



АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА (С УЧЕТОМ ИНГАЛЯЦИОННОЙ И АЛИМЕНТАРНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ)

Долгина Наталья Алексеевна
научный сотрудник лаборатории комплексных проблем гигиены пищевых продуктов

Со-авторы: Федоренко Е.В., Дроздова Е.В., Ганькин А.Н.

Научная сессия БГМУ, 25 января 2022 г., г. Минск

АКТУАЛЬНОСТЬ



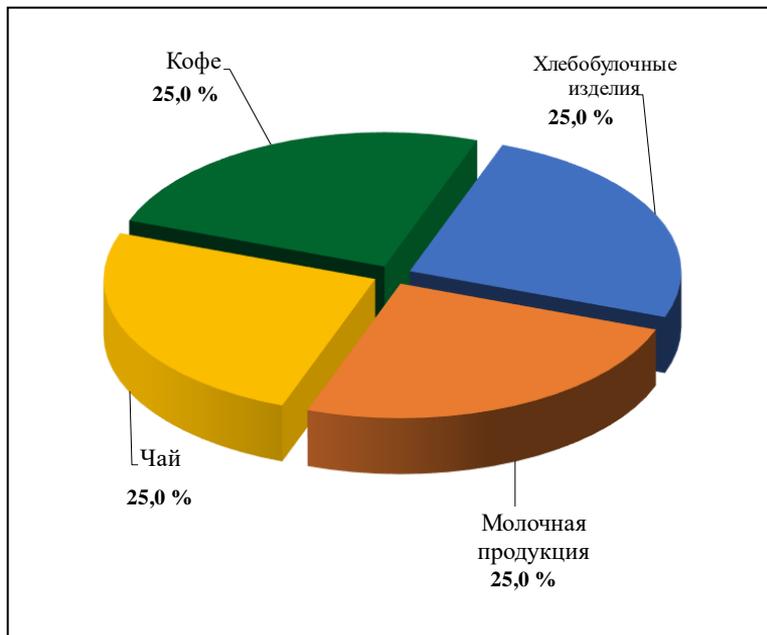
- Обеспечение здоровья населения является мультидисциплинарной задачей.
- ПАУ обладают негативным влиянием на здоровье.
- Обсуждаемые вещества образуются во время технологических процессов изготовления пищевых продуктов.
- Основным источником загрязнения питьевой воды данными химическими веществами является битумное покрытие водопроводных труб, применяемое для их защиты от коррозии.
- В атмосферный воздух ПАУ поступают с лесными пожарами, выхлопами автомобильного транспорта, функционированием объектов теплоэнергетики и некоторых отраслей промышленности.
- Присутствие ПАУ в пищевой продукции, питьевой воде и атмосферном воздухе может вносить значительный удельный вклад в риск здоровью населения.





СТРУКТУРА ИССЛЕДОВАННОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Определение ПАУ проводилось согласно ГОСТ 31745-2012



Изучаемые вещества:

- ✓ Бенз(а)антрацен (БаА);
- ✓ Бенз(б)флуорантен (БбФ);
- ✓ Хризен (ХР);
- ✓ Бенз(а)пирен (БП).

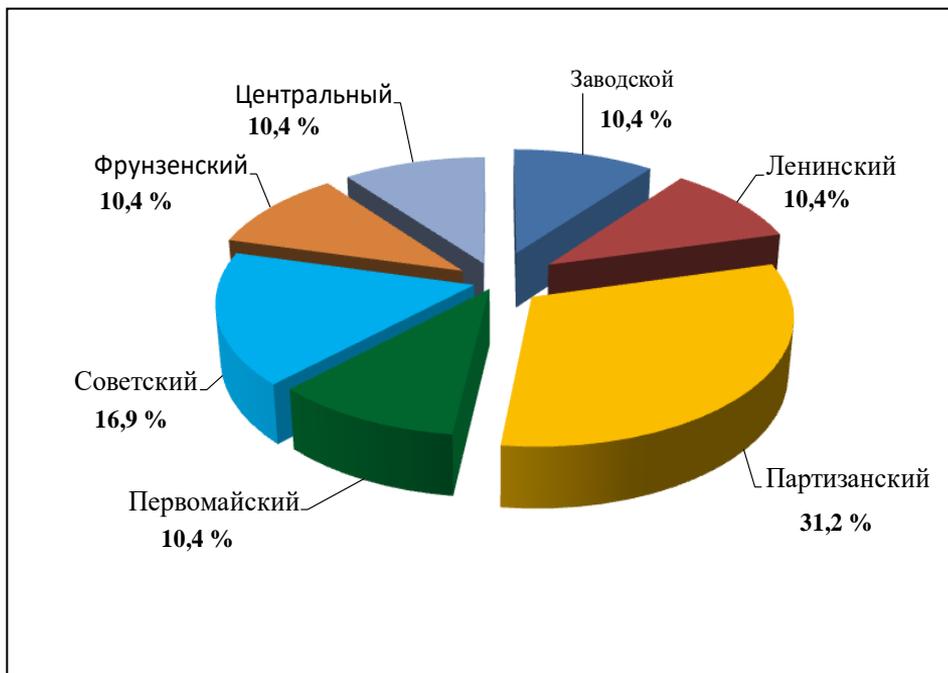
Частота обнаружения ПАУ (ниже ПКО, %):

- ✓ БаА: 0 – 50,0 %;
- ✓ БбФ: 3,3 – 90,0 %;
- ✓ ХР: 43,3 – 100 %;
- ✓ БП: 3,3 – 96,7 %.



РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТОБРАННЫХ ПРОБ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО РАЙОНАМ МИНСКА

Определение ПАУ проводилось согласно СТБ ИСО 16362-2006



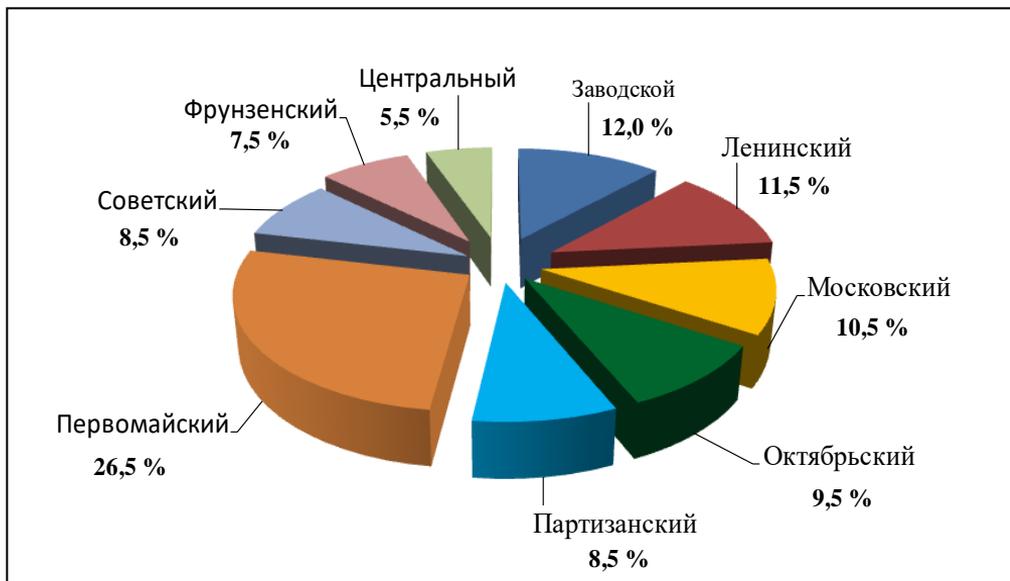
Исучаемые вещества:

- ✓ бенз(а)пирен (БП);
- ✓ бенз(б)флуорантен (БбФ);
- ✓ бенз(к)флуорантен (БкФ);
- ✓ индено(1,2,3-с,d)пирен (ИП);
- ✓ фенантрена (Фен);
- ✓ дибенз(а,h)антрацен (ДБаhА);
- ✓ нафталин (Наф);
- ✓ антрацен (АНТ);
- ✓ ацетонафтен (АНАФ);
- ✓ 2-метилнафталина (2-МНАФ);
- ✓ пирен (ПИР).



РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТОБРАННЫХ ПРОБ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ПО РАЙОНАМ МИНСКА

Определение ПАУ проводилось согласно СТБ ИСО 17993-2005



Исучаемые вещества:

- ✓ бенз(a)пирен (БП);
- ✓ бенз(b)флуорантен (БбФ);
- ✓ бенз(k)флуорантен (БкФ);
- ✓ индено(1,2,3-с,d)пирен (ИП);
- ✓ бенз(g,h,i)перилен (БghiП).

Частота обнаружения ПАУ (ниже ПО, %):

- ✓ БП, БбФ, БкФ, ИП, БghiП: 100 %.



ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОДХОДА

ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ПАУ

Наименование соединения	ТЭФ	МЭФ
Дибенз(а,һ)антрацен	5	0,29
Бенз(а)пирен	1	1
Бенз(а)антрацен	0,1	0,082
Бенз(б)флуорантен	0,1	0,25
Бенз(к)флуорантен	0,1	0,11
Индено(1,2,3-с,д)пирен	0,1	0,31
Антрацен	0,01	-
Бенз(ghi)перилен	0,01	0,19
Хризен	0,01	0,017
Аценафтен	0,001	-
Аценафтилен	0,001	-
Флуорантен	0,001	-
Флуорен	0,001	-
2-метилнафтален	0,001	-
Нафтален	0,001	-
Фенантрен	0,001	-
Пирен	0,001	-

$$ТЭ_{БП} = \sum_{i=1}^n C_i \times ТЭФ_i$$

$ТЭ_{БП}$ – токсический БП эквивалент (мкг/кг);
 C_i – концентрация конгенов ПАУ в атмосферном воздухе и питьевой воде (мкг/кг);
 $ТЭФ$ – токсический эквивалентный фактор для индивидуального ПАУ.

$$МЭ_{БП} = \sum_{i=1}^n C_i \times МЭФ_i$$

$МЭ_{БП}$ – мутагенный БП эквивалент (мкг/кг);
 C_i – концентрация конгенов ПАУ в атмосферном воздухе и питьевой воде (мкг/кг);
 $МЭФ$ – мутагенный эквивалентный фактор для индивидуального ПАУ.

МОДЕЛИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ



ПРОБ НИЖЕ ПО/ПКО

по рекомендациям FAO / WHO и EFSA

Вид оценки	Замещающие значения для незначимых результатов (мкг/кг)	
	для результатов ниже ПО	для результатов ниже ПКО
Нижняя граница	0	ПО
Средний уровень	ПО/2	(ПО+ПКО)/2
Верхняя граница	ПО	ПКО

по рекомендациям GEMS

Средний уровень
(мкг/кг):

||

⇐ ⇓

ПО/2 ПКО/2





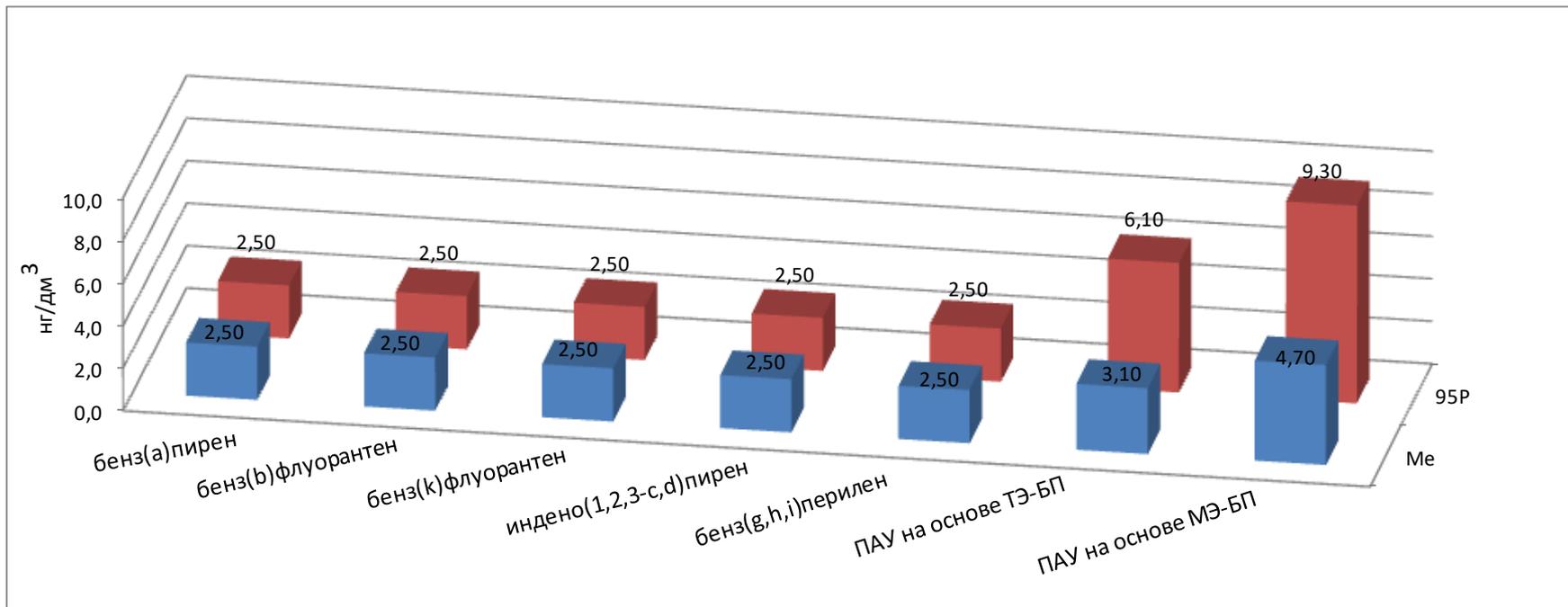
МЕДИАННЫЕ УРОВНИ КОНТАМИНАЦИИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ(МКГ/КГ)

Наименование контаминанта	Вид пищевой продукции			
	Молочные продукты	Хлебобулочные изделия	Кофе (в готовом напитке)	Чай (в готовом напитке)
Бенз(а)антрацен	0,13 [0,0065; 0,22]	0,55 [0,12; 0,60]	0,0065* [0,0065; 0,19]	0,67 [0,17; 2,87]
Бенз(б)флуорантен	0,065* [0,065; 0,065]	0,065* [0,065; 0,065]	0,065* [0,065; 0,065]	0,28 [0,065; 1,65]
Хризен	0,065* [0,065; 0,065]	1,05 [0,065; 2,50]	0,065* [0,065; 0,065]	2,86 [0,63; 6,12]
Бенз(а)пирен	0,0065* [0,0065; 0,0065]	0,05 [0,0065; 0,20]	0,0065* [0,0065; 0,0065]	0,42 [0,08; 1,64]
4ПАУ	0,35 [0,14; 0,78]	1,40 [0,75; 3,36]	0,21* [0,14; 0,36]	4,27 [0,96; 12,79]
ПАУ на основе ТЭ-БП	0,04 [0,01; 0,07]	0,14 [0,04; 0,28]	0,02 [0,01; 0,04]	0,55 [0,10; 2,14]
ПАУ на основе МЭ-БП	0,04 [0,02; 0,10]	0,14 [0,05; 0,29]	0,03 [0,02; 0,04]	0,81 [0,12; 2,39]

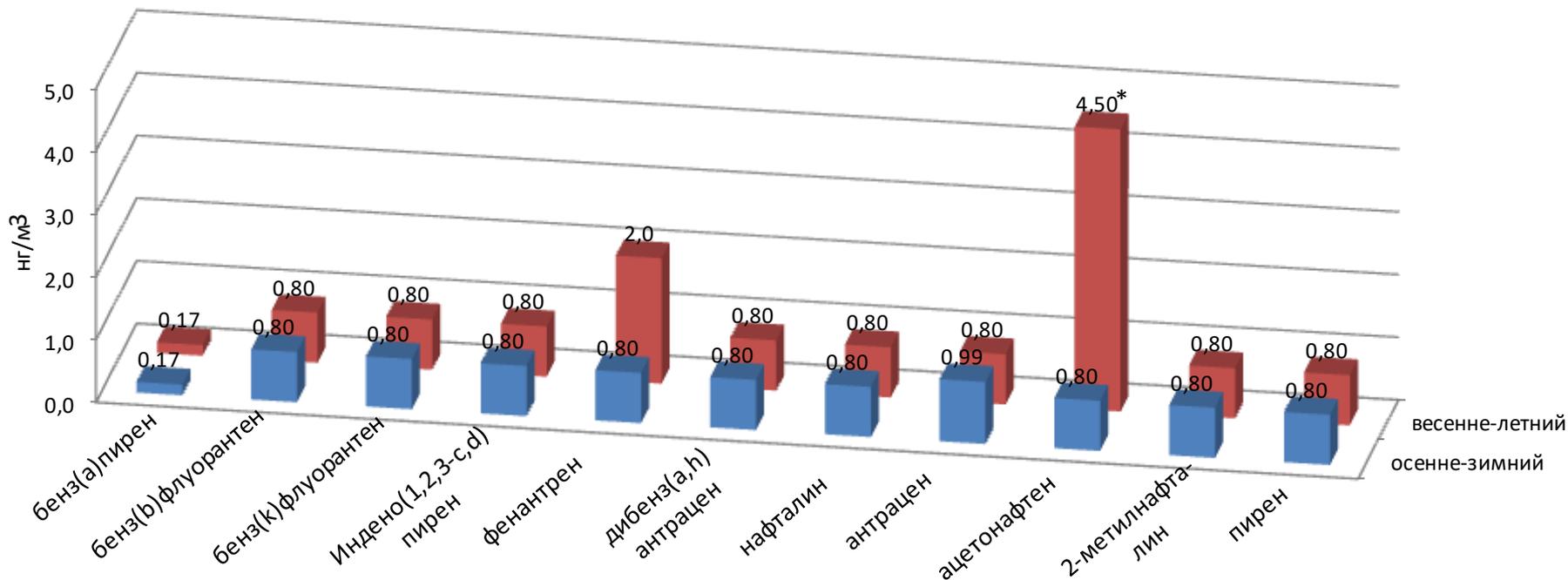
* - достоверность различий между верхней границей (ВГ), нижней границей (НГ) по отношению к среднему уровню (СУ) при $p < 0,05$ по U-критерию Манна-Уитни.



ХАРАКТЕРИСТИКА УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ПАУ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ Г. МИНСКА (ПО МЕДИАНЕ И 95-ОМУ ПРОЦЕНТИЛУ)

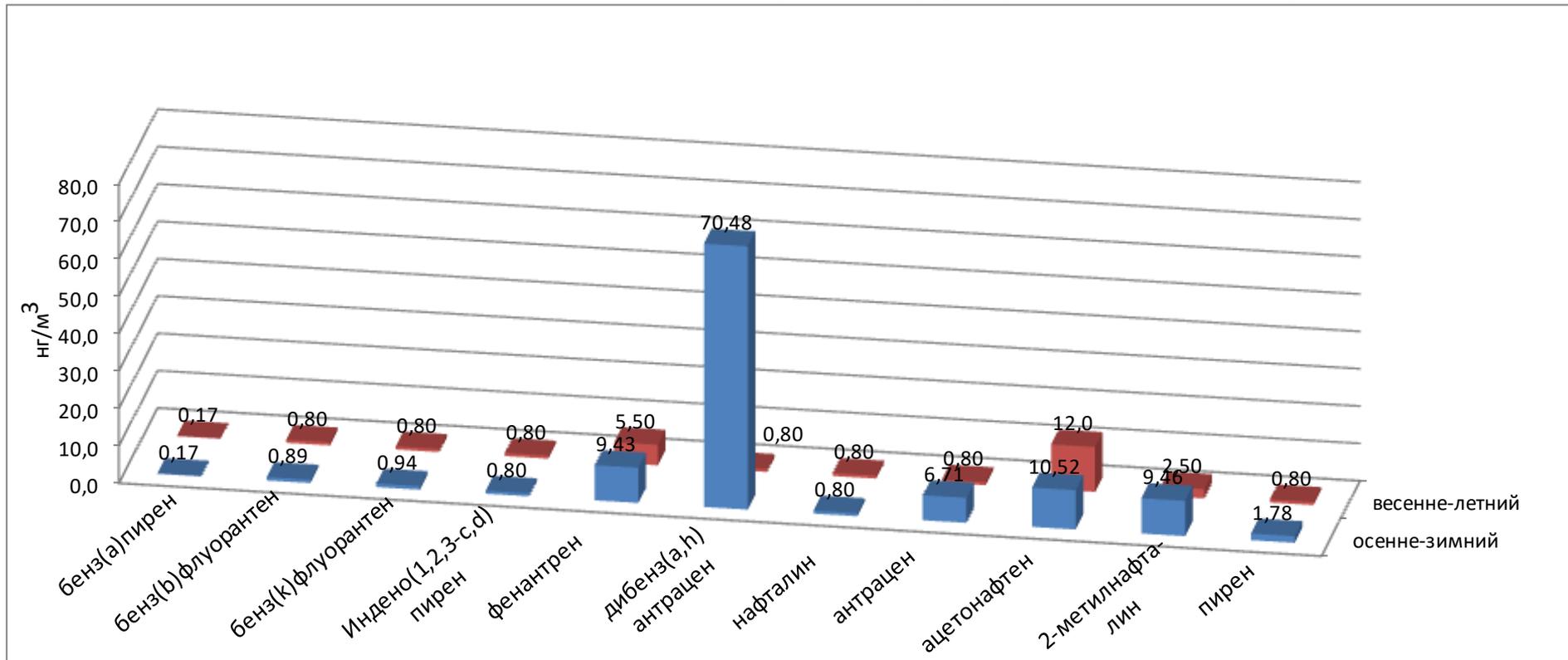


ХАРАКТЕРИСТИКА УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ПАУ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ Г. МИНСКА (ПО МЕДИАНЕ)



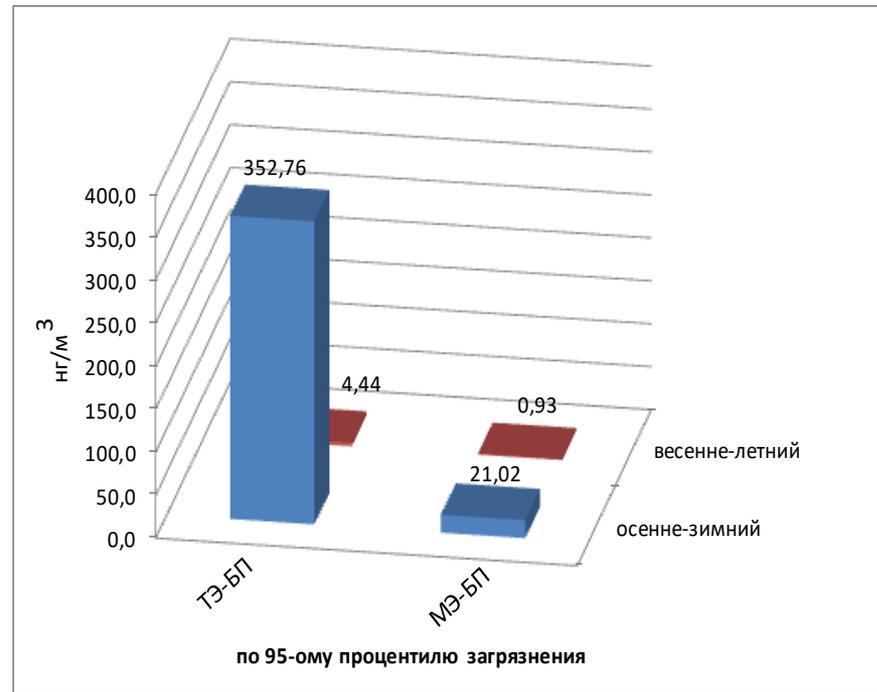
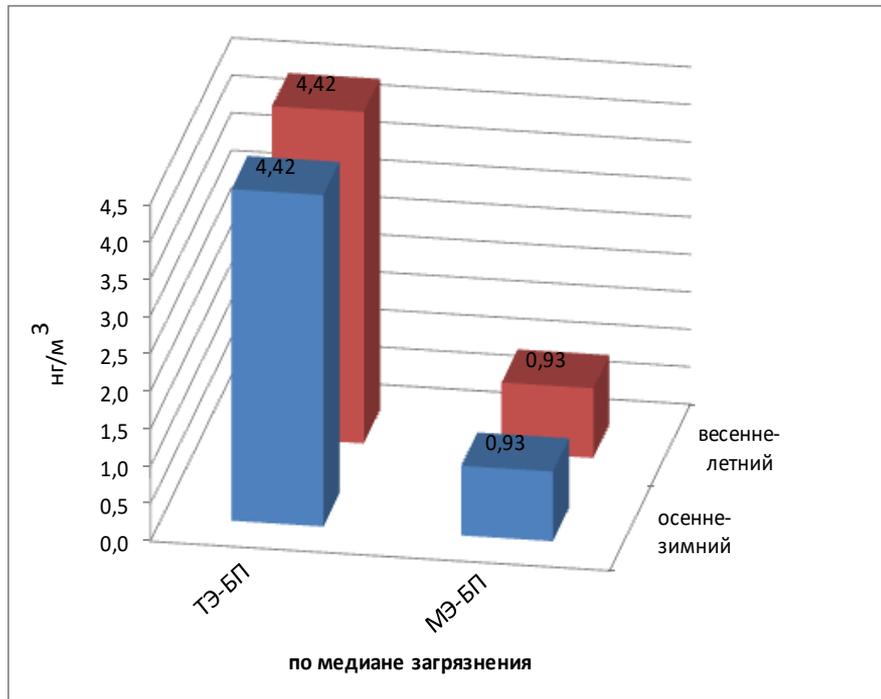


СОДЕРЖАНИЕ ПАУ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЕРИОДА ГОДА (ПО 95-ПРОЦЕНТИЛЮ)

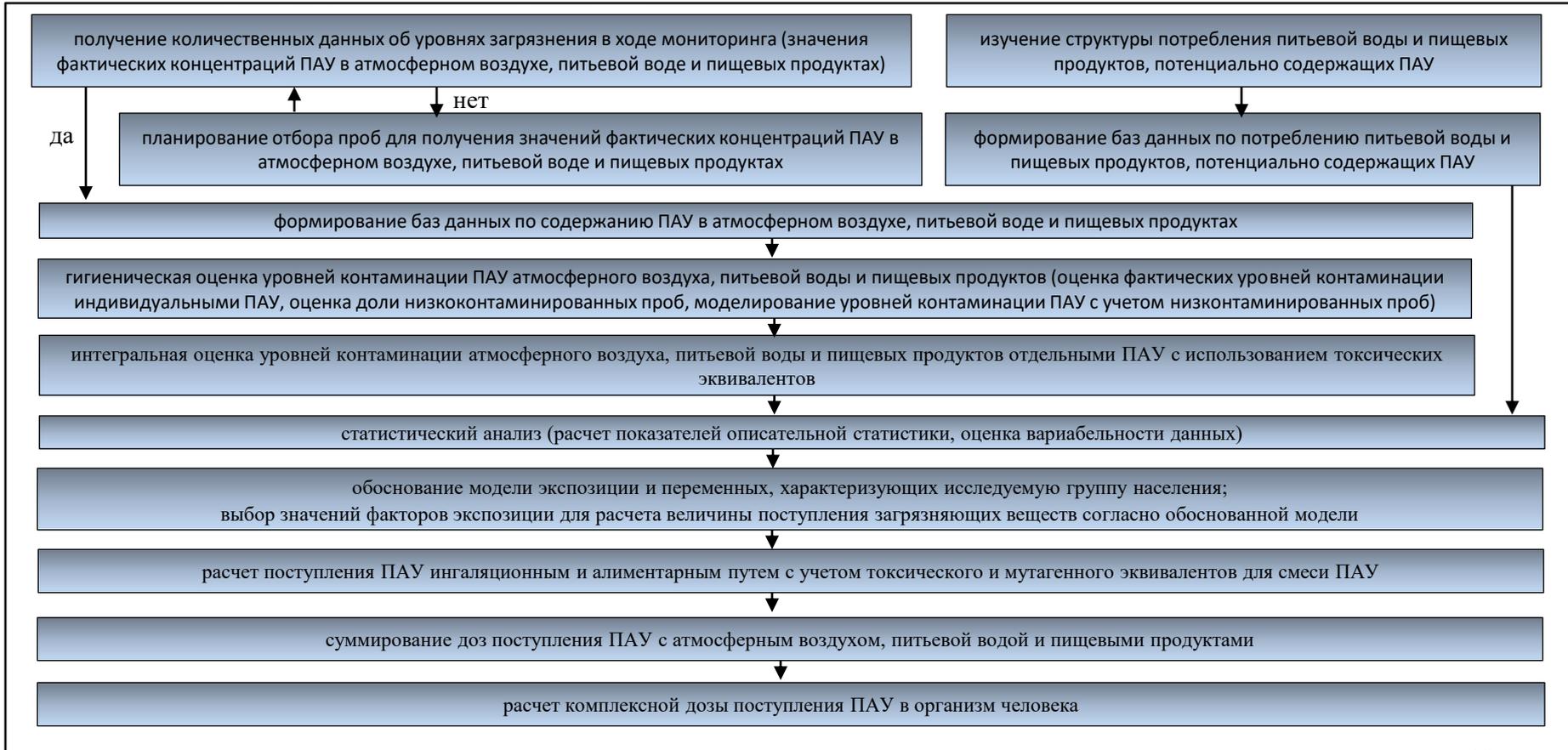


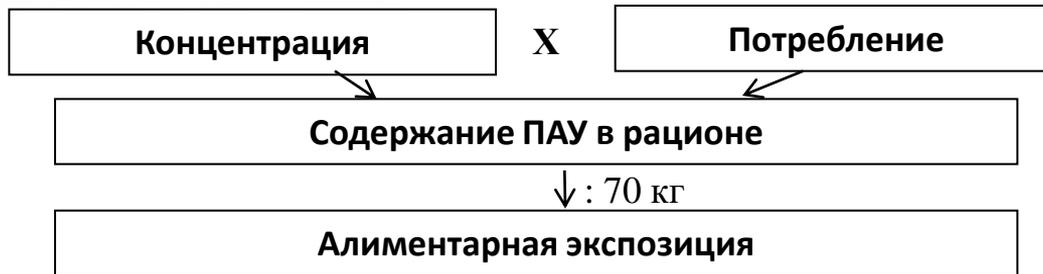


СОДЕРЖАНИЕ ПАУ НА ОСНОВЕ ТЭ-БП И МЭ-БП В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЕРИОДА ГОДА



АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПОЗИЦИИ ПАУ С УЧЕТОМ АЛИМЕНТАРНОГО И ИНГАЛЯЦИОННОГО ПОСТУПЛЕНИЯ



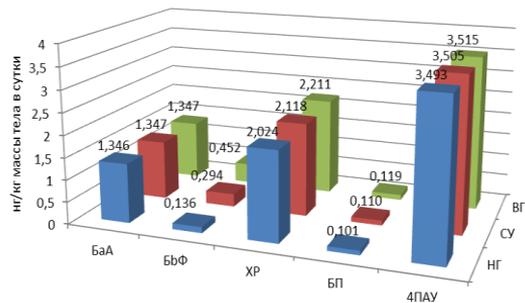


Сценарий	Модель (сценарий) экспозиции	
	Содержание БаА, БвФ, ХР, БП, 4ПАУ, ПАУ с учетом ТЭ-БП, МЭ-БП в отдельных видах пищевой продукции	Потребление
1	среднее (медиана) содержания в пищевых продуктах	«хроническое», средний уровень (медиана) потребления всей популяцией в целом
2	среднее (медиана) содержания в пищевых продуктах	«острое», средний уровень (медиана) потребления только потребителями
3	среднее (медиана) содержания в пищевых продуктах	«хроническое» высокое потребление (на уровне 95P) для пищевых продуктов, вносящих наибольший вклад в алиментарную нагрузку, «хроническое» потребление пищевых продуктов на уровне средних значений (медианы потребления) для всей популяции в целом
4	95P содержания в пищевых продуктах, вносящих наибольший вклад в алиментарную нагрузку и среднее (медиана) содержания во всех остальных пищевых продуктах	«хроническое», средний уровень (медиана) потребления пищевых продуктов, вносящих наибольший вклад в алиментарную нагрузку и для всей популяции в целом
5	95P содержания в пищевых продуктах, вносящих наибольший вклад в алиментарную нагрузку и среднее (медиана) содержания во всех остальных пищевых продуктах	«хроническое» высокое потребление (на уровне 95P) для пищевых продуктов, вносящих наибольший вклад в алиментарную нагрузку, «хроническое» потребление пищевых продуктов на уровне средних значений (медианы потребления) для всей популяции в целом

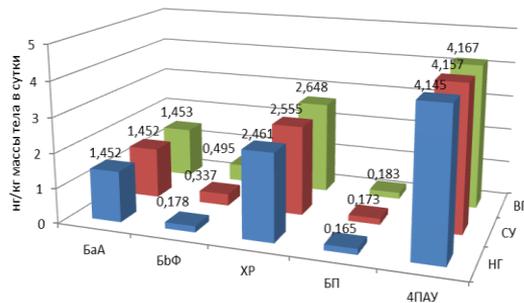
ПОСТУПЛЕНИЕ ПАУ С ПИЩЕВЫМИ ПРОДУКТАМИ



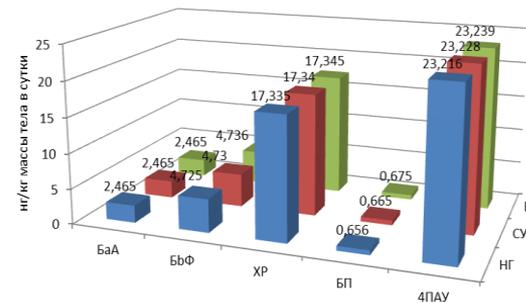
Модель 1 ($Me_{\text{конт}} \times Me_{\text{потр}}$)



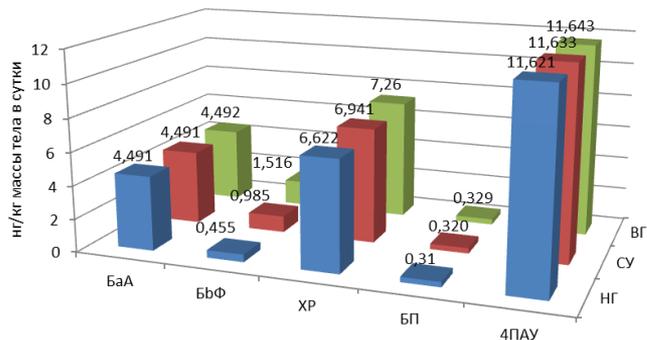
Модель 2 ($Me_{\text{конт}} \times Me_{\text{потр}}$ (только потребители))



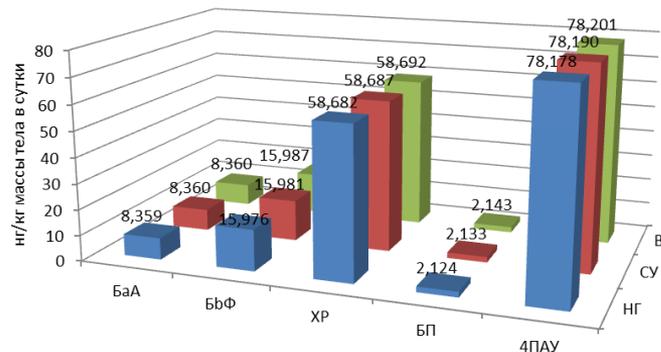
Модель 3 ($Me_{\text{конт}} \times 95P_{\text{потр}}$)



Модель 4 ($95P_{\text{конт}} \times Me_{\text{потр}}$)



Модель 5 ($95P_{\text{конт}} \times 95P_{\text{потр}}$)





При оценке ингаляционной экспозиции ПАУ были использованы средние суточные дозы, усредненные с учетом ожидаемой средней продолжительности жизни человека:

модель расчета доз для ПАУ, обладающих канцерогенными свойствами

Пожизненная средняя суточная доза рассматривается как средневзвешенная доза для трех периодов жизни. В знаменателе используется среднее время – период, на который усредняется общая доза. Для канцерогенных эффектов среднее время учитывает продолжительность жизни человека, невзирая на длительность воздействия. Эта допускает, что способ воздействия остается неизменным в течение всего хронического воздействия.

Источниками неопределенности при оценке экспозиции служили: модели экспозиции, исходные предположения и вводимые параметры, используемые для расчета концентраций в точке воздействия; значение факторов экспозиции; предположения о частоте и продолжительности различных видов деятельности населения; выбранные значения времени осреднения.

$$LADD = (C \times IR \times ED \times EF) / (BW \times AT \times 365)$$

где LADD – средняя суточная доза в течение жизни, мг/(кг×сут);

C – среднегодовая концентрация вещества в атмосферном воздухе, мг/м³;

IR – скорость поступления воздействующей среды (среднесуточный объем вдыхаемого воздуха м³/сут);

ED – продолжительность воздействия, лет;

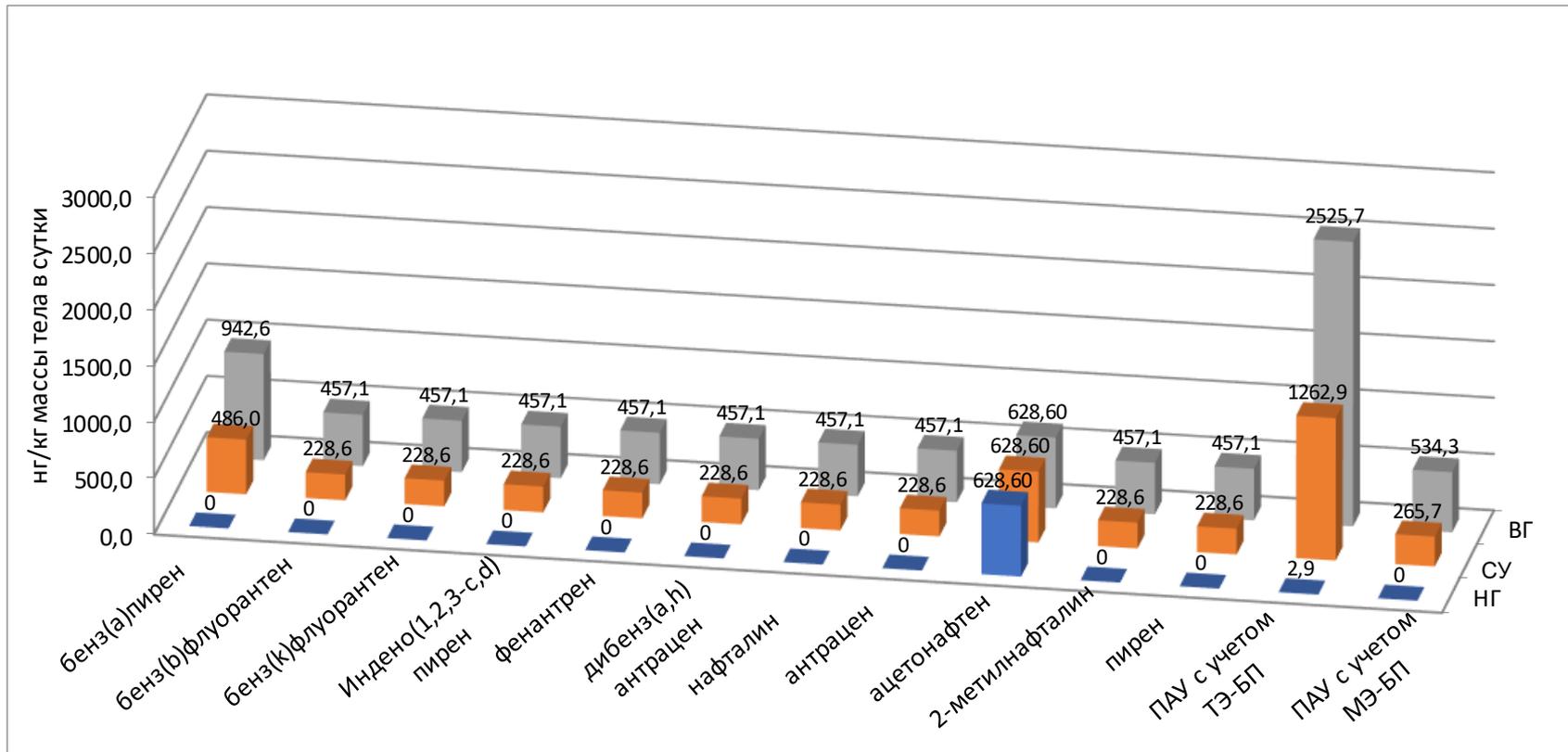
EF – частота воздействия, дней/год;

BW – масса тела человека, кг;

AT – период осреднения экспозиции, число лет жизни человека (для канцерогенов AT = 70 лет);

365 – число дней в году.

ИНГАЛЯЦИОННАЯ ЭКСПОЗИЦИЯ ПАУ





При расчете потенциальных доз ориентировались на оценку обоснованного максимального воздействия:

**модель расчета доз для ПАУ, обладающих
канцерогенными свойствами**

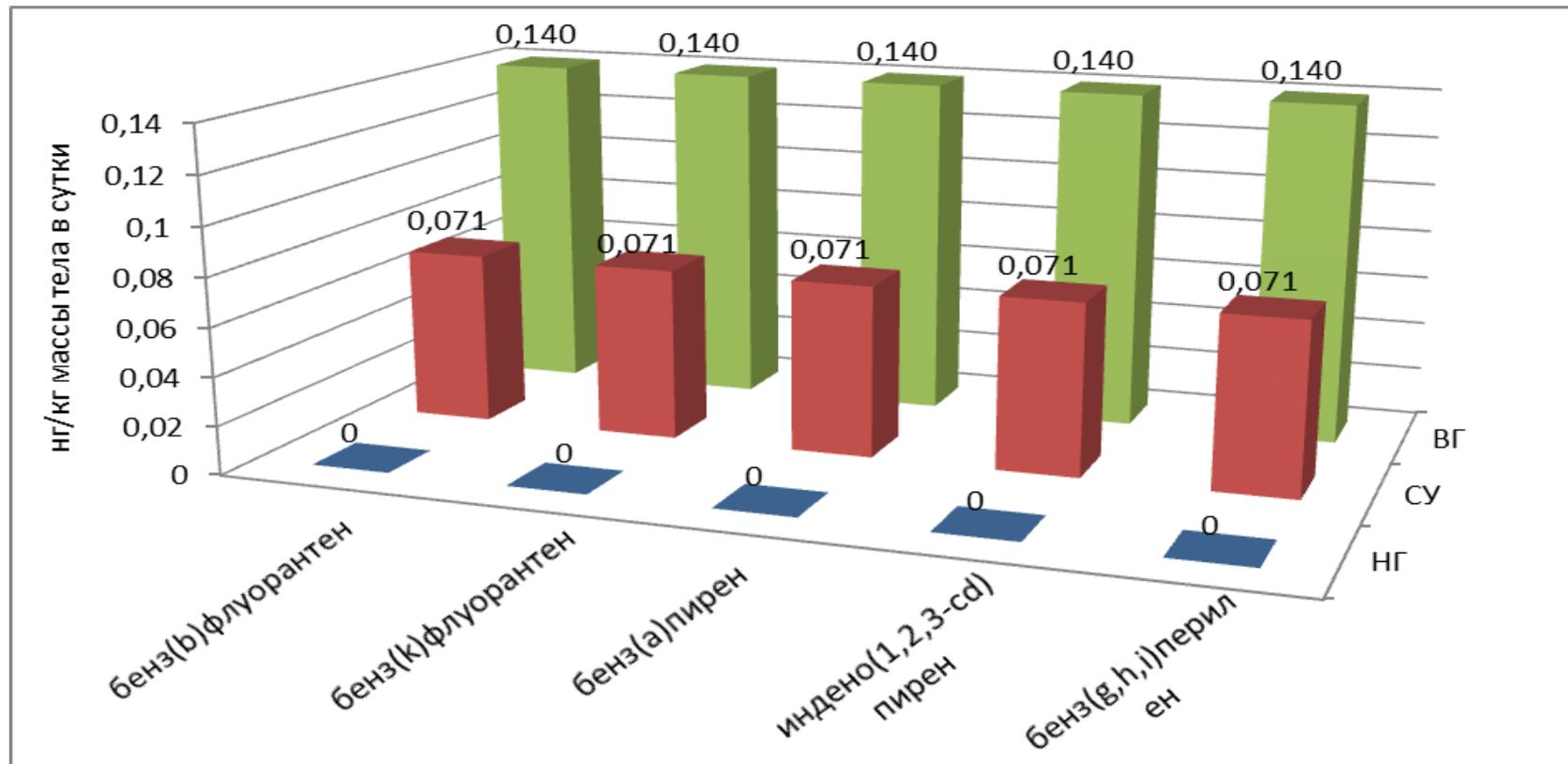
В качестве меры концентрации в точке воздействия для условий хронических экспозиций был использован 95 % верхний доверительный интервал средней арифметической величины за весь период усреднения концентрации. При ориентации на среднюю экспозицию в качестве меры интенсивности воздействия были использованы средние величины концентраций вещества в питьевой воде.

*Анализ **неопределенностей** на этапе оценки экспозиции включал: анализ источников неопределенностей сценария экспозиции (ошибки описания, агрегации, измерений), пространственной, временной, межиндивидуальной вариабельности.*

$$LADD = (C \times IR \times ED \times EF) / (BW \times AT \times 365)$$

где LADD (I) – среднесуточная доза в течение жизни (величина поступления), мг/кг×сут;
C – концентрация вещества в воде, мг/л;
IR – скорость поступления воздействующей среды (среднесуточный объем водопотребления, л/сут);
ED – продолжительность воздействия, лет;
EF – частота воздействия, дней/год;
BW – масса тела человека, кг;
AT – период осреднения экспозиции, лет;
365 – число дней в году.

ПОСТУПЛЕНИЕ ПАУ С ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ





КОМПЛЕКСНАЯ ДОЗА ПОСТУПЛЕНИЯ ПАУ (НГ/КГ М.Т./СУТКИ)

Наименование контаминанта		Вид изучаемого объекта			Комплексная доза
		Пищевые продукты	Питьевая вода	Атмосферный воздух	
ТЭ-БП	НГ	0,336 – 4,678	0	2,9	3,236 – 7,578
	СУ	0,363 – 4,679	0,089	1262,9	1262,452 – 1267,668
	ВГ	0,364 – 4,681	0,180	2525,7	1526,244 – 2530,561
МЭ-БП	НГ	0,338 – 5,460	0	0	0,338 – 5,460
	СУ	0,364 – 5,486	0,190	265,7	266,254 – 271,376
	ВГ	0,391 – 5,513	0,270	534,3	534,961 – 540,083



ВЫВОДЫ

1. Превышений гигиенических нормативов, утвержденных в Республике Беларусь и Европейском союзе во всех исследованных образцах пищевой продукции, атмосферного воздуха и питьевой воды не установлено.
2. Комплексная доза поступления ПАУ на основе ТЭ-БП варьирует от 3,529 до 2541,686 нг/кг м.т./сутки, ПАУ с учетом МЭ-БП – от 0,725 до 555,466 нг/кг м.т./сутки.
3. Применение комплексной оценки поступления ПАУ с питьевой водой, атмосферным воздухом и пищевой продукцией позволит обосновывать систему мер, направленных на снижение уровней контаминации ПАУ отдельных объектов среды обитания и минимизацию риска воздействия данных контаминантов на организм человека.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!