

# ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В АЭРОЗОЛЕ НИКОТИНСОДЕРЖАЩЕЙ ПРОДУКЦИИ

*Зайцева Т.А., Медведева С.Н., Покровская Т.И.*

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», г. Краснодар

**Аннотация.** В статье описывается никотинсодержащая продукция, образование полициклических ароматических углеводородов, проведен мониторинг существующих методик измерения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые используются в работе аналитических лабораторий.

В последние годы, во многом благодаря реализации мер Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по борьбе против табака, на мировом рынке, в т. ч. в странах Евразийского экономического союза, широкое распространение получили потребительские продукты в виде электронных систем и инновационных изделий, которые предлагают альтернативные способы и формы, имитирующие и замещающие потребление традиционных табачных изделий. Такие изделия могут быть отнесены к категории никотинсодержащей продукции: электронные сигареты, изделия с нагреваемым табаком (табак нагреваемый) и т.д., предназначенные для потребления путем вдыхания аэрозоля или пара, образующегося в результате нагревания табака или жидкости, содержащей никотин.

Разработка продуктов, работающих на основе электрической системы нагревания табака (ЭСНТ) и электрической системы доставки никотина (ЭСДН), основана на снижении риска воздействия табачного дыма на организм человека.

Принцип действия ЭСНТ основан на нагреве табака без его горения или тления, так как при нагреве табака возможно снижение образующихся вредных и потенциально опасных веществ, входящих в состав аэрозоля, при сохранении приемлемого уровня вкусоароматического ощущения для потребителя. Этот подход был назван производителем «нагревание вместо горения».

Общеизвестно, что в зоне горения сигареты температура достигает 850-900°C и количества поступающего кислорода оказывается недостаточно для полного сгорания табака.

За зоной горения находится зона тления, где с помощью сухой дистилляции высококипящие вещества попадают в струю воздуха. В зоне горения сигареты дыма не образуется, его образование возможно только в зоне тления. В результате реакций пиросинтеза образуется значительная часть высокомолекулярных веществ, которые отсутствуют в табаке. Продукты пиросинтеза и дистилляции конденсируются в виде маленьких аэрозольных частиц в очень небольшой области за зоной тления. При этом часть веществ, отличающихся низкой упругостью паров, концентрируется в аэрозольных частицах, а пары лету-

чих соединений и истинные газы окружают эти частицы, создавая газовую фазу дыма [9,10].

На основании исследований, проведенных зарубежными учёными, можно предположить, что нагревание табака без его горения и тления приведет к образованию аэрозоля с более низким уровнем содержания многих токсичных веществ.

Испаряемые продукты показали возможность снижения риска для здоровья человека по сравнению с традиционными сигаретами. Во время прокуривания электронных систем нагревания табака, твердожидкая фаза содержит те же классы токсичных компонентов, что и при прокуривании сигарет, но их количество значительно меньше в сравнении с химическим составом твердо-жидкой фазы обычной и стандартной сигареты 3R4F (Center for Tobacco Reference Products, Университет Кентукки, США) [8].

Углеводороды являются составной частью как твердожидкой, так и газовой фаз дыма. Набор их очень разнообразен. Изучение образования ароматических углеводородов аэрозоля дыма является важным вопросом, решением которого занимались многие исследователи [1,14,15].

Исследование углеводородов дыма вследствие их сложного состава связано со значительными трудностями. Газообразные углеводороды образуются в основном в результате пиросинтеза. Образовывать газообразные углеводороды способны при сгорании практически все вещества табака, но наибольшее их количество дает клетчатка. В табаке, не прошедшему специальную термическую обработку, полициклические углеводороды и особенно, 3,4-бенз(а)пирен, практически отсутствуют, в силу чего их образование возможно только за счет реакций пиросинтеза. Значительное количество 3,4-бензпирена дает пиролиз веществ табака, способных растворяться в гексане. Сюда же относятся парафины табака, которые во время пиролиза продуцировали во много раз большее количество 3,4-бензпирена, чем табак с низким содержанием этих веществ. Белковоподобные вещества и клетчатка также являются источником образования 3,4-бенз(а)пирена и других полициклических углеводородов.

Основным механизмом канцерогенного действия ПАУ является образование соединений с молекулами ДНК. Существует представление о многоэтапности процесса канцерогенеза с участием полициклических ароматических углеводородов, в ходе которого сначала происходит инициализация процесса канцерогенеза, а затем инициализированные клетки превращаются в злокачественные. В этом процессе участвуют как канцерогены, так и ко- канцерогены [2,3].

Электронные сигареты, появившиеся в начале 2000-х годов в качестве безопасной альтернативы обычным, нашли свою аудиторию, но влияние электронных сигарет на здоровье человека пока не исследовано.

По мнению Всемирной организации здравоохранения существует необходимость изучения никотинсодержащей продукции и особое внимание следует уделять жидкостям для вейпинга с различными табачными вкусами.

В настоящее время существуют различные методики определения бенз(а)пирена в главной струе табачного дыма.

Так, принцип метода группы исследователей British American Tobacco Group Research & Development [4] заключается в прокурировании двадцати сигарет, прошедших кондиционирование, на ротационной курительной машине фирмы Borgwaldt. Сырой конденсат собирают на кембриджский фильтр диаметром 92мм. После прокуривания фильтры экстрагируют циклогексаном. Экстракт ПАУ пропускают через картридж SPE для твердо-жидкой экстракции и элюируют циклогексаном. Элюент упаривают до 1 мл. Количество содержания 3,4-бенз(а)пирена проводится методом ГХ/МС с использованием селективного ионного детектора (SIM), что повышает чувствительность анализа.

Методика определения бенз(а)пирена в главной струе дыма Health Canada основана на количественном его определении с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с флуоресцентным детектором [5]. Принцип метода заключается в прокурировании сигарет по методу Health Canada Test Method T-115. Сырой конденсат, собранный на кембриджский фильтр, экстрагируется циклогексаном, очищается пропусканием через фильтр PTFE 0,45 мм. Аликвоту экстракта объемом 2 мл дополнительно очищают с помощью картриджа NH<sub>2</sub> для твердо-жидкой экстракции, элюируя 3,4-бенз(а)пирен гексаном. Гексановый экстракт упаривают в токе азота, растворяют в 1мл ацетонитрила и анализируют с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с флуоресцентным детектором.

Исследовательская группа CORESTA провела международные межлабораторные сличительные испытания с участием 13 лабораторий из 8 стран по определению 3,4-бенз(а)пирена в главной струе табачного дыма методом ГХ-МС [7]. Принцип метода заключался в прокурировании сигарет по ГОСТ ИСО 3308-2015 [13] и сбора сырого конденсата на кембриджский фильтр с последующей экстракцией метанолом; очистке экстракта через SPE картридж для твердо-жидкой экстракции путем элюирования циклогексаном. Количественное определение проводили с помощью ГХ-МС с использованием селективного ионного детектора.

Существует также метод CORESTA CRM 82 по определению 3,4-бензпирена в табачных изделиях [12] и международный стандарт ISO 22634-2:2017, ISO 22634-1:2017 [6,11] по определению 3,4-бензпирена в главной струе дыма сигарет. Эти методы основаны на применении газовой хроматографии и масс-спектрометрии.

## **Литература**

1. Alan Rodgman, Lawrence C. The composition of cigarette smoke. An historical perspective of several polycyclic aromatic hydrocarbons // Beitr.Tabakforsch. Int. 2009. –Vol.23. –P. 277–333.
2. Pluchino, Lenora A. Enhancement of Chronically-induced Breast Carcinogenesis by Combined Environmental and Dietary Carcinogens and Suppression by Dietary Agents. PhD diss., University of Tennessee, 2014. URL: [http://trace.tennessee.edu/utk\\_graddiss/3200](http://trace.tennessee.edu/utk_graddiss/3200)
3. <https://doi.org/10.2147/BCTT.S129746>

4. <http://www.bat-science.com/>
5. <https://www.canada.ca/en.html>
6. Сигареты. Определение содержания бенз(а)пирена в главной струе сигаретного дыма. Метод с применением газохроматографии/масс-спектрометрии с использованием циклогексана в качестве растворителя. Часть 2. URL: <https://www.iso.org/standard/63663.html?browse=tc>
7. <https://www.coresta.org/determination-benzoapyrene-cigarette-mainstream-smoke-gas-chromatography-mass-spectrometry-29181>
8. Poynton.S., et al., A novel hybrid tobacco flavour note with vapour aerosol (Part 1): Product operation and preliminary aerosol chemistry assessment // Food and Chemical Toxicology.- 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2017.05.022>
9. Зайцева Т.А., Медведева С.Н., Гнучих Е.В., Пережогина Т.А., Дурунча Н.А. Методы определения бенз(а)пирена в твердой фазе табачного дыма // Актуальные вопросы развития устойчивых, потребитель ориентированных технологий пищевой и перерабатывающей промышленности АПК: матер. 20-й Междунар. науч.- практ. конф., посвящ. памяти В.М.Горбатова (7-8 декабря 2017 г.).- М., 2017.- С.123-125.
10. Медведева С.Н., Зайцева Т.А., Гнучих Е.В., Пережогина Т.А., Дурунча Н.А. Методы исследования летучих органических веществ в аэрозоле табачного дыма // Актуальные вопросы развития устойчивых, потребитель ориентированных технологий пищевой и перерабатывающей промышленности АПК: матер. 20-й Междунар. науч.- практ. конф., посвящ. памяти В.М.Горбатова (7-8 декабря 2017г.). - М., 2017.- С.226-229.
11. Сигареты. Определение содержания бенз(а)пирена в главной струе сигаретного дыма. Метод с применением газохроматографии/масс-спектрометрии с использованием метанола в качестве растворителя. Часть 1. URL: <https://www.iso.org/standard/73487.html?browse=tc>
12. <https://www.coresta.org/determination-benzoapyrene-tobacco-products-gc-ms-29897.html>
13. [https://standartgost.ru/g/ГОСТ\\_ISO\\_3308-2015](https://standartgost.ru/g/ГОСТ_ISO_3308-2015)
14. Зайцева Т.А. «Полициклические ароматические углеводороды табачного дыма» [Электронный ресурс] // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: сб. матер. II Междунар. науч.-практ. конф. (05-26 июня 2017 г., г. Краснодар). – С.504-508. URL: [http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik\\_conf2017.pdf](http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik_conf2017.pdf)
15. Медведева С.Н. «Летучие органические вещества в аэрозоле табачного дыма» [Электронный ресурс] // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: сб. матер. II Междунар. науч.-практ. конф. (05-26 июня 2017 г., г. Краснодар).– С.514-518. URL: [http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik\\_conf2017.pdf](http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik_conf2017.pdf)