

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТОКСИКОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ БАРОКАМЕР

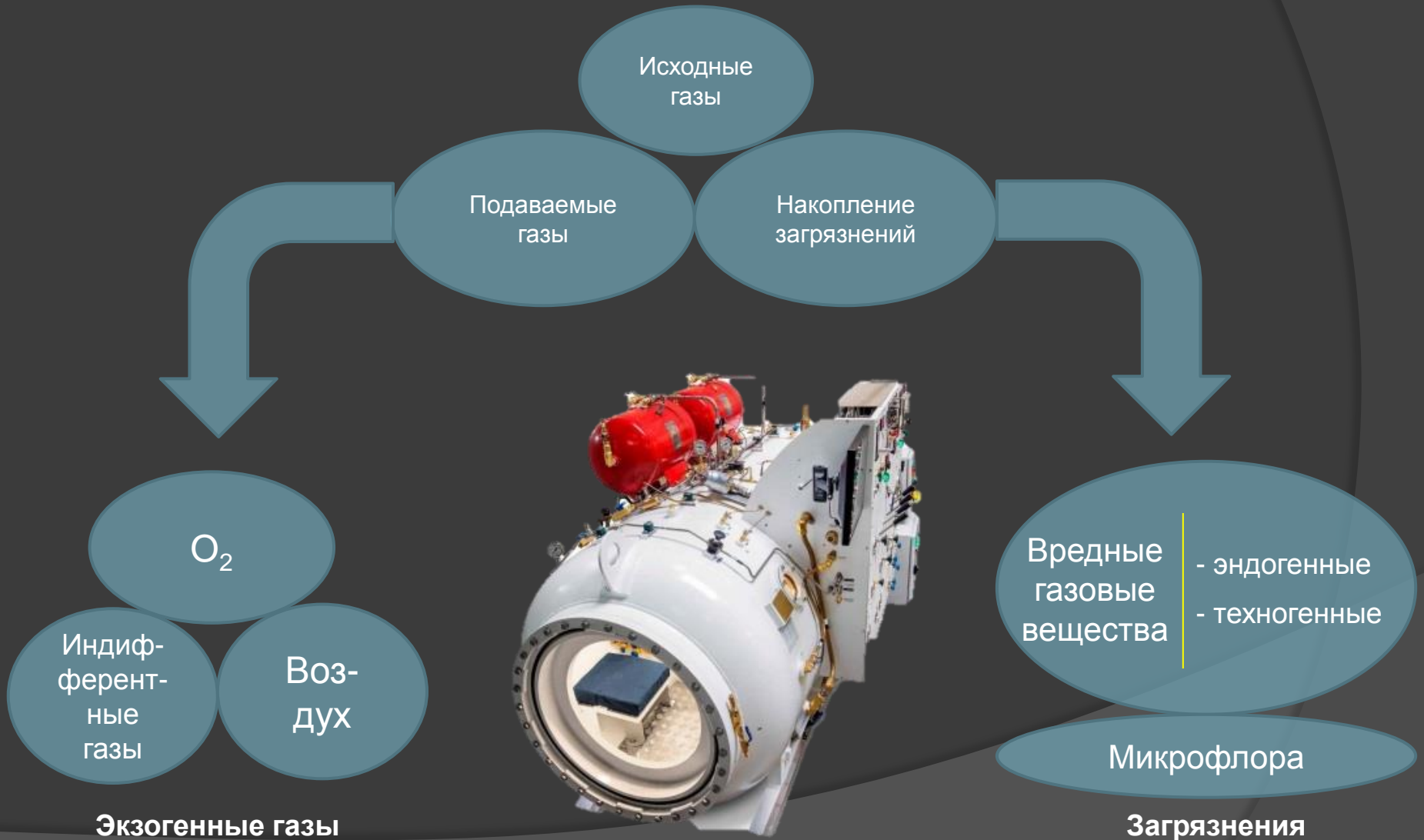
Соколов Геннадий Михайлович

старший научный сотрудник ГНЦ РФ – ИМБП РАН

Логунов Алексей Тимофеевич

Генеральный директор – главный конструктор
ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН»

Формирование газового состава замкнутых герметичных объёмов



Важность поддержания оптимальных условий пребывания в герметичном объёме и обеспечения безопасности



Выделение ВГВ в герметичном объёме

Биологические

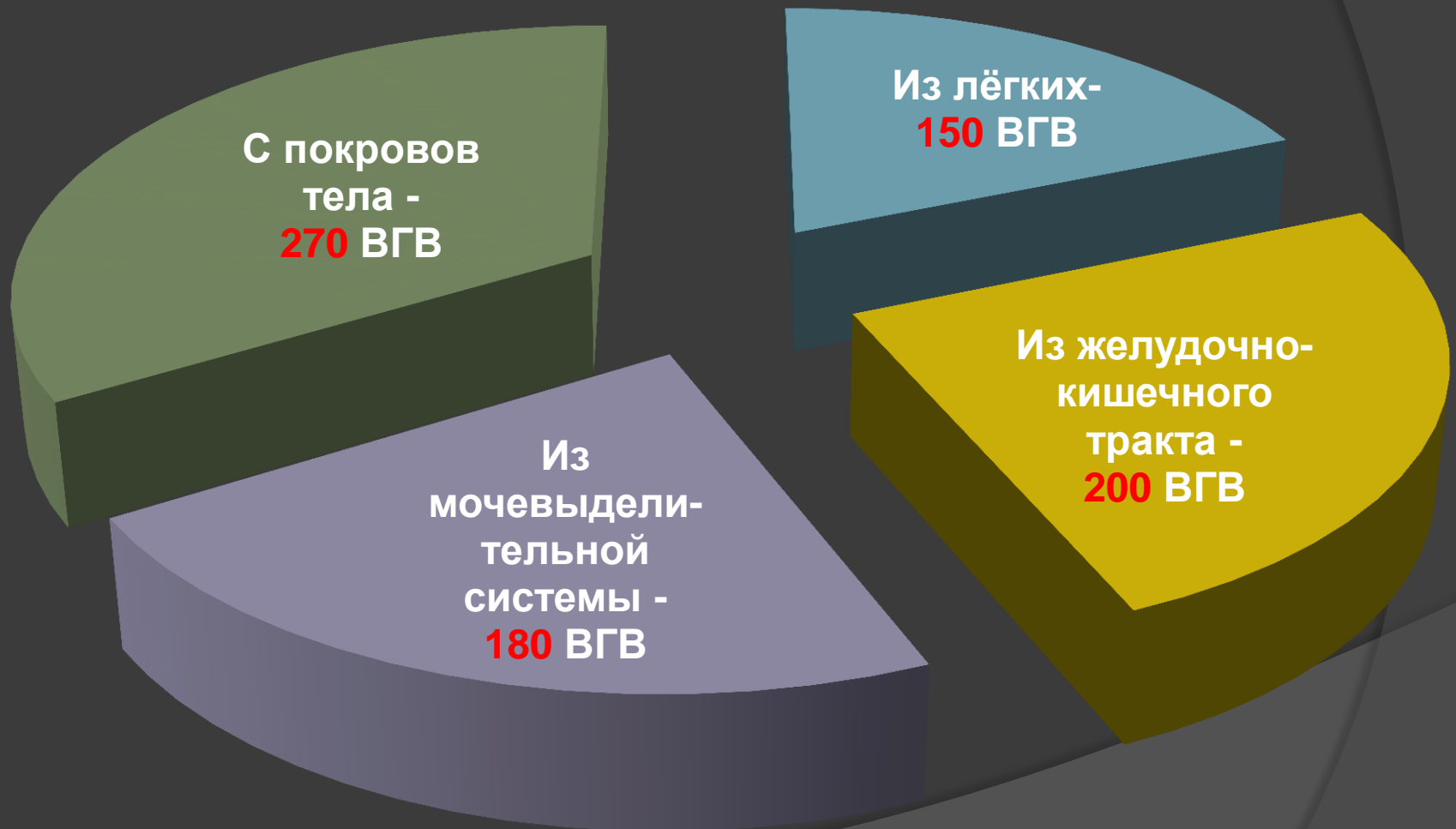
- Антропогенные (эндогенные)
- Из микрофлоры

Техногенные

- Конструктивные материалы
- Технологические процессы



Выделение эндогенных ВГВ в герметичном объёме



Выделение ВГВ с выдыхаемым воздухом



**Примерный состав
выдыхаемого воздуха:**
78 % N₂, 16,5 % O₂, 4,5 % CO₂, 1 % Ar

А также

СО, ацетальдегид, формальдегид, ацетон, метилэтилкетон, пропионовый альдегид, этанол, метанол, бутанол, пропанол, изопропанол, муравьиная, уксусная, пропионовая, изовалериановая и валериановая кислоты, уксусный альдегид, аммиак, диметиламины, метан, этан, этилен, пропан, гексан и другие вещества

Выделение ВГВ через желудочно-кишечный тракт и мочевыделительную систему



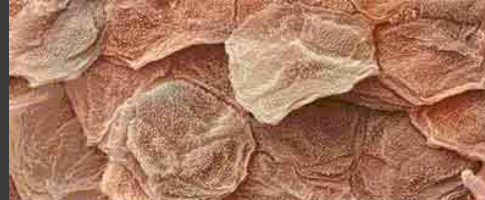
**Желудочно-кишечный тракт
и мочевыделительная система
ВЫДЕЛЯЮТ:**

фекалии, кишечные газы и мочу

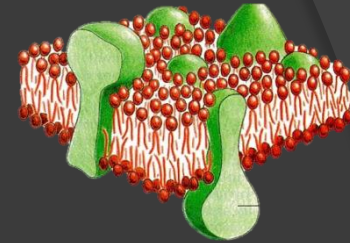
В газовую среду выходят:

**индол, скатол, O_2 , CO_2 , водород,
сероводород, метан и другие
углеводороды,
азот, оксиды азота,
алифатические кислоты, фенолы
и различные меркаптаны**

Выделение ВГВ с покровов тела



Ороговевшие твёрдые частицы кожи



Протеины и липиды

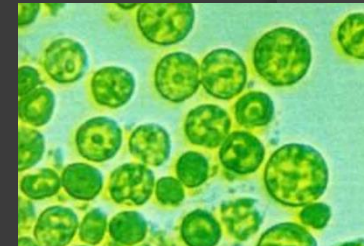
Микрофлора:



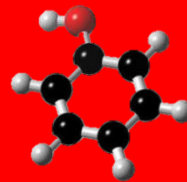
Бактерии



Грибки



Водоросли



Фенолы



Аммиак

Диссоциация аммиака
в нашатырный спирт
в водной среде:
 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

Влияние условий на выделение эндогенных вредных газообразных веществ

Количество выделяемых из организма ВГВ зависит от:

- индивидуальных особенностей обмена веществ;
 - функциональных и морфологических изменений органов и систем;
 - пищевого рациона;
 - суточных изменений обмена веществ;
 - физической нагрузки;
 - температуры, влажности и давления газовой среды.
-
- **Периодически отмечаются «динамические всплески» увеличения выделения из организма ВГВ, связанные с внутренними и внешними причинами.**

Расчётное среднесуточное выделение эндогенных вредных веществ

ГОСТ Р 50804-95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования»

ВГВ	Среднесуточное выделение, мг/сут	Предельно допустимая концентрация, мг/м³
Аммиак и аминосоединения	6,0 ± 0,6	0,8
Оксид углерода	113,0 ± 16,6	5,0
Углеводороды (по СН ₄)	15,3 ± 0,8	35,0
Жирные кислоты (уксусная кислота)	6,3 ± 0,7	10,0
Альдегиды*	1,4 ± 0,1	1,0
Кетоны (ацетон)	5,7 ± 3,4	0,5
Ацетальдегид	0,8 ± 0,1	5,0
Метанол*	1,52 ± 0,7	0,2
Этанол*	8,45 ± 4,0	10,0
Метилэтилкетон	0,96 ± 0,16	0,25
Диметиламин	0,8 ± 0,1	1,0

Примечание: ПДК ВГВ, помеченных звездочкой (*), взяты из ГОСТ Р 50804-95 для 360-суточных полетов

При нахождении 1 человека в течение 12 часов в герметичном объёме 6 м³ концентрация увеличивается:

- Оксида углерода – в 5 раз
- Аммиака – в 5 раз
- Ацетона – в 10 раз
- Альдегидов – в 30 раз

Без очистки газовой среды барокамер

нарастание концентрации

ВГВ происходит линейно

и, следовательно, в органах и тканях

линейно растёт поглощение и

растворение газов,

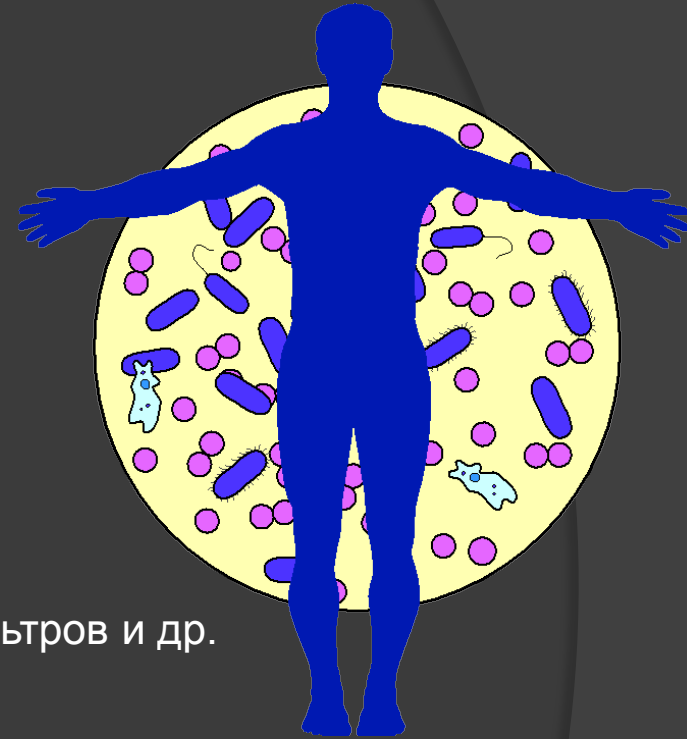
что оказывает

вредное воздействие на организм

Микрофлора в барокамере

Попадание микрофлоры в барокамеру (БК):

- Исходное наличие в БК
 - в газовой среде
 - на поверхностях и в жидкостях;
- Занос в БК
 - с телом человека
 - с одеждой и постельными принадлежностями
 - с обувью
 - с личными вещами, приборами и др.;
 - при шлюзовании продуктов, медикаментов, фильтров и др.
- Выделение
 - из кишечника (главным образом)
 - с поверхностей тела;
- Размножение в газовой среде и на поверхностях БК
 - в жидкостях:
 - конденсат
 - подпайольное пространство
 - умывальник, унитаз и др.;
 - в ёмкостях для хранения кала и мочи до вышлюзовывания.



Выделение ВГВ из конструктивных материалов и при технологических процессах



Конструктивные материалы

пластики, смазочные и изоляционные материалы, краски, клеи, остатки растворителей после обезжиривающих обработок, предметы туалета

Выделения из конструктивных материалов (около 70 соединений)

СО, Эпихлоргидрин, Цианистый и фтористый водород, Акрилонитрил и др.



Технологические процессы

работа компрессоров, фильтров и электрооборудования, ультрафиолетовое облучение, приборки, процедуры личной гигиены и др.

Выделения при технологических процессах

Пары масел, Оксиды азота, СО, Перекись водорода, Озон и др.

Действие на организм основных вредных газообразных веществ

ГОСТ 12.1.007-76 «Классификация вредных веществ и общие требования безопасности»

Классы опасности вредных веществ

- 1-й – вещества чрезвычайно опасные (ПДК менее $0,1 \text{ мг/м}^3$)
- 2-й – вещества высокоопасные (ПДК $0,1 - 10 \text{ мг/м}^3$)
- 3-й – вещества умеренно опасные (ПДК $1,1 - 10 \text{ мг/м}^3$)
- 4-й – вещества малоопасные (ПДК более 10 мг/м^3)

По характеру воздействия

- Общетоксические вещества
- Раздражающие вещества
- Сенсibiliзирующие вещества
- Канцерогенные вещества
- Влияющие на репродуктивную функцию
(на развитие плода и врождённые пороки)
- Мутагенные вещества (отдалённые последствия для индивидуума и последующих поколений)



- Пожаро- и взрывоопасные

Кумулятивный эффект (усиление действия) ВГВ возникает при следующих их сочетаниях:

1. С одинаковой спецификой клинических проявлений

- вещества раздражающего типа действия
- аллергены
- вещества наркотического типа действия
- фиброгенные пыли
- канцерогенные вещества

2. Близкие по химическому строению:

- хлорированные углеводороды
- бромированные углеводороды
- различные спирты
- различные щелочи
- ароматические углеводороды
- аминокислоты
- нитросоединения и т.п.

3. Изученные в эксперименте

- оксиды азота и оксид углерода;
- аминокислоты и оксид углерода;
- нитросоединения и оксид углерода.

Суммарный показатель токсичности газовой среды:
$$C_1 / \text{ПДК}_1 + C_2 / \text{ПДК}_2 + \dots + C_n / \text{ПДК}_n \leq 1$$

где С – фактическая концентрация ВГВ

Предельно допустимые концентрации вредных газообразных веществ

Химические факторы	ПДК вредных веществ для барокамер, мг/м ³ , ГОСТ Р 52264-2004		ПДК вредных веществ кабин космических кораблей для разных экспозиций мг/м ³ , ГОСТ Р 50804-95		
	ДП	КП	15 дней	30 дней	360 дней
Оксид углерода	5,0	5,0			
Аммиак	0,8	0,8			
Ацетон	5,0	5,0			
Предельные углеводороды (в пересчете на декан)	35,0	35,0			
Органические вещества (в основном углеводороды): в пересчете на углерод по окисляемости	50	50			
	65	65			
Сероводород	0,8	0,8			
Оксиды азота	0,1	0,1			
Жирные кислоты (уксусная кислота)			10,0	3,0	0,5
Альдегиды			1,0	1,0	1,0
Ацетальдегид					1,0
Метанол					0,2
Этанол					10,0
Гексановая (капроновая) кислота			10,0	6,3	2,9
Бутановая (Н-масляная) кислота			20,0	10,8	4,0
Пропиленовая (акриловая) кислота			40,0	18,0	5,6
Этиленгликоль			100,0		1,0
Формальдегид					0,05
Кетоны					0,5

Расчетное время достижения ПДК основных вредных веществ в газовой среде барокамер, не имеющих очистки от этих веществ, в зависимости от объема барокамер и количества человек

№ п/п	Наименование вредных веществ	Средне-суточное выделение, мг/сут	ПДК, мг/м ³	Время достижения ПДК (часы) в зависимости от объема отсеков барокамер и числа людей									
				1,7 м ³ в РКУМу		2,15 м ³ в БДК-120Т		2,98 м ³ в РБК-1400		13,5 м ³ в НАУХ-Starcom 1800/11		3,38 + 3,62 м ³ в КДВ-1600	
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
				Кол-во человек:									
1	Оксид углерода	113 ± 16,6	5,0	1,8	0,9	2,3	1,1	3,2	1,6	14,3	7,2	нет	нет
2	Ацетон	5,7 ± 3,4	0,5	3,6	1,8	4,5	2,3	6,3	3,1	28,4	14,2	нет	нет
3	Метанол*	1,52 ± 0,7	0,2	5,4	2,7	6,8	3,4	9,4	4,7	42,6	21,3	нет	нет
4	Аммиак и аминосоединения	6 ± 0,6	0,8	5,4	2,7	6,9	3,4	9,5	4,8	43,2	21,6	нет	нет
5	Альдегиды*	1,4 ± 0,1	1,0	29,1	14,6	36,9	18,4	51,1	25,5	231,4	115,7	нет	нет
6	Этанол*	8,45 ± 4,0	10,0	48,3	24,1	61,1	30,5	84,6	42,3	383,4	191,7	нет	нет
7	Уксусная кислота	6,3 ± 0,7	10,0	64,8	32,4	81,9	41,0	113,5	56,8	514,3	257,1	нет	нет
8	Углеводороды	15,3 ± 0,8	35,0	93,3	46,7	118,0	59,0	163,6	81,8	741,2	370,6	нет	нет
9	Ацетальдегид	0,8 ± 0,1	5,0	255,0	127,5	322,5	161,3	447,0	223,5	2025,0	1012,5	нет	нет

Примечание: 1. КДВ-1600 барокомплекса «Спаситель» производства ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН» имеет системы жизнеобеспечения (СЖО), рассчитанные на длительное пребывание человека под давлением.
2. ПДК ВГВ, помеченных звездочкой (*), взяты из ГОСТ Р 50804-95 для 360-суточных полетов

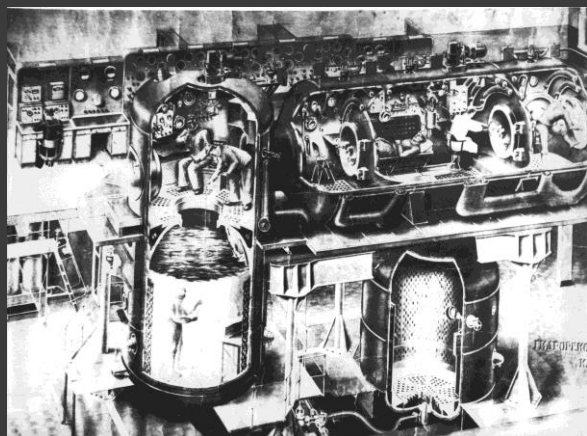
Методы удаления CO₂ и вредных газообразных веществ в барокамерах

<ul style="list-style-type: none">• Растворение ВГВ в конденсате	<p>Полярные соединения (сероводород, меркаптаны, кислоты, аммиак, амины, альдегиды, спирты) растворяются во влажном воздухе барокамеры и в конденсате, после чего конденсат удаляется из камеры</p>
<ul style="list-style-type: none">• Адсорбции и абсорбция	<p>CO₂ поглощается химическим поглотителем известковым. Водонерастворимые примеси (углеводороды и ароматические неполярные соединения) устраняют фильтры с активированным углем. Для дезодорации, удаления аммиака и аминов может также применяться купромитовая приставка, в которой активированный уголь пропитывается серноокислой медью</p>
<ul style="list-style-type: none">• Окисление СО	<p>Единственный способ справиться с СО – окислить на катализаторе до CO₂, который затем удаляется. Окисление СО до CO₂ может проводиться купромитом в сочетании с газоподогревателем.</p> <p>В барокамерах для окисления СО обычно применяют высокотемпературные катализаторы (платину или палладий) – отечественный катализатор АК-62</p>

Полноценное удаление ВГВ возможно только при использовании системы очистки газовой среды. Вентиляция может лишь уменьшить их концентрацию

Экспериментальные барокомплексы с полноценной очисткой газовой среды 40 ГНИИ МО и ЮО ИО АН

Барокомплексы 40 ГНИИ МО

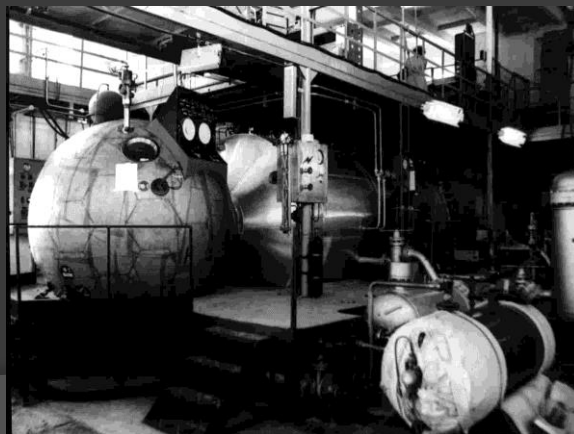


300-метровый барокомплекс ГРК-30
(левая часть для ДП не использовалась)



500-метровый барокомплекс ГБК-500

450-метровый барокомплекс ГКК-ДП ("Кролик") ЮО ИО АН им П.П. Ширшова (Геленджик)



Экспериментальные барокомплексы с полноценной очисткой газовой среды ГНЦ РФ – ИМБП РАН и ЗАО «СКБ при ИМБП РАН»

250-метровый барокомплекс ГВК-250 ГНЦ РФ - ИМБП



100-метровый барокомплекс ПДК-2У - прототип барокомплекса "Спаситель" ЗАО "СКБ ЭО при ИМБП РАН"



Заключение

1. По мере пребывания человека в барокамере при отсутствии очистки газовой среды происходит загрязнение атмосферы, в основном антропогенное (эндогенное) – за счёт выделений вредных газообразных веществ (ВГВ) от человека, и роста микрофлоры в жидкостях барокамеры. Кроме того, происходят техногенные загрязнения от конструктивных материалов и технологических процессов.
2. Нарастание концентрации ВГВ в газовой среде, поглощение и растворение в тканях организма происходят линейно, в результате чего нарастает их токсическое воздействие на организм человека. Периодически отмечаются «динамические всплески» увеличения выделения из организма ВГВ, связанные с внутренними и внешними причинами.
3. Время накопления ВГВ до уровня их ПДК зависит от объёма барокамеры (отсека) и количества находящихся в ней людей. Во время декомпрессии, несмотря на частичное удаление ВГВ, их содержание увеличивается за счёт продолжающегося выделения из организма в уменьшающемся газовом объёме.
4. В газовой среде барокамер без её очистки содержания оксида углерода, ацетона, метанола и аммиака достигает ПДК уже в течение нескольких часов, после чего наступает отравление. Содержание альдегидов, этанола и некоторых других ВГВ доходит до ПДК в течение суток, что сопоставимо с временем режимов лечебной рекомпрессии.

Спасибо за
внимание