

# ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ ТАБАЧНОГО ДЫМА

Зайцева Т.А., мл.науч.сотр.

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

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы химического состава табачного дыма и процессов образования полициклических ароматических углеводов. Приведена токсикологическая характеристика 3,4-бензпирена и пути его миграции в объектах окружающей среды. Методы определения 3,4-бензпирена. Рассмотрены вопросы Рамочной конвенции по борьбе с табаком (РКБТ) ВОЗ и проблемы формирования отчета об ингредиентах к ТР ТС 035/2014.

**Ключевые слова:** 3,4-бензпирен, главная струя дыма, токсичные вещества, безопасность табачных изделий, химический состав дыма, полициклические ароматические углеводороды.

Решение многих вопросов, связанных с улучшением качества курительной продукции и снижением токсичности табачного дыма, немыслимо без изучения физико-химических его свойств. Табачный дым – это чрезвычайно сложная смесь компонентов. Во время курения внутри горящей сигареты табак подвергается воздействию температур - от температуры окружающей среды до  $\approx 950^{\circ}\text{C}$  в присутствии кислорода меняющейся концентрации. При этом образуются тысячи химических веществ различными путями, которые могут влиять на курительные достоинства табака [1,2].

По своей природе каждое из этих веществ, с точки зрения органолептических свойств, может оказывать положительное, отрицательное или нейтральное влияние. Органолептические свойства курильщик определяет как «аромат» и «вкус», а биологическое действие может служить причиной каких-то изменений или заболеваний организма. Таким образом, одни и те же вещества весьма ценные с точки зрения формирования аромата и вкуса, могут оказывать сильное нежелательное биологическое воздействие и наоборот .

На состав табачного дыма оказывает влияние много факторов различного характера. Знание их роли необходимо для направленного изменения курительных свойств продукции и снижения ее токсичности. Речь идет, в первую очередь, о главной струе дыма сигареты, так как именно она является объектом потребления [3].

Состав образующегося дыма очень изменчив и зависит от многих факторов. Существует множество исследований по оценке содержания количества химических веществ в дыме сигарет. По некоторым данным в табачном дыме содержится более 5300 химических веществ.

Среди всего многообразия веществ дыма следует отметить класс углеводов, обращающий на себя внимание своей многочисленностью и присутствием в табачном дыме. Углеводороды являются одной из наиболее представи-

тельных групп химического состава табачного дыма, которая насчитывает более 200 индивидуальных соединений. Эти сведения дают представление о том, что углеводороды табачного дыма могут играть значительную роль в формировании как его качественных показателей, так и биологических свойств.

В табачном дыме обнаружено более 75 моноциклических ароматических углеводородов, таких как бензол и толуол, которые образуются при пиролизе аминокислот, жирных кислот, углеводов и парафинов. В табачном дыме идентифицировано свыше 300 полициклических ароматических углеводородов (далее по тексту - ПАУ).

Из сотен полициклических ароматических углеводородов различного строения 3,4-бензпирен является наиболее приоритетным для мониторинга. В таблице 1 приведены некоторые из представителей ПАУ вместе с характерным содержанием в дыме сигарет.

Таблица 1

Представители ПАУ в табачном дыме

Углеводород	Содержание, нг/сиг.
Нафталин	2-6
Антрацен	24
Флуорен	1-6
Фенантрен	77
Пирен	45-140
Флуорантен	60-150
Перилен	3
Бенз(а)пирен	9-40
Коронен	1
Антантрен	3

ПАУ образуются при пиролизе и в ходе пиросинтетических реакций из терпенов, фитостеролов, парафинов, углеводов, аминокислот, целлюлозы и других компонентов табака. Ранее были проведены исследования посвященные определению температур, при которых происходит образование отдельных групп углеводородов. Установлено, что в интервале температур 400-600°C образуются нормальные алканы и алкены, при температуре более 500°C – бензол и алкилбензолы, при температуре более 700°C – нафталин и его производные, а при температуре более 800°C – полициклические ароматические углеводороды.

Еще в 1921 году ученые Блох и Дрейфусс [4] получили подтверждение, что канцерогенными факторами являются не содержащие серы и азота соединения, образующие ароматические углеводороды. Кенневей получил канцерогенные смолистые вещества из органических материалов, таких, как волосы, человеческие ткани, холестерин и т.д., а также из ацетилен или изопрена при нагревании их с водородом при высокой температуре [4]; затем он начал поиски канцерогенных составляющих в каменноугольных остатках. Канневей испытал большое число углеводородов, выделенных в то время из смолы, но ни один из них не обладал канцерогенной активностью. Однако ему удалось вызвать

опухоль у мышей при использовании синтетического соединения 1,2-5,6-дибензантрацена, полученного по методу Клара [4]. Это соединение явилось первым полициклическим ароматическим углеводородом из большой группы канцерогенов данного типа. История основополагающего успешного открытия первого из содержащихся в каменноугольной смоле канцерогенных веществ - 3,4-бензпирена связана с именем Кука [4] и Кенневея [4], каждый из которых своей работой внес значительный вклад в развитие этой проблемы.

**Бензпирен** (или 3,4-бензпирен, бенз(а)пирен, бензапирен)  $C_{20}H_{12}$  - полициклический ароматический углеводород, представляющий собой светло-желтые кристаллы.

Температура плавления  $179\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура кипения  $495\text{ }^{\circ}\text{C}$ , плотность:  $1,24\text{ г/см}^3$ ; молярная масса  $252,3\text{ г/моль}$ . Хорошо растворим в бензоле, толуоле, ксилоле и других органических растворителях, водном растворе метанола. С водой образует коллоидные растворы. Регистрационный номер по Chemical Abstract Service (CAS) 50-32-8, образующийся при воздействии высокой температуры на некоторые органические вещества. Из ряда канцерогенных полиароматических углеводородов, (ПАУ) является наиболее распространенным в окружающей среде.

Структурная формула бенз(а)пирена довольно проста: пять сочлененных в определенной последовательности бензольных колец (рис.1).

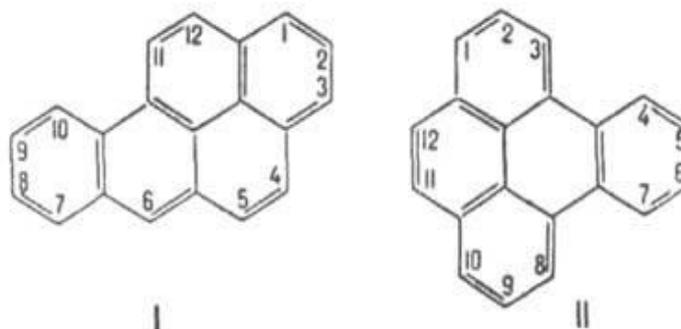
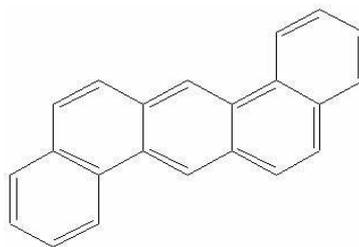


Рис. 1. Структурная формула 3,4-бензпирена ( I ); 4,5- бензпирена ( II )

Важна именно последовательность сочленения колец. Бенз(а)пирены — это углеводороды из пяти циклов, являющиеся производными пирена — тетрациклического углеводорода, лишённого канцерогенной активности. Будет канцерогенен углеводород из пяти колец или нет, зависит от того, как присоединится пятое кольцо. Если так, как у 3,4-бензпирена или, если произойдет перестройка и образуется молекула 1,2,- 5,6- Дибензантрацена (III) (рис.2), то у вещества будет способность вызывать злокачественные опухоли. Если же пять колец образуют иную структуру, то образуются малоактивные соединения (например, 4,5-бензпирен (II)) (рис.1).



III

Рис. 2. 1,2-5,6-добензантрацен (III)

3,4-бензпирен отнесен к веществам 1 класса опасности (чрезвычайно опасное). Канцероген способен вызвать у человека образование злокачественных и доброкачественных опухолей. Преимущественные пути поступления в организм человека - ингаляционный, накожный, трансплацентарно. В экспериментальных исследованиях 3,4-бензпирен был испытан на девяти видах животных, включая обезьян. При всех этих способах воздействия удавалось вызвать злокачественные опухоли у животных.

Одним из широко распространённых источников 3,4-бензпирена является процесс горения практически всех видов горючих материалов. 3,4-бензпирен присутствует в дымовых газах, копоти и саже, оседающих в дымоходах и на поверхностях, имевших контакт с дымом, в том числе табачном, точнее в смолистых веществах, содержащихся в продуктах сгорания. 3,4-бензпирен находят и в местах стихийно возникающих лесных пожаров, он появляется в атмосфере также в результате извержения вулканов. Однако, процесс горения (т.е. окисление углерода) не обязателен для возникновения 3,4-бензпирена. Он образуется в результате протекания процессов полимеризации относительно простых по структуре осколков молекул (в основном свободно радикального характера), которые образуются из исходного топлива вследствие действия высоких температур, при неблагоприятных условиях горения. Одним из наиболее распространённых источников образования 3,4-бензпирена является также пиролиз.

В молекулярно-дисперсном состоянии 3,4-бензпирен может находиться лишь в ничтожно малых количествах. В воздухе он преимущественно связан с твердыми частицами атмосферной пыли. Твердые частицы, содержащие 3,4-бензпирен, довольно быстро выпадают из воздуха вследствие седиментации (разрушение коллоида и выпадение осадка), а также с атмосферными осадками и переходят в почву, растения, почвенные воды и водоемы. Это обуславливает довольно большую изменчивость концентрации бенз(а)пиренов в атмосферном воздухе, которая зависит не только от интенсивности выброса его из источника загрязнения, но и от метеорологических условий. Будучи химически сравнительно устойчивым, бенз(а)пирен может долго мигрировать из одних объектов в другие. В результате многие объекты и процессы окружающей среды, сами, не обладающие способностью синтезировать бенз(а)пирены, становятся его вторичными источниками.

В окружающей среде накапливается преимущественно в почве, меньше в воде. Из почвы поступает в ткани растений и продолжает своё движение даль-

ше в трофической цепи, при этом на каждой её ступени содержание бенз(а)пиренов в природных объектах возрастает на порядок.

Проблема улучшения качества и снижения токсичности табачной продукции является актуальной для табачной отрасли. Статья 10 РКБТ ВОЗ, которая касается регулирования раскрытия состава табачных изделий, говорит о том, что каждая Сторона, в соответствии со своим национальным законодательством, принимает и осуществляет эффективные законодательные, исполнительные, административные или иные меры, требующие от изготовителей и импортеров табачных изделий раскрывать правительственным органам информацию о составе табачных изделий и выделяемых ими продуктах. Кроме того, каждая Сторона принимает и осуществляет эффективные меры по информированию общественности о токсических составляющих табачных изделий и продуктах, которые они могут выделять.

В 2008 году Российская Федерация присоединилась к РКБТ ВОЗ и с тех пор проводит политику применения и внедрения рекомендаций ВОЗ в систему регулирования табачных изделий.

В соответствии с действующим «Техническим регламентом на табачную продукцию» Таможенного союза (ТР ТС 035/2014) ежегодно производители обязаны подавать отчет об ингредиентах. В форме отчета, которая сейчас проходит процедуру рассмотрения и утверждения, предусмотрено наличие сведений о содержании различных токсичных веществ.

Во исполнение Рамочной конвенции по борьбе с табаком (РКБТ) ВОЗ, статьи 9 «Регулирование состава табачных изделий» Конференция Сторон в консультации с компетентными международными органами предлагает руководящие принципы испытания и измерения состава табачных изделий и выделяемых ими продуктов, а также регулирования содержания токсичных компонентов табачного дыма [5].

В пункте 3 Проекта «Формы отчета о составе реализованных на территории государства – члена Евразийского экономического союза в течение отчетного календарного года табачных изделий и выделяемых ими веществах» к техническому регламенту Таможенного союза «Технический регламент на табачную продукцию» (ТР ТС 035/2014) содержится требование по предоставлению изготовителями или импортерами табачной продукции информации о составляющих табачного дыма сигареты, в частности, о содержании многоядерных ароматических углеводородов (3,4-бензпирен), летучих веществ (бензол, 1,3-бутадиен, формальдегид, ацетальдегид), нитрозоаминов, металлов (мышьяк, кадмий, хром, свинец, ртуть, никель, селен), окиси азота и цианида водорода в дыме, выделяемом табачным изделием [6].

В настоящее время существует метод CORESTA CRM 82 по определению 3,4-бензпирена в табачных изделиях и международный стандарт ISO 22634:2008 по определению 3,4-бензпирена в главной струе дыма сигарет. Оба метода основаны на применении газовой хроматографии и масс-спектрометрии.

Для контроля качества и безопасности табачных изделий, находящихся в обороте на рынке России, по содержанию одного из самых токсичных веществ в составе дыма – 3,4-бензпирена, необходима разработка российского, гармо-

низированного с международными, метода определения 3,4-бензпирена в дыме сигарет.

### **Литература**

1. Дурунча Н.А. Результаты исследований современных табачных изделий по показателям безопасности и качества/ Н.А. Дурунча, Т.А.Пережогина, И.М. Остапченко, Н.В.Попова //Естественные и технические науки.- 2014.- №3(71).-С.183-187.
2. Писклов В.П. Сравнительный анализ химического состава табачного сырья /В.П. Писклов, С.К. Кочеткова, Н.А. Дурунча [и др.] // Изв. вузов. Пищевая технология.- 2012.- № 5-6.- С.20-24.
3. Duruncha N.A. The effect of the filter tip verilation rate on toxic components in cigarette smoke/ N.A. Duruncha, S.K. Kochetkova, T.A.Perezhogina [and other] //Science and World: International scientific journal.- 2016.- Vol.I., 6(34).- P.28-31.
4. Клар Э. Полициклические углеводороды/ пер. с англ. В.В.Ершова /Э.Клар.- М., 1971. Т. 1-2.
5. WHO Framework Convention on Tobacco Control: guidelines for implementation// World Health Organization.-2013.
6. Технический регламент Таможенного союза "Технический регламент на табачную продукцию" (ТР ТС 035/2014).
7. Машковцев М.Ф. Химия табака /М.Ф. Машковцев.-1971.- 272 с.
8. Краткая химическая энциклопедия.- М., 1961.- 419 с.
9. Шмук А.А. Химия табака и махорки / под ред. А.П. Смирнова /А.А. Шмук. – Изд. 2-е. – М.: Пищепромиздат, 1948. – 580 с.