

# Горелки и отравление угарным газом в палатках

По материалам зарубежных источников

Илья Кижватов, Олег Один

[poga@westra.ru](mailto:poga@westra.ru)

Версия 0.2, 2012-11-11

<http://poga.westra.ru/articles/cohazard.html>

## Вместо введения

Перевод заключения из одной англоязычной статьи 2004 года [1]:

*Описания произошедших случаев подтверждают, что отравление угарным газом в палатках и снежных пещерах – реальная проблема, которая обойдена вниманием. Эта проблема особо серьёзна на высоте из-за множества факторов, увеличивающих риск отравления СО. Несмотря на множество ходящих в альпинистских кругах баек о восходителях, почивших от отравления СО на гималайских пиках, не похоже, что эта опасность широко известна.*

Ну а чистапаруски – некоторая практика показывает, что если пользоваться горелкой в палатке без определённой предосторожности, особенно в горных условиях, то можно отравиться угарным газом, что очень негативно сказывается на головном мозге, вызывая ряд весьма неприятных острых и хронических неврологических проявлений типа внезапной смерти. Пережившие острое отравление обычно страдают от различных пагубных последствий, которые могут преследовать несчастных в течение месяцев, лет, или даже пожизненно.

Цель этого обзора – заполнить пробел, наблюдаемый по теме в русскоязычном Интернете. Тема несколько раз всплывала в горных и туристических форумах при обсуждении ЧП (например [4], [5], [6]), но какого-либо систематического материала нет<sup>1</sup>. При этом на английском языке информации об опасности отравления СО от горелок обнаружилось достаточно.

Обзор написан в практической последовательности: сначала краткие факты, без которых совсем никак, потом – список действий, снижающих риск отравления, и затем – чуть подробнее про сравнение горелок на предмет выделения угарного газа. Детали для «ботанов» (the devil is in the detail!) – в приложениях и в источниках.

---

<sup>1</sup> На русском про отравление угарным газом, конечно, есть (в частности, [«Отравление монооксидом углерода \(угарным газом\)» под ред. Зобнина, СПб 2011](#)), но в контексте туризма, особенно горного, – авторы не нашли.

## Факты

Или краткий курс молодого бойца, чтобы знать врага. Сначала общие:

1. Угарный газ, он же мон(о)оксид углерода, он же CO, выделяется вместе с углекислым газом (CO<sub>2</sub>) при сгорании газа (пропана, бутана, ...), бензина, дров и прочих органических топлив.  
*В зависимости от условий горения количество выделяемого CO может быть разным.*
2. Туристические горелки, как газовые, так и бензиновые – не исключение. Они выделяют как CO<sub>2</sub>, так и некоторое количество CO.  
*Подробнее – см. ниже.*
3. Как и CO<sub>2</sub>, угарный газ бесцветен и не имеет запаха и вкуса.  
*Без специального датчика вы его не заметите. Внимание: далеко не все портативные датчики хорошо работают в типичных для высоты условиях низкого давления, низкой температуры и высокой влажности; смотрите на характеристики! (Тема в разработке.)*
4. В отличие от CO<sub>2</sub>, угарный газ немного легче воздуха (сухого).  
*Но поднимется к потолку палатки он не из-за этого; см. ниже.*
5. В отличие от CO<sub>2</sub>, угарный газ очень прочно связывается с гемоглобином в крови, не позволяя гемоглобину переносить кислород, и долго выходит из крови.  
*Подробно про патофизиологию – см. в приложении.*
6. При высокой концентрации CO в крови наступает кома и смерть.  
*Даже если тяжело отравившегося успеют заметить и «откачать», могут остаться долговременные последствия.*
7. Высокая концентрация CO в крови может наступить не только при высокой концентрации CO в воздухе, но и при длительном нахождении в простанстве с невысокой концентрацией CO в воздухе.  
*Таким, как закрытая от непогоды палатка с работающей горелкой или другим прибором, сжигающим органическое топливо.*
8. Симптомы начала отравления угарным газом – мягкая головная боль, тошнота, ощущение разбитости.  
*Чем-то очень похоже на горняшку. Подробности в приложении.*
9. Избыток углекислого газа, напротив, стимулирует дыхательную активность.  
*Именно поэтому часто описываемые случаи «проснулся от того, что задыхаюсь, чиркнул зажигалкой – не горит, полез откапывать палатку» связаны с избытком углекислого газа, а не с отравлением угарным газом. В случае угарного газа рассказчик скорее всего не проснулся бы.*

И специфические для горного туризма и альпинизма:

10. На высоте из-за пониженного давления отравление CO наступает при более низких его концентрациях в крови, чем на уровне моря.  
*Подробности – в приложении.*

11. На высоте симптомы отравления СО легко перепутать с горной болезнью.  
*И потому проигнорировать.*
12. При отсидке в палатке в непогоду симптомы отравления СО легко не заметить.  
*В основном из-за отсутствия двигательной активности.*
13. При отсидке в снегопад вентиляция палатки ухудшается.  
*От этого, конечно, тепло и хорошо...*

## Как уменьшить риск отравления угарным газом в палатке?

Вот список с рекомендациями, как надо обращаться с горелкой, чтобы не отравиться СО. Список взят из [2] и немного изменён с учётом более свежей информации из [3]. Курсивом даны примечания авторов этого обзора. Объяснение причин – частично в следующих секциях и в первоисточнике.

Фактор риска	Действие
<b>Приготовление пищи на горелке</b>	<p>Держать посуду не в пламени, а над ним <i>Раннее охлаждение пламени – основной фактор повышенного выделения СО, см. ниже.</i></p> <p>Избегать длительной готовки на слабом огне</p> <p>Выставить голубое пламя, избегать жёлтого пламени и длинного пламени</p> <p>Держать высокое давление в топливном баллоне</p> <p>Использовать очищенные топлива</p>
<b>Жёлтое пламя</b>	<p>Выключить горелку, подкачать топливный баллон, зажечь снова</p> <p>Максимально провентилировать палатку в течение нескольких минут</p>
<b>Неадекватная вентиляция палатки</b>	<p>Вентиляция по крайней мере эквивалентная отверстию в 50 см<sup>2</sup> <i>Для круглого отверстия это соответствует радиусу 4 см, то есть примерно как ладонь или чуть меньше (если вы не Кинг-Конг и не Дюймовочка).</i></p> <p>Отверстие для выхода СО расположить как можно более высоко <i>Потому что СО вместе с другими продуктами горения будет вознесён конвекционным потоком под свод палатки.</i></p> <p>Отверстие для притока свежего воздуха расположить низко</p> <p>Избегать минимальной вентиляции, которая (парадоксально) увеличивает концентрацию СО. <i>Имеется в виду ситуация, когда оставлено очень маленькое отверстие. Лучше в таком случае закрыть совсем, но устраивать регулярные мощные проветривания.</i></p> <p>Учитывать повышенный риск накопления СО в палатке в полный штиль</p>
<b>Скрытое начало отравления в условиях низкой подвижности</b>	<p>Обращать внимание на головную боль и тахикардию (учащённый пульс)</p>

	Регулярно совершать вылазки наружу, чтобы демаскировать симптомы
<b>Продолжительность воздействия CO</b>	См. выше и ниже
<b>Застой воздуха в палатке (низкое содержание кислорода)</b>	Регулярно проветривать Можно обойтись без постоянного вентилирования
<b>Обезвоживание</b>	Достаточное питьё
<b>Снежные пещеры хуже, чем палатки</b>	Особое внимание к данным рекомендациям.
<b>Высота</b>	-
<b>Гипервентиляция (интенсивное дыхание)</b>	-
<b>Обледенение тента и накопление снега на тенте</b>	Регулярно чистить палатку, чтобы поддержать проницаемость ткани тента

## Сравнение горелок по выделению CO

Австралийский турист (и обладатель Ph.D. по физике) Роджер Каффин написал целый цикл статей [3] про выделение угарного газа горелками. Как и обзор [2], это «мастрид» по теме для тех, кто читает по-английски. Здесь – практические выжимки.

Во-первых, Каффин провёл много экспериментов с горелками на предмет того, в каких случаях выделяется больше CO. Кратко в таблице выше уже было об этом сказано: а) не ставить посуду прямо в пламя и б) не допускать жёлтого пламени. Потому что:

- Посуда в огне охлаждает пламя (англ. термин *flame quenching*) и препятствует полному окислению углерода, оставляя много угарного газа.
- Жёлтое пламя, а также длинное пламя – свидетельство такого неполного окисления.

(В некоторых статьях было отмечено, что на процесс горения влияет ещё и диаметр посуды. Эксперименты Каффина показали, что это не имеет большого эффекта и вторично; главное – не засовывать посуду в пламя.)

Во-вторых, Каффин сравнил множество горелок на предмет выделения CO. В результате он выявил несколько патологических случаев, и попробовал разобраться, в чём там дело. Чтобы на такой патологический случай не нарваться при покупке горелки (либо при пользовании таковой, если уже есть) – вот выдержка из итоговой таблицы с результатами тестов для газовых горелок на разных режимах работы.

Горелка	Достигаемая концентрация CO в воздухе, в ppm		
	низкая мощность	средняя мощность	высокая мощность
Brunton Flex	160	158	142
Brunton Raptor	88	-	286
Coleman Xtreme	5	-	5

Coleman F1 Ultralight	75	-	154
Jetboil GCS, с ёмкостью	5	6	90
Kovea Expedition	6	-	12
Kovea Moonwalker	30	-	50
MSR WindPro	30		85
MSR PocketRocket	240	220	140
MSR Reactor, с ёмкостью	1000	-	50
Primus Gravity MF	10	-	100
Primus Eta Power EF, с ёмкостью	3	8	13
Primus Micron Ti 2.5	40	88	90
Snow Peak GS(T)100	5	-	21
Snow Peak GS200D	260	-	130

В таблицу включены не все горелки из первоисточника. Включенные по-прежнему показывают, что а) горелки ведут себя очень по-разному и б) даже у одного производителя разные горелки показывают разные результаты. Условия эксперимента опускаем, оставляя здесь только сравнение. Кому нужны подробности – см. первоисточник.

Здесь приведём только данные из таблицы концентраций из статьи Каффина, без которых не очень понятно, что значат цифры в таблице выше. Таблица составлена на основе норм США и Великобритании (ВБ)<sup>2</sup>, которые рассчитаны для уровня моря. Ppm – это parts per million, частей на миллион, то есть 1 ppm – это 0.0001%.

Концентрация CO в воздухе, ppm	Эффект, описание
0-1	Нормальный уровень
9	Макс. допустимое значение для кратковременной экспозиции в гостинной (США)
25	Часто встречается на главных дорогах
30	8-часовой предел, по нормам здоровья и безопасности (ВБ)
35	Предлагаемая макс. допустимая концентрация для непрерывной экспозиции в течение 8 часов (США)
100	Может наблюдаться на главных дорогах во время метеорологических инверсий (ВБ)
200	15-минутный предел по нормам здоровья и безопасности (ВБ)
200	Слабая головная боль, слабость, тошнота, сонливость после 2-3 часов; предел для кратковременной экспозиции (США)
300	Может привести к коллапсу (ВБ)
400	Фронтальная головная боль, более 3 часов – опасно для жизни

<sup>2</sup> Авторы не приводят нормы из отечественных гигиенических нормативов ГН 2.2.5.1313-03 не из-за отсутствия патриотизма, а из-за того, что они в мг/м<sup>3</sup>, тогда как результаты Каффина в ppm; кому интересно – найдите отечественный документ на Викитеке и переведите, или посмотрите таблицу в статье про отравление угарным газом в Википедии.

Подробно про то, как и при каком времени воздействия эти концентрации влияют на организм, и сколько примерно держатся в палатке, см. в приложении и в статьях [1] и [2].

Возвращаясь к результатам по горелкам: получается, что некоторые горелки в опеределённых режимах приводят к потенциально опасным концентрациям угарного газа в замкнутом объёме. Чтобы быть конкретным: представим, что вы отсиживаетесь в непогоду в палатке, плотно её закрыв, иногда работает некая горелка, которая создаёт концентрации CO в воздухе внутри палатки на уровне 50-100 ppm (таких моделей хватает, как видно из таблицы). При воздействии в несколько часов такая концентрация опасна.

Почему некоторые горелки выделяют больше CO на повышенной мощности? Каффин по результатам экспериментов делает вывод, что у них недостаточно велики воздухозаборные отверстия: на повышенной мощности необходимо больше воздуха, чтобы пламя было достаточно коротким и не охлаждалось посудой. Ещё нужно учитывать, что тесты проводились на уровне моря, а на высоте с понижением давления для горения без выделения большого количества CO необходим ещё больший приток кислорода.

Отдельно про MSR Reactor, который на *низкой* мощности приводит к запредельной концентрации CO. Каффин объясняет это (проведя отдельное исследование) тем, что на низкой мощности воздух из-за особенностей конструкции этой горелки практически перестаёт подсасываться во входное отверстие, и потому топливо сжигается в режиме исключительного кислородного голодания. Недостаток кислорода приводит к тому, что вторая стадия процесса горения (окисление CO в CO<sub>2</sub>) просто не может произойти, и потому в результате остаётся большое количество CO.

Итак, ещё раз основные результаты из [3]:

- основная причина повышенного выделения CO – раннее охлаждение пламени, в результате которого не происходит полного окисления углерода;
- основной источник раннего охлаждения пламени – слишком низко расположенная ёмкость для готовки (в одном из тестов увеличение клиренса всего на 5 мм сократило выделение CO в два раза);
- недостаток притока воздуха на некоторых режимах работы горелок, связанный с размером воздухозаборников; усугубляется с высотой.

Оставляя прочие детали: **любая горелка в палатке требует адекватной вентиляции!**

## Вместо заключения

Из той же статьи 2004 года [1]:

*Мы надеемся не видеть более сообщений о случаях, когда молодые, тренированные люди умирают от причины, которую можно полностью предотвратить.*

## Источники

- [1] Leigh-Smith S. Carbon monoxide poisoning in tents – a review. Wilderness and Environmental Medicine, 2004, 15(3):157-63. «Мастрид» для тех, кто поботанистее. Полный текст можно свободно взять тут: <http://www.wemjournal.org/article/S1080-6032%2804%2970474-3>
- [2] [zenstoves.net/COHazard.htm](http://zenstoves.net/COHazard.htm). Обзорная статья, в основном более доступно излагающая содержание статьи Лей-Смита [1], с основательным список источников.
- [3] Roger Caffin. Stoves, Tents and Carbon Monoxide – Deadly or Not. Фундаментальный практический труд. Самое интересное в нескольких первых частях. Полный текст за деньги тут: [www.backpackinglight.com/cgi-bin/backpackinglight/stoves\\_tents\\_carbon\\_monoxide\\_index.html](http://www.backpackinglight.com/cgi-bin/backpackinglight/stoves_tents_carbon_monoxide_index.html). Для тех, кто не может заплатить за доступ к статьям, четыре первые части находятся в открытом доступе на сайте Scribd. На персональном сайте Роджера есть некоторая дополнительная информация по горелкам.
- [4] [www.risk.ru/users/robby/17221/](http://www.risk.ru/users/robby/17221/)
- [5] [www.risk.ru/users/voladores/191726/](http://www.risk.ru/users/voladores/191726/), [www.risk.ru/users/abugarib/191898/](http://www.risk.ru/users/abugarib/191898/) В частности, в одной из этих веток есть подборка других случаев с отечественными туристами, в которых виновником происшествий скорее всего был угарный газ от горелки.
- [6] <http://skitalets.ru/wwwthreads/showflat.php?Cat=0&Board=antol&Number=364942&page=7&view=collapsed&sb=6&part=all&vc=1>

Авторы выражают уважение и благодарность юзерам сообщества risk.ru: Leb – за привлечение внимания к проблеме, comp3v и kombrig – за заощенные ссылки на некоторые источники.

## Приложения

*Внимание, многобукав!*

### Патофизиология

Основной функцией крови в организме человека является доставка различных веществ в ткани и обратный транспорт продуктов обмена. Одним из наиболее важных из этих веществ, является кислород, постоянный приток которого необходим практически всем тканям (важное исключение – эритроциты). Без кислорода невозможно *окислительное фосфорилирование* – конечная и наиболее важная составляющая процесса превращения разнообразных питательных веществ в энергию. Эта энергия (в форме аденозинтрифосфата, АТФ) используется клеткой для всех без исключения функций; без постоянного притока кислорода, большинство клеток способны выжить лишь весьма ограниченное время – от нескольких минут (головной мозг), до нескольких часов (мышцы, почка).

Окислительное фосфорилирование – очень сложный процесс, состоящий из пары десятков параллельно протекающих реакций, происходящих на мембранах и внутри клеточной органеллы митохондрии. Завершается он так называемой «цепью переноса электронов», в которой электроны (sic!), последовательно опускаясь на всё более низкие квантовые уровни, выделяют

энергию, превращаемую митохондрией в тот же АТФ. Конечным акцептором (получателем) электронов в этом процессе является доставляемый кровью кислород. Цепь переноса электронов регулируется четырьмя специализированными веществами (ферментами), одним из которых является цитохром-оксидаза. Перенос кислорода осуществляется эритроцитами (красными кровяными клетками), при помощи специализированного белка под названием гемоглобин. Структура гемоглобина позволяет ему «захватывать» проникающий в кровь посредством диффузии через альвеолярно-капиллярную мембрану лёгких кислород (образуя комплекс, состоящий из одной молекулы гемоглобина и четырёх молекул кислорода и называемый *оксигемоглобином*), впоследствии высвобождая кислород в нуждающихся в нём тканях организма. Доля гемоглобина, обратимо связанная с кислородом в определённый момент времени в данном образце крови, называется *насыщением гемоглобина кислородом*. Очевидно, что эта величина существенно различается не только между образцами артериальной и венозной крови, но и между венозной кровью, оттекающей от органов с различной потребностью в кислороде (например – головной мозг и жировая ткань). Важным фактором, влияющим на процесс взаимодействия гемоглобина с кислородом, является то, что присоединение каждой молекулы кислорода вызывает такое изменение структуры гемоглобина, которое приводит к облегчению связи его с последующими молекулами в капиллярах лёгких (аналогично, обратный процесс происходит в периферических тканях – отдача каждой молекулы кислорода облегчает отдачу каждой последующей). Существуют и другие факторы, влияющие на прочность связи между гемоглобином и кислородом – температура, рН, концентрация углекислого газа и пр. Суммарным эффектом их воздействия является то, что гемоглобин преимущественно «захватывает» кислород в лёгочных капиллярах и преимущественно «отдаёт» его в периферических тканях.

СО быстро проникает через альвеолярно-капиллярную мембрану лёгких и связывается с гемоглобином, занимая те места, которые в норме заняты кислородом. Связь СО с гемоглобином, при этом, приблизительно в 230 раз прочнее, чем аналогичная связь гемоглобина с кислородом. Такой комплекс также содержит четыре молекулы СО, связанные с одной молекулой гемоглобина и носит название *карбоксигемоглобина* (СОНb). Доля гемоглобина, связанная с СО, носит название *карбоксигемоглобинемии* (%СОНb). Для справки, %СОНb у некурящих горожан может в норме составлять до 3%, достигая 10-15% у курильщиков. Крайне высокая, в сравнение с кислородом, «устойчивость» связи СО-Нb (т.е. карбоксигемоглобина) приводит к тому, что его концентрация (карбоксигемоглобинемия) практически одинакова во всех образцах крови.

Присоединение молекулы СО к молекуле гемоглобина вызывает такое изменение конфигурации молекулы гемоглобина, которое дополнительно повышает сродство оставшихся мест связывания к кислороду, что парадоксально приводит к ещё большему снижению кислородно-транспортной функции гемоглобина, ибо снижает эффективность «отдачи» его периферическим тканям (это называется «смещение кривой диссоциации оксигемоглобина влево»).

Помимо гемоглобина, СО реагирует с другим биологическими молекулами. Наиболее важным примером является упомянутый выше фермент цепи переноса электронов цитохром-оксидаза,



нарушение функции которой приводит к блоку цепи переноса электронов и, по механизму обратной связи, окислительного фосфорилирования в целом.

Таким образом, существует несколько механизмов, при помощи которых СО препятствует эффективному использованию кислорода тканями.

1. СО занимает транспортные места, используемые для переноса кислорода кровью.
2. Тот кислород, которому всё же удалось найти «транспортное» место, становится гораздо труднее «выгрузить» в месте назначения.
3. Даже то, что было выгружено, становится невозможно использовать – работа молекулярной электростанции нарушена тем, что один из её регуляторных узлов блокирован.

Результатом является *гипоксия* (кислородное голодание) органов, которая поражает в первую очередь те из них, которые либо совершают большую работу (мышцы, особенно сердечная), либо исходно покрывают свою потребность в энергии исключительно за счёт окислительного фосфорилирования (центральная нервная система), либо даже в физиологических условиях существуют на очень «жёстком» кислородном пайке (корковое вещество почки).

Влияние угарного газа на другие биохимические реакции изучено хуже, но есть данные, что он способен вызывать формирование весьма ядовитых свободных радикалов и нарушать процесс регуляции сосудистого тонуса, ещё более нарушая процесс доставки кислорода.

СО не метаболизируется организмом и выводится лёгкими в неизменном виде. Процесс этот не быстрый (опять же вследствие высокой прочности связи СО-Нb). Так, например, при дыхании 100% кислородом на уровне моря за 2-3 часа выводится примерно половина связанного с гемоглобином СО; в других тканях, по-видимому, процесс этот протекает ещё медленнее, вызывая длительную гипоксию и, как следствие, отдалённые или даже необратимые последствия отравления.

## Проявления и последствия отравления СО

Симптомы отравления угарным газом могут значительно различаться от человека к человеку и в основном неспецифичны. Многим известно про окрашивание губ, кожи и слизистых оболочек в «вишнёво-красный» цвет при тяжёлом отравлении; в реальности, однако, этот признак малоприменим. Следующая таблица из [2], показывающая взаимосвязь между концентрацией СОНb и внешними проявлениями отравления, может применяться лишь как весьма приблизительная шкала; реальные проявления зависят от конкретной ситуации и характеристик пострадавших.

**Симптомы, возникающие при различных уровнях СОНb в крови (на уровне моря), на основе данных из [1]**

<b>%СОНb</b>	<b>Симптомы</b>
0-10%	Не вызывает острых негативных проявлений у большинства здоровых индивидов.

10-20%	Головная боль, чувство разбитости, тошнота, рвота, головокружение, нарушения координации.
20-30%	Головная боль, сердцебиение, сонливость, нарушения зрения, спутанность сознания. Смерть может наступить вследствие утраты пострадавшими воли и физической способности покинуть опасное место (например, зону возгорания).
30-40%	Потеря сознания
40-50%	Судороги
50-60%	Кома
60-70%	Смерть в течение двух часов
80-90%	Смерть в течение одного часа
90-100%	Смерть в течение нескольких минут

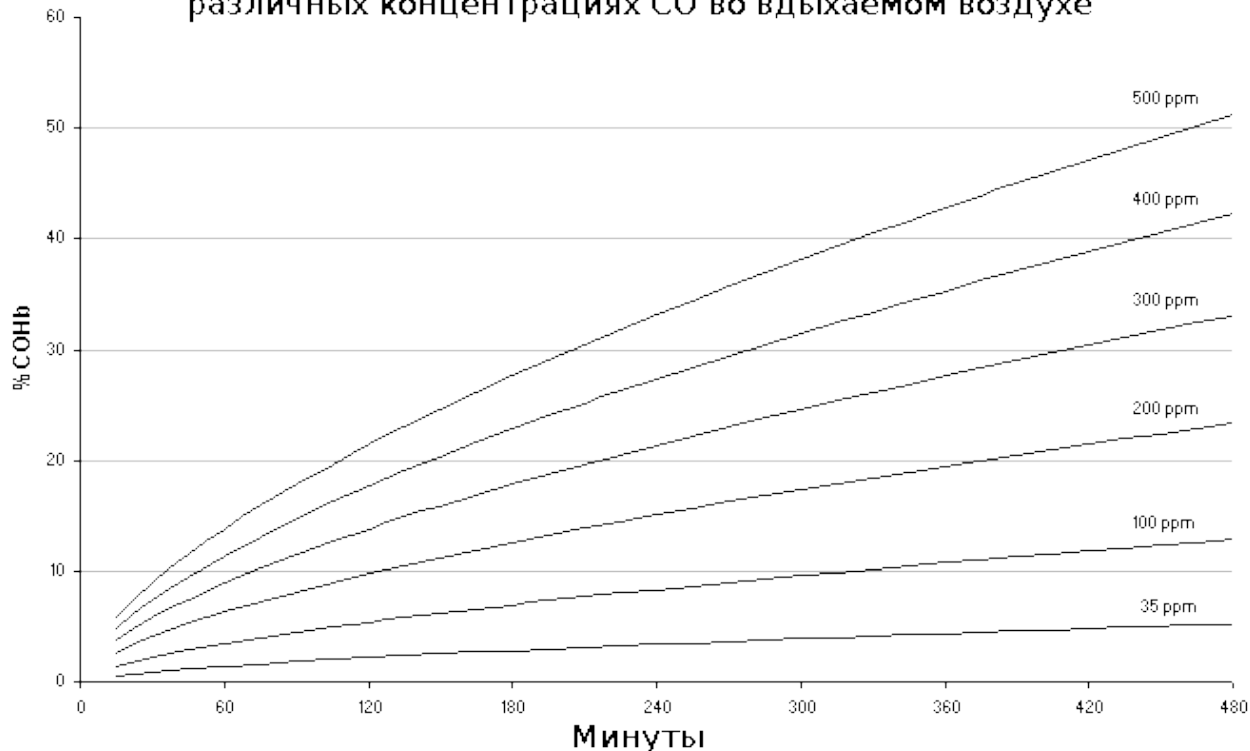
У 40% пострадавших от угарного газа могут развиваться отдалённые неврологические последствия. Такие обычно развиваются в течение 3-240 дней, следующих за острым отравлением, и могут проявляться различной степенью нарушения памяти, интеллекта и сознания, двоением в глазах, головокружениями, нарушениями координации движений, мышечного тонуса, походки, недержанием мочи и кала, полной или частичной слепотой, потерей слуха, звоном в ушах, судорогами, несахарным диабетом, и даже омертвением отдельных участков мозга (некроз globus pallidus).

Длительное воздействие низких концентраций CO также способно привести к серьёзным медицинским последствиям. Наиболее часто хроническое отравление угарным газом проявляется такими неспецифическими признаками как разбитость, быстрая утомляемость, головная боль и головокружение; возможны и другие, преимущественно неврологические проявления: депрессия, тревожность, нарушения внимания и памяти, раздражительность и нарушения настроения.

### **Зависимость концентрации СОНб в крови от концентрации СО в воздухе и от времени**

Различные экспертные оценки безопасной концентрации CO во вдыхаемом воздухе уже были приведены в таблице в основной части данной статьи. Следующий график из [2] отображает расчётные концентрации СОНб в зависимости от времени воздействия различных концентраций CO на находящегося в состоянии покоя «среднестатистического» человека, находящегося на уровне моря.

## Зависимость концентрации СОHb от времени при различных концентрациях СО во вдыхаемом воздухе



Приведённый график требует разъяснений, ибо он способен вызвать иллюзию того, что реально-достижимые в палатке концентрации СО (до 600 ppm) недостаточно высоки для того, чтобы вызвать проявления более тяжёлые, нежели тошнота и головная боль. (Имеется в виду, за время приготовления пищи. Время контакта может существенно возрастать при использовании органического топлива для обогрева и освещения.) Следует учесть, однако, что концентрация СО, вызывающая лишь умеренную головную боль на уровне моря, может в условиях высокогорья привести к быстрой утрате сознания (см. ниже). Следует учесть и то, что уровень СОHb в крови растёт пропорционально времени контакта – чем дольше и чаще происходит вдыхание угарного газа, тем более высокие концентрации карбоксигемоглобина будут достигнуты.

### Эффекты высоты

(В основном перевод из [2]). Уменьшающееся с набором высоты атмосферное давление, приводит к снижению количества кислорода, достигающего лёгких. Транспорт кислорода через альвеолярно-капиллярную мембраны – пассивный процесс, движущей силой которого является диффузия по градиенту концентрации (парциального давления кислорода в дыхательной смеси). Снижение давления (концентрации) приводит к снижению скорости диффузии и, как результат, снижению скорости поступления кислорода в кровь и, в дальнейшем, в ткани. В первую очередь страдают от гипоксии те ткани, которые по тем или иным причинам исходно чувствительны к недостатку кислорода недостатку (см. выше).

Потребление кислорода пламенем горелки в закрытом помещении (горение – сложная последовательность химических реакций, суть которых заключается в взаимодействии молекул топлива с молекулами кислорода воздуха) может ещё более усугубить ситуацию, ещё сильнее снижая и без того невысокое в высокогорье парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе.

Тот факт, что некоторым, некоторым людям удалось взойти на высочайшую точку планеты без использования вспомогательного кислорода, не должен вызывать иллюзий – подобные подвиги лежат далеко за пределами возможностей среднестатистического (пусть даже и тренированного) индивида и ни для кого не проходят даром. Примером может служить гораздо большая вероятность смерти во время спуска в сравнении с использующими дополнительный кислород восходителями. Примечательно, что эффекты высоты и связанной с ней гипоксии (острая горная болезнь) начинают ощущаться уже начиная с высоты 3000 метров; уже на этой высоте могут развиваться такие тяжёлые осложнения как высокогорный отёк мозга и высокогорный отёк лёгких.

### Поднимается ли СО под потолок палатки?

Из того, что СО (молекулярная масса 28 u) немного легче сухого воздуха (29 u), неверно будет сразу заключать, что угарный газ «всплывёт» под потолок палатки. Эта разница несущественна для определения того, что происходит с СО в палатке, по многим причинам:

1. Газы разной плотности (которая пропорциональна молекулярной массе) не «всплывают» и не «оседают», они перемешиваются (диффундируют). Естественно, если менее плотный газ попадает в верхнюю часть объёма, диффузия займёт некоторое время.
2. Поскольку водяной пар (18 u) значительно легче кислорода (32 u) и азота (28 u), из которых воздух состоит на 99%, то влажный воздух менее плотен, чем сухой, ещё более уменьшая разницу.
3. Продукты горения содержат, помимо СО, углекислый газ (44 u), азот, водяные пары.
4. Конвекционный поток уносит горячие продукты горения вверх, что гораздо существеннее, чем разница в плотности.

Итак, СО скорее всего будет сначала унесён конвекцией под свод палатки вместе с другими продуктами горения (см. иллюстрации в [2]), а затем диффундирует по всему объёму. Какова скорость диффузии, авторам неизвестно. Однако при наличии вентиляционного отверстия в верхней части палатки большая часть тёплых продуктов горения, включая СО, уйдёт в него, а свежий воздух, богатый кислородом, будет поступать из нижнего вентиляционного отверстия. Отсюда и рекомендации по расположению вентиляционных отверстий.

См. также <http://www.newton.dep.anl.gov/askasci/chem03/chem03364.htm>.

### Химия пламени и как работают горелки

См. <http://zenstoves.net/How.htm>, а также первую (теория) и вторую (практика) части из серии Каффина [3].