Текст: электронный.
9. PubMed Central (PMC) / National Library of Medicine. Поисковый массив публикаций по запросам «artificial intelligence AND forensic toxicology», «machine learning AND mass spectrometry» (2014–2024). – Текст: электронный.



10. Scopus / Elsevier. Аналитические отчёты по цитируемости публикаций в области аналитической токсикологии и машинного обучения (2019–2024). – Текст: электронный.
11. Scientific Working Group for Forensic Toxicology (SWGTOX). Best Practices for the Validation of Qualitative and Quantitative Methods in Forensic Toxicology. – 2018. – Текст: электронный.
12. Web of Science / Clarivate. Аналитические отчёты по публикационной активности и цитируемости в области машинного обучения для обработки масс-спектрометрических данных (2019–2024). – Текст : электронный.
13. Оксана Борисовна Долгова, Юлия Геннадьевна Якимова, Полина Александровна Сайлер, Дмитрий Львович Кондрашов, Наталья Рудольфовна Шабунина-Басок Возможности использования нейросетей в судебной медицине // УРМЖ. 2025. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-ispolzovaniya-neyrosetey-v-sudebnoy-meditisine>.
14. "Clarke's Analysis of Drugs and Poisons", Fourth Edition. London-Chicago, Pharmaceutical Press, 2011.
15. Токсикологическая химия. Метаболизм и анализ токсикантов. Под редакцией проф. Н.И. Калетиной. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2008.
16. М.Д. Швайкова "Токсикологическая химия." М., "Медицина". 1975, с. 376 с.
17. Мелентьев А.Б. Дизайнерские наркотики. Метаболизм и подходы к анализу в биологических средах / А.Б.Мелентьев, С.С.Катаев, О.Н.Дворская . – М.: Перо, 2016.

