

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.1.029.01 (Д002.034.01) НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН),
Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «25» марта 2026 г. № 3

о присуждении Кравцову Денису Вадимовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов прямого высокочувствительного анализа газовой фазы на основе времяпролетной масс-спектрометрии с импульсным тлеющим разрядом» по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 19.12.2025 г., протокол № 19, диссертационным советом 24.1.029.01 (Д002.034.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), 198095, а/я 140 Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д.31-33, лит.А, приказ от 02.11.2012 № 714/нк.

Соискатель: Кравцов Денис Вадимович, 1997 года рождения, в 2021 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по направлению подготовки «Фундаментальные и прикладные аспекты наноматериалов и нанотехнологий». Диплом магистра №1921016, выдан 10 июня 2021 года.

Кравцов Денис Вадимович обучался в аспирантуре с 01.09.2021 по 30.09.2025 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН) по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (направленность подготовки на начало обучения – специальность ВАК 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики», на настоящий момент специальность ВАК 1.3.2 «Приборы и методы экспериментальной физики»). Диплом аспиранта №107824 0514540, выдан 17 октября 2025 года.

С 2021 года по настоящее время Кравцов Денис Вадимович работает в отделе спектрометрии ООО «ЛЮМЭКС», в настоящее время занимает должность руководителя производственной группы.

Диссертация выполнена в ИАП РАН и ООО «ЛЮМЭКС».

Научные руководители:

1. Бердников Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией №223 «Экологической масс-спектрометрии» в отделе масс-спектрометрии ИАП РАН.

2. Губаль Анна Романовна, кандидат химических наук, руководитель отдела спектрометрии ООО «ЛЮМЭКС».

Официальные оппоненты:

1) Сысоев Алексей Александрович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Молекулярная физика» (№10) Института лазерных и плазменных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, д.31, представил на диссертацию и автореферат **положительный отзыв**, в котором содержатся следующие замечания:

1. В тексте диссертации встречаются не устоявшиеся и жаргонные выражения, например, ВП-МС вместо ВПМС, «онлайн-методы анализа» вместо «прямые методы анализа», «газ-носитель» и «буферный газ» вместо «дрейфового газа» в случае спектрометрии ионной подвижности, «спектрометр ионной подвижности с дрейфовой трубкой» вместо «дрейфовый спектрометр ионной подвижности», «масса-зарядное отношение» вместо «отношение массы к заряду», «разрешение» вместо «разрешающая способность», и т.д.

2. Заключение о том, что прямые методы анализа газовой фазы на основе спектрометрии ионной подвижности уступают методам на основе газовой хроматографии – масс-спектрометрии (стр. 15), является дискуссионным. Правильнее было бы сказать, что они уступают в специфичности анализа.

3. Терминологически некорректно утверждение о том, что стандартизация источников электронной ионизации и высокая воспроизводимость получаемых масс-спектров, позволяет создавать библиотеки данных. Высокая воспроизводимость получаемых масс-спектров, позволяющая создавать библиотеки данных, обусловлена использованием в разных по конструкции источниках электронной ионизации одинаковой энергии электронов.

4. На странице 40 говорится о процессах ионизации по механизму АСТ, но нигде не объясняется что это такое. Можно предположить, что автор имеет в виду associative charge transfer, но это не очевидно.

5. Масс-спектры летучих органических соединений на уровне следовых концентраций в разделах 3.3 и 3.4 приводятся после вычитания фонового спектра. Для лучшего понимания влияния стабильности параметров масс-спектрометра, представляли бы интерес и необработанные спектры, получаемые до вычитания фонового спектра.

6. В тексте диссертации встречаются неточности и опечатки в форме отсутствующих пробелов, отсутствующих знаков препинания, например, отсутствуют знаки препинания при перечислении положений в подразделе «Научная новизна», нарушены правила пунктуации в заключительном положении подраздела «Практическая значимость», на стр. 11 указано «Всемирной организацией здравоохранения» вместо «Всемирной Организацией здравоохранения». В подразделе «Структура и объем работы» неправильно указано число рисунков (61 вместо 60).

2) Зенкевич Игорь Георгиевич, доктор химических наук, профессор, профессор-консультант кафедры органической химии Института химии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», 198504, г. Санкт-Петербург, Университетский просп., д.26, представил на диссертацию и автореферат **положительный отзыв**, в котором содержатся следующие замечания:

1. В диссертации допущена систематическая ошибка в нумерации рисунков. Действительно, на стр. 47 в тексте упомянута разрядная ячейка, изображенная на Рис. 7, но соответствующий рисунок имеет номер 8. Как ни невероятно, но далее эта ошибка в нумерации продолжается до самого последнего рисунка диссертации под номером 60, который в тексте указан как рисунок № 61.

2. На стр. 55 отмечено, что для характеристики влияния разрядного газа (слово «характеристика влияния» требует указания «на что») использовали 1,2,4-триметилбензол, хотя в предшествующих экспериментах фигурировал его изомер, а именно 1,2,3-триметилбензол. Почему?

3. На стр. 57 и 61 указано, что при разряде в аргоне и азоте основной процесс ионизации — перенос протона. Вполне понятно, что являются источником протонов, но для корректности это следовало бы указать.

4. На Рис. 27 (в тексте упомянут как Рис. 28) приведен фрагмент масс-спектра выдыхаемого воздуха, в котором три наиболее интенсивных сигнала с m/z 75, 84 и 91 остались неинтерпретированными. Желательны хотя бы предположения автора о природе этих сигналов, пусть строго и не доказанные.

5. На Рис. 28 представлен фрагмент масс-спектра выдыхаемого воздуха, в котором присутствуют сигналы с m/z 58 + 59 и 61 + 62 с соотношениями интенсивностей приблизительно 10 : 1. Первый из них приписан ацетону, который является известным компонентом выдыхаемого воздуха, тогда как второй — этиленгликолю. Здесь стоит заметить, что температура кипения ацетона 56.1°C, а этиленгликоля — 197.2°C, поэтому для того, чтобы содержание этиленгликоля в выдыхаемом воздухе было всего на порядок меньше содержания ацетона, его

концентрация в водной фазе (крови) должна быть в 10^3 - 10^4 раз выше, что вряд ли возможно. Если же дополнительно учесть коэффициент распределения этиленгликоля в системе кровь-воздух, то отнесение сигналов с m/z 61 + 62 как принадлежащих такому спирту становится невероятным. А что если эти сигналы обусловлены присутствием какого-то другого соединения с молекулярной массой 62?

6. В Табл. 7 (стр. 80 и далее) приведены точные массы ионов в углеродной шкале с четырьмя значащими цифрами после запятой. Как выяснилось, они вычислены с учетом массы электрона. Поскольку так делают не всегда, то этот факт следовало бы отметить для предотвращения возможных вопросов. Кроме того, в заголовке таблицы читаем «Список ионов и их оценочные концентрации», что странно, так как концентрации принято относить не к ионам, а к соединениям. Небезынтересно заметить, что сравнение данных для четырех испытуемых добровольцев показывает, что разброс масс перечисленных ионов составляет несколько ма, так что четвертый десятичный знак ненадежен. На стр. 83 в этой таблице предложено присутствие фенилуксусной кислоты (T_k 266°C). Не стоило ли рассмотреть возможность присутствия более летучего изомерного этой кислоте метилбензоата с T_k 198°C?

7. На Рис. 51 градуировочные зависимости для аргона построены методом наименьших квадратов с использованием двухпараметрового уравнения $y=ax+b$, а на Рис. 52 — однопараметрового $y = ax$. Нужны дополнительные комментарии автора о причинах таких различий.

8. Наиболее критичным замечанием можно считать следующее: в условиях ЭИ в результате потери электрона образуются не катионы M , а катион-радикалы M^+ , что автор указывает не всегда. В некоторых схемах (например, в схемах 19 и 20) фигурирует оксид азота(II), который при н.у. уже является стабильным радикалом, так что его следует обозначать NO^+ , иначе не сходится баланс числа электронов. На стр. 64 обсуждается интерференция сигналов молекулярных ионов кислорода O_2^+ и молекулярных ионов метанола CH_3OH^+ ; при этом для кислорода символ неспаренного электрона указан, а для метанола — почему-то нет.

9. Автор работы явно злоупотребляет использованием глаголов в возвратной форме (с окончаниями «ся»). Например, на стр. 49 обнаружено восемь таких глаголов: газы использовались, образец помещался, ацетон прогрелся, проба разбавлялась, воздух откачивался, спектр измерялся и использовался, анализ проводился. Градуировочные зависимости строились (стр. 122). Автор настоящего отзыва хотел бы заметить, что в химии возвратные частицы имеют особое значение, так как позволяют отличить то, что делает химик от того, что происходит без его непосредственного участия. Например, два раствора смешали (глагол совершенного вида прошедшего времени), осадок образовался, после чего его отфильтровали.

10. Встречаются досадные грамматические небрежности, например «В следствии этого» (стр. 54) или «В течении длительного времени» (стр. 123).

11. В тексте автор несколько раз (например, на стр. 125) использует любопытное выражение «с и без нормировки». Стоит заметить, что оно не намного короче выражения «с нормировкой и без нее».

12. Не стоит «экономить» на слове «пик» в словосочетаниях «пик молекулярных ионов», так как без этого слова получается «доминирует молекулярный ион», «молекулярный ион практически отсутствует» (стр. 67). На стр. 94 появилось еще более странное словосочетание «интенсивность молекулярного потока», а на стр. 105 — «интенсивность CO₂ и интенсивность атомарного кислорода». Таблица 17 приложения содержит графу «Относительные интенсивности ионов», хотя должно быть «пиков ионов».

13. Во всем тексте для выражения концентраций аналитов в газовой фазе автор использует единицу измерения и символ ppbv. Однако в Табл. 16 неожиданно появляется символ ppt.

14. Выражения «Для качественного разделения соединений (стр. 16) и «За счет концентрирования веществ на хроматографической колонке» (стр. 28) нельзя признать корректными. То же относится к выражению «Использование масс-спектрометра высокого разрешения значительно упрощает идентификацию соединений в масс-спектре (стр. 84).

15. На стр. 90 указан 1-пентамин (нет такого соединения), а на стр. 94 упомянуты потенциалы ионизации, а такой термин в настоящее время не рекомендуют. В Табл. 9 на стр. 96 обнаружена графа, озаглавленная аббревиатурой % GD TO FMS, которая не расшифрована в списке используемых сокращений (стр. 142). В Табл. 9 обнаружены не совсем понятные моменты. Например, бутадиену соответствуют две формулы C₂H₆O₂ и C₄H₁₂OSi (причем обе не имеют к бутадиену никакого отношения), а пентан объединен в одной графе с пентаналем. Для этиленгликоля почему-то также указано две формулы C₂H₆O₂ и C₂H₈O₃, причем вторая из них не соответствует правилам валентности, две формулы для фенола — C₆H₆O и C₉H₁₀O, а метан объединен в одной графе с гидропероксиметаном с указанием для обоих невероятной формулы C₂H₈O₃.

16. На стр. 100 обнаружено выражение «соединения легких масс», а на стр. 114 — «ухудшение работы масс-анализатора», что как-то не слишком конкретно.

17. На стр. 67 отмечено «Впрочем, вариант (4) реализуется редко», хотя упомянутые перед этим варианты не нумерованы.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук в своем **положительном заключении**, составленном Рутьковым

Евгением Викторовичем, доктором физико-математических наук, профессором, ведущим научным сотрудником лаборатории физики адсорбционно-десорбционных процессов ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, утвержденным Брунковым Павлом Николаевичем, доктором физико-математических наук, заместителем директора по научной работе, указала, что диссертация Кравцова Д.В. соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2, и отметила следующие замечания:

1. Низкий уровень фрагментации, вообще говоря, затрудняет идентификацию молекул в масс-спектрометрии. Насколько получаемые спектры отличаются от стандартных (NIST)? Возможно ли совмещение указанного метода с электронной ионизацией для использования преимуществ обоих: детектирование молекулярного иона там, где он не появляется в электронной ионизации, и наличие фрагментации, необходимой для идентификации молекул пробы?

2. Неясно, насколько проявляется избирательность ионизации, обычно характерная для Пеннинговского процесса, и какие ограничения она накладывает (если накладывает) на концентрацию пробы, составы смесей и т.д.

3. Неясно, насколько эффекты «хвостов пиков», характерные для времяпролетной масс-спектрометрии, влияют на детектирование компонентов смеси в условиях сильно, на много порядков, различающихся концентраций, что обычно очень важно для экологических и специальных задач.

Приведенные замечания носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Соискатель имеет **4 (четыре)** опубликованные работы, из них по теме диссертации:

3 (три) опубликованные работы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и международные библиометрические базы Scopus и/или Web of Science:

1. **Kravtsov D.**, Gubal A., Chuchina V., Ivanenko N., Solovyev N., Stroganov A., Jin H., Ganeev A. Volatile Organic Compound Fragmentation in the Afterglow of Pulsed Glow Discharge in Ambient Air // *Molecules*. 2022. Vol. 27, no. 20. P. 6864. DOI: 10.3390/molecules27206864.

2. Ганеев А.А., Губаль А.Р., **Кравцов Д.В.**, Чучина В.А., Сидельников В.О., Яковлева Е.М., Строганов А.А. Времяпролётная масс-спектрометрия с импульсным тлеющим разрядом для прямого определения летучих органических соединений в воздухе, азоте и аргоне. Процессы ионизации летучих органических соединений //

Аналитика и контроль. 2023. Т. 27, № 4. С. 208-218. DOI: 10.15826/analitika.2023.27.4.002.

3. Ganeev A., Chuchina V., Gubal A., **Krvtsov D.** et al. Time-of-flight mass spectrometry with a pulsed glow discharge – A versatile tool in modern analytical chemistry: From elemental and isotopic analysis of solids to determination of VOCs and inorganic compounds in ambient air // European Journal of Mass Spectrometry. 2025. Vol. 31, no. 1-2. P. 3-20. DOI: 10.1177/14690667251328836.

1 статья по смежной тематике:

A. Kononov, A.Ganeev, I. Jahatspanian, V.Chuchina, A. Gubal, **D. Krvtsov**, H. Jin, A. Vasiliev, Accuracy calibration transfer between multi-sensor systems based on metal-oxide gas sensors used for analysis of exhaled air // Results Chem. Elsevier B.V., 2023. Т. 6.

На автореферат диссертации поступили следующие отзывы:

1) От Шабановой Елены Владимировны, доктора физико-математических наук по специальности 02.00.02 – Аналитическая химия, руководителя группы атомно-эмиссионных методов анализа и стандартных образцов ФГБУН Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН), 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

Замечания:

1. В первом защищаемом положении неудачно использовано словосочетание "оптимизация полученных данных" – возможно оптимизировать процессы (условия получения конкретных данных, систему/правила структурирования данных), но не сами данные.

2. В тексте используется терминология, не корректная для аналитической химии. Например, то, что соискатель называет методом, является методикой анализа.

3. Результаты определения ЛОС и ЛНС желательно представлять в единицах СИ, а не ppb_v и ppm_v .

4. Было бы полезным указать состав материала ёмкостей, в которых хранятся газовые смеси, а также насколько они реакционно нейтральны и как контролируется наличие неорганических примесей.

5. При составлении списка публикаций по теме диссертации и перечня цитируемой литературы следовало придерживаться требуемого единообразия и в библиографическом описании английских названий использовать «et al.», а не «и др.».

2) От Арсеньева Андрея Ивановича, доктора медицинских наук, профессора, ведущего научного сотрудника научного отделения радиационной онкологии и ядерной медицины ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России, 197758, Россия, г. Санкт-Петербург, пос. Песочный, ул. Ленинградская, дом 68.

Замечания:

1. Рисунок 2 в тексте автореферата является визуально плохо различимым. Полученные графики стоило бы разделить и представить более крупно.

2. Представленные на рисунке 6 3Д модели разрядных ячеек требуют некоторых разъяснений по расположению и исполнению основных элементов, так как существует сложность восприятия для человека, не знакомого с тлеющим разрядом.

3) От Емельянова Андрея Вячеславовича, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника НИЦ «Курчатовский институт», 123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1.

Замечания:

1. В автореферате указано, что диапазон параметров разряда для достижения оптимальных характеристик достаточно узок (длительность импульса 1.0-1.2 мкс, давление 130-160 Па). Насколько критично поддержание этих параметров для стабильной работы прибора в реальных условиях эксплуатации? Какова чувствительность метода к дрейфу параметров разряда во времени?

2. В тексте автореферата не указаны методы, по которым проводилась оценка пределов обнаружения.

4) От Коненкова Николая Витальевича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры общей и теоретической физики и методики преподавания физики Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина, 390000, г. Рязань, ул. Свободы, 46.

Замечания:

1. Не приведены спектры следовых примесей в атмосферном воздухе, в частности благородных газов.

2. Приведённые спектры в автореферате затруднительны для чтения (мелкие подписи).

3. Почему важно идентифицировать состав спиртов в воздухе?

4. Почему отсутствуют спектры ионов меди в приведённых масс-спектрах тлеющего разряда?

5) От Пулялиной Александры Юрьевны, кандидата химических наук, доцента кафедры химической термодинамики и кинетики Института химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д.7-9.

Замечания:

1. В автореферате указано, что изменение влажности воздуха в 1,5 раза приводит к изменению интенсивности всего на 4-10%. Однако не приведены данные о влиянии экстремальных значений влажности (например, при анализе выдыхаемого воздуха, где влажность может достигать 100%) на стабильность разряда и воспроизводимость результатов.

2. При сравнении степени фрагментации в ИТР и электронной ионизации (Таблица 1) не совсем понятно, какие именно параметры разряда (энергия электронов, плотность тока) были зафиксированы как оптимальные для каждого класса соединений.

3. В разделе об анализе операционного воздуха указано обнаружение более 30 соединений. Какова была методика верификации идентификации онкомаркеров, учитывая, что метод не позволяет однозначно определять соединения без хроматографического разделения?

б) От Альмяшева Вячеслава Исаковича, кандидата химических наук, начальника отдела исследований тяжелых аварий ФГУП «Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова», 188540, г. Сосновый бор, Ленинградская область, Копорское шоссе, д.72.

Замечания:

1. Несмотря на упоминание в целях работы, в автореферате, к сожалению, практически отсутствуют данные о возможностях разработанного метода для анализа летучих неорганических соединений (за исключением «простых» примесей в высокочистых благородных газах).

2. Рисунок 2 автореферата практически не читаем.

Все отзывы на автореферат диссертации **положительные**.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их большим опытом работы в областях:

- Сысоев А.А. (НИЯУ «МИФИ»): масс-спектрометрия, ионная оптика, моделирование квадрупольных масс-фильтров, методы ионизации в аналитическом приборостроении. Имеет 15 публикаций за последние 5 лет (2020-2025) в

рецензируемых научных изданиях по тематике, смежной с диссертационным исследованием соискателя, включая журналы International Journal of Mass Spectrometry, Journal of Mass Spectrometry, European Journal of Mass Spectrometry, Journal of Analytical Chemistry.

- Зенкевич И.Г. (СПбГУ): газовая хромато-масс-спектрометрия, идентификация органических соединений, аналитическая химия летучих веществ. Имеет публикации в журналах Journal of Chromatography A, Journal of Analytical Chemistry, Analytica et Control по вопросам хромато-масс-спектрометрического анализа органических соединений.

- Ведущая организация (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН): масс-спектрометрия и разработка методов ионизации для аналитического приборостроения, физика плазмы и газовых разрядов, включая исследования тлеющих разрядов, аналитическая химия летучих соединений и методов прямого анализа газовой фазы.

Научные интересы оппонентов и ведущей организации непосредственно связаны с проблематикой разработки методов прямого высокочувствительного анализа газовой фазы на основе времяпролетной масс-спектрометрии, что подтверждается публикациями в рецензируемых изданиях по тематике диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **выявлены и обоснованы** перспективные подходы для определения летучих органических и неорганических соединений (ЛОС и ЛНС) масс-спектрометрическими методами на основе анализа существующих подходов к пробоподготовке;

- **определены** оптимальные условия ионизации ЛОС в импульсном тлеющем разряде в воздухе, **позволяющие достичь** высокой чувствительности, универсальности и низкой степени фрагментации соединений;

- **проведено** исследование процессов ионизации ЛОС в воздухе и других газовых смесях, на основе которого **показаны** различия механизмов ионизации ЛОС в воздухе, азоте и аргоне, **обнаружены** процессы образования ассоциатов с N₂ и NO;

- **разработан** новый метод определения летучих органических и неорганических соединений в воздухе и других газах с использованием ИТР-ВП-МС (импульсный тлеющий разряд – времяпролетная масс-спектрометрия);

- **выявлены** условия определения летучих органических соединений в воздухе и других газах со степенью фрагментации, значительно сниженной относительно электронной ионизации;

- **показана** возможность применения комбинированной ионизации (ионизация Пеннинга и электронная ионизация) для анализа высокочистых газов;
- **проведена** модернизация разрядной ячейки для анализа летучих органических соединений в воздухе, а также **разработаны** новая разрядная ячейка и многоканальная система напуска для анализа высокочистых газов;
- **разработана** приборная и методическая база для анализа ЛОС и ЛНС в воздухе и других газах с использованием масс-спектрометров ЛЮМЭС-30 и ЛЮМЭС ИТР-301.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что применительно к проблематике диссертации эффективно, с получением обладающих новизной результатов:

- **разработан** метод, позволяющий проводить прямое **одновременное** определение летучих органических и неорганических соединений в воздухе и других газах с использованием ИТР-ВП-МС, обеспечивающий высокую чувствительность и экспрессность анализа;
- **выявлены** и теоретически **обоснованы** условия определения летучих органических соединений в воздухе и других газах со степенью фрагментации, значительно сниженной относительно электронной ионизации, что позволяет повысить достоверность идентификации аналитов;
- экспериментально **доказано**, что применение комбинированной ионизации (ионизация Пеннинга и электронная ионизация) для анализа высокочистых газов расширяет аналитические возможности масс-спектрометрических методов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. Разработана приборная и методическая база для анализа летучих органических и неорганических соединений в воздухе и других газах с использованием масс-спектрометров ЛЮМАС-30 и ЛЮМАС ИТР-301. Эти приборы внесены в Реестр средств измерения.

Практическое применение: методика может быть использована для прямого высокочувствительного анализа газовой фазы в экологическом мониторинге, промышленном контроле и медицинской диагностике по выдыхаемому воздуху.

Преимущество: достигнуты пределы обнаружения на уровне $1 \cdot 10^{-12}$ об. % при существенно более низкой степени фрагментации в сравнении с электронной ионизацией.

2. Разработан метод анализа инертных газов и получены пределы обнаружения примесей на уровне 10^{-12} М и ниже.

Практическое применение: метод может быть использован для анализа высокочистых газов в полупроводниковой промышленности, при аналитическом контроле качества газовых сред.

Преимущество: возможность прямого анализа без сложной пробоподготовки, высокая чувствительность и селективность.

3. **Проведена модернизация** разрядной ячейки для анализа летучих органических соединений в воздухе, **разработаны** новая разрядная ячейка и многоканальная система напуска для анализа высокочистых газов.

Практическое применение: улучшенные технические решения позволяют расширить функциональные возможности масс-спектрометрических систем.

Преимущество: повышенная надежность, универсальность и адаптивность оборудования для различных типов аналитических задач.

4. **Разработанный приборный комплекс и рабочие методики могут быть использованы** для контроля чистоты высокочистых инертных газов.

Практическое применение: приборный комплекс поставлен в МГТУ им. Баумана и уже в настоящее время используется для контроля степени чистоты гелия при его очистке.

Преимущество: практическая апробация в реальных условиях эксплуатации, подтверждение эффективности разработанных решений.

Потребителями результатов, представленных в работе Кравцова Д.В., могут быть:

1. По результатам, представленным в главе 3:

научные и медицинские учреждения, занимающиеся вопросами здравоохранения и экологического мониторинга, а именно:

- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации,

- Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет),

- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

2. По результатам, представленным в главе 4:

научные и производственные предприятия, занимающиеся изготовлением и контролем чистоты благородных и других неорганических газов, а именно:

- Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
- Амурский газоперерабатывающий комбинат ПАО «Газпром»,
- Акционерное общество «Научно-производственное объединение «ГЕЛИЙМАШ»

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что научные положения, выводы и результаты, содержащиеся в диссертации, подтверждаются использованием признанных, апробированных и обоснованных физических методов, комплексным характером выполненных экспериментов и исследований с использованием лицензионных программных пакетов, а также воспроизводимостью полученных экспериментальных данных. Достоверность экспериментальных данных обеспечена использованием метрологически поверенного оборудования. Результаты эксперимента хорошо согласуются с теоретическими оценками и результатами моделирования.

Основные результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- 1) VI Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых учёных «Химия: достижения и перспективы», 21-22 мая 2021 г., г. Ростов-на-Дону;
- 2) X съезд ВМСО, IX Всероссийская конференция с международным участием «Масс-спектрометрия и её прикладные проблемы», 18-22 октября 2021 г., г. Москва;
- 3) Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021», 12-23 апреля 2021 г., г. Москва;
- 4) XII Международная конференция молодых учёных по химии «MENDELEEV 2021», 6-10 сентября 2021 г., г. Санкт-Петербург;
- 5) IV съезд аналитиков России, 26-30 сентября 2022 г., г. Москва;
- 6) XI съезд ВМСО, X Всероссийская конференция с международным участием «Масс-спектрометрия и её прикладные проблемы», 30 октября – 3 ноября 2023 г., г. Москва;
- 7) VII Всероссийский симпозиум «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии», 21-27 сентября 2025 г., г. Краснодар.

Личный вклад соискателя заключается в следующем:

- непосредственное участие в проведении экспериментов и получении экспериментальных данных (лично или при его непосредственном участии, за исключением отдельно оговоренных случаев);
- участие в разработке, сборке и испытаниях разрядной ячейки и многоканальной системы напуска для анализа высокочистых газов;
- участие в модернизации разрядной ячейки для анализа ЛОС в воздухе;
- анализ полученных экспериментальных данных совместно с соавторами;
- подготовка научных публикаций по тематике исследования;
- представление результатов работы на конференциях.

На заседании 25 марта 2026 года Диссертационный совет принял решение присудить **Кравцову Денису Вадимовичу** ученую степень **кандидата технических наук**.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве **15** человек, из них **15** докторов наук, участвовавших в заседании, из **21** человека входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **0** человек, проголосовали: за – **15**, против – **нет**, недействительных бюллетеней – **нет**.

Председатель
Диссертационного совета
д.т.н., профессор

В.Е. Курочкин

Ученый секретарь
Диссертационного совета
д.ф.-м.н.

А.Л. Буляница



Дата оформления заключения
25 марта 2026 г.

М.П.