Кислотно-основное состояние (КОС) и его нарушения

К.М. Лебединский, СПб МАПО

Почему это важно?...

Кроме pH, есть еще pI!

Концентрация водородных ионов – это число полярных группировок в макромолекулах, прежде всего белковых, а значит:

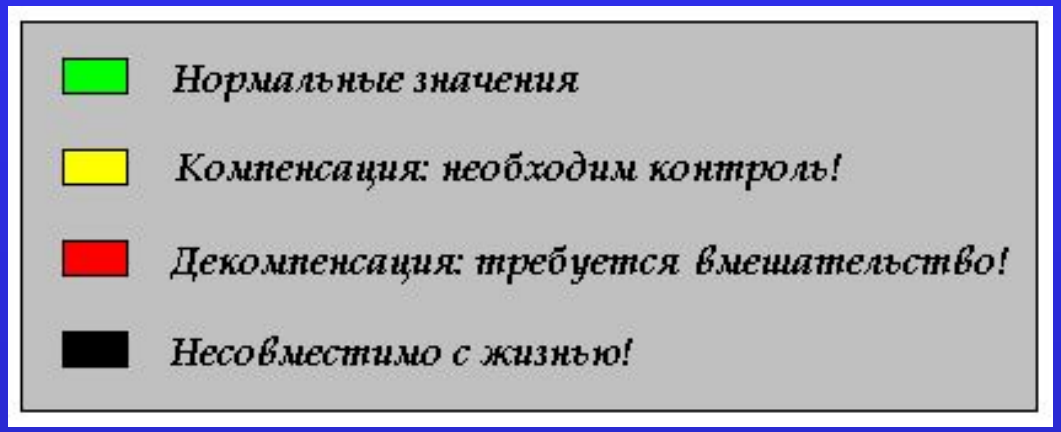
- Активность всех ферментов
- Емкость транспортных белков, в т.ч. Hb
- Работа трансмембранных насосов
- Функция ионных и других каналов

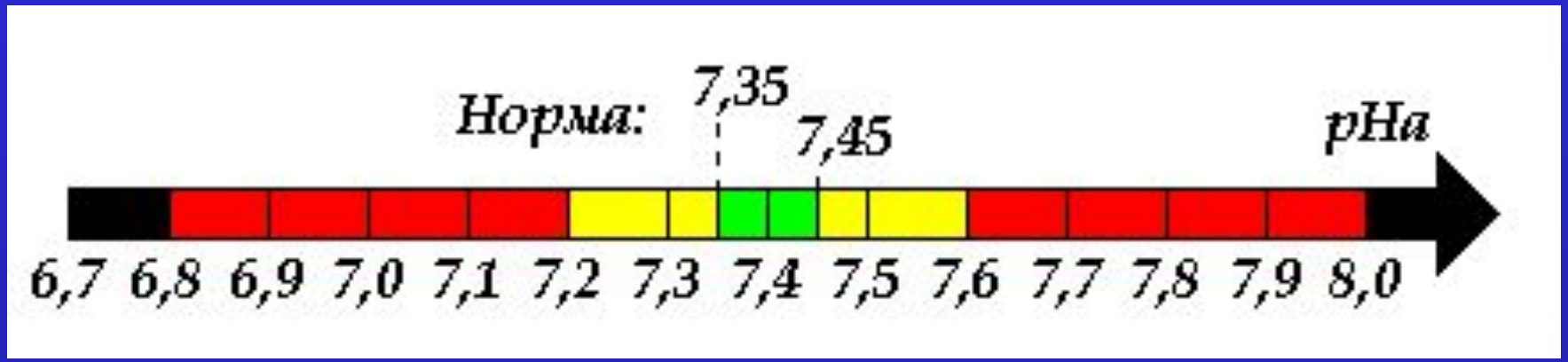
H^+ и OH^- влияют на обмен других ионов:

- Обмен протонов на K^+
- Иммобилизация Ca^{2+} избытком OH^-

Что такое «норма»?...

«Физиологическая шкала» – четыре диапазона:





Как это обеспечивается?

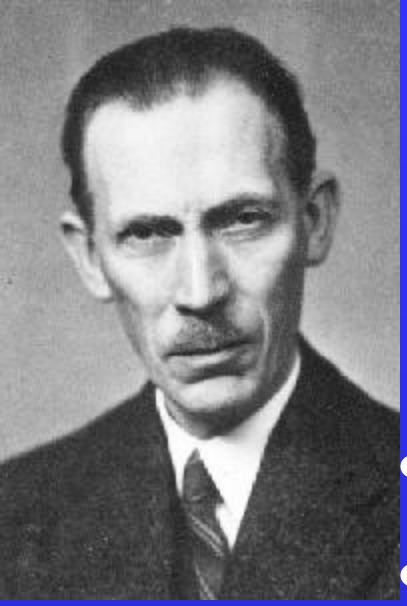
Первая линия защиты – буферные системы:

- Бикарбонатная – 53%
- Гемоглобиновая – 35%
- Белковая – 7%
- Фосфатная – 5%

Вторая линия защиты:

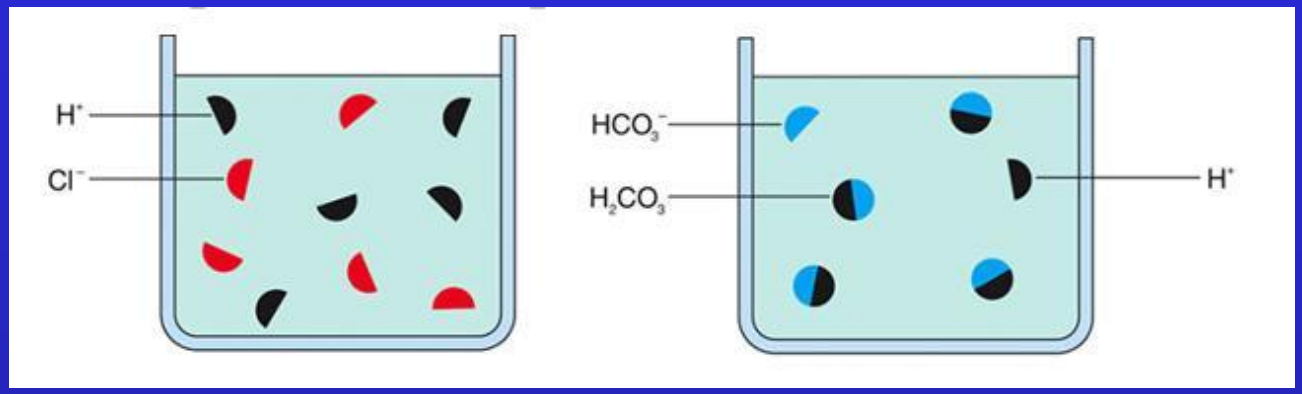
- Для CO_2 – лёгкие (быстрое действие): V_A
- Для нелетучих кислот и оснований – почки (более медленный эффект): ацидо- и аммониогенез

Немного химии…



Кислоты и основания по J.N. Brønsted'у (1879-1947):

- Кислота – донор протонов (H^+)
- Основание – акцептор (связыватель) протонов
- Сила кислоты или основания = степени их диссоциации в растворе

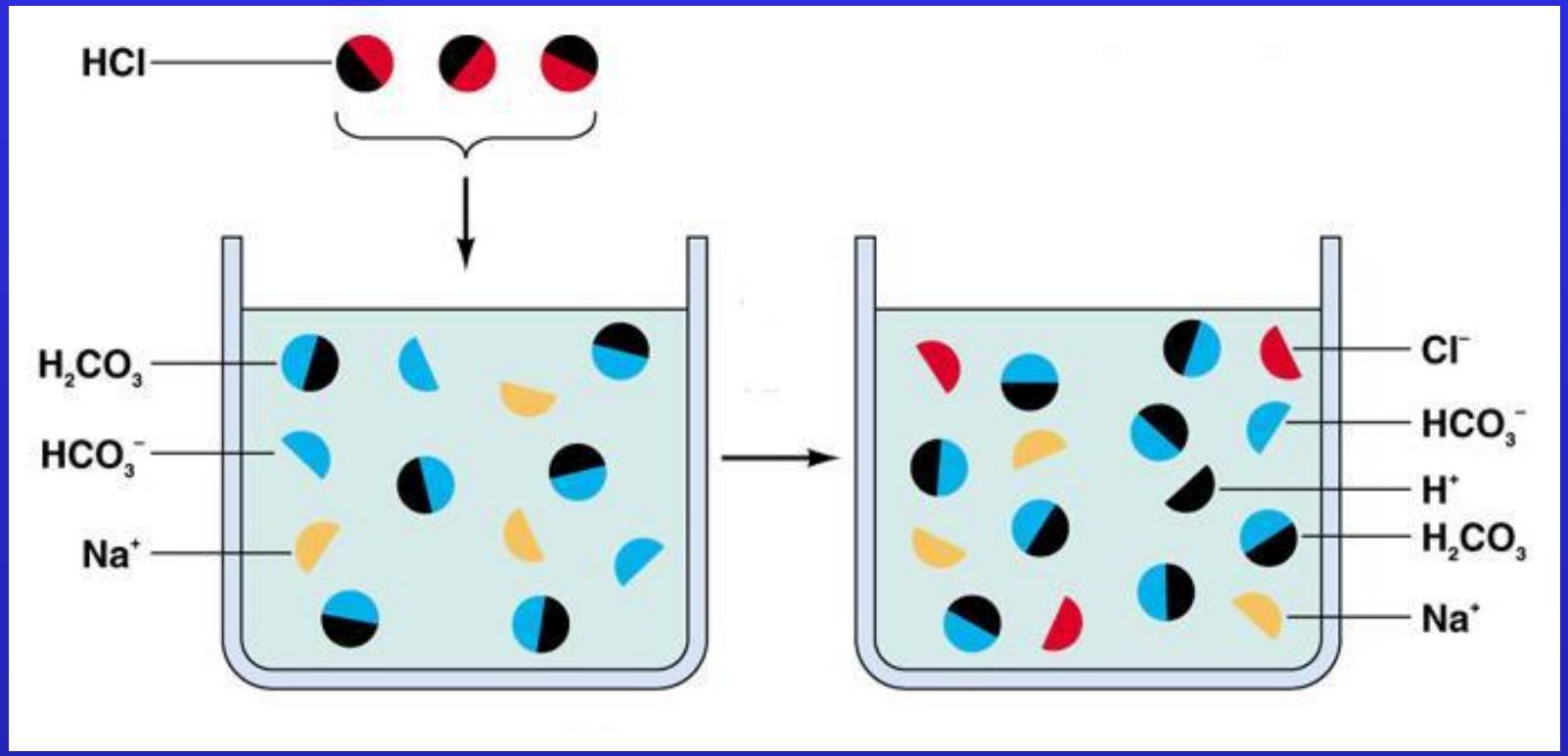


Отсюда:

- NH_3 – основание
- NH_4Cl – кислота
- $NaHCO_3$ – основание

Как работает буфер?

- Смесь слабой кислоты и ее соли с сильным основанием или слабого основания и его соли с сильной кислотой
- Цель – связать поступающие извне H^+ и OH^-



Уравнение H.H. Henderson-K.A. Hasselbalch

$$\text{Кислота} \leftrightarrow An^- + H^+$$

$$K = \frac{[H^+]\times[An^-]}{[Кислота]}$$

$$[H^+] = K\times\frac{[Кислота]}{[An^-]}$$

$$\downarrow$$

$$pH = pK + \lg\frac{[An^-]}{[Кислота]}$$

$$H_2CO_3 \leftrightarrow HCO_3^- + H^+$$

$$K = \frac{[H^+]\times[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$$

$$[H^+] = K\times\frac{[H_2CO_3]}{[HCO_3^-]}$$

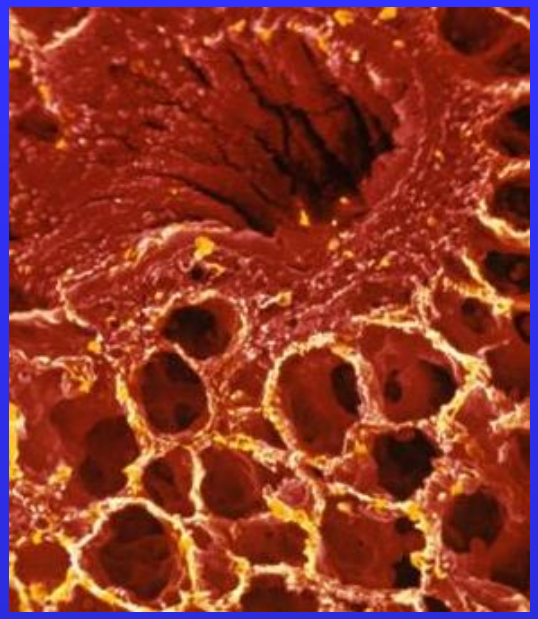
$$pH = pK + \lg\frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$$

$$pH = 6{,}1 + \lg\frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$$

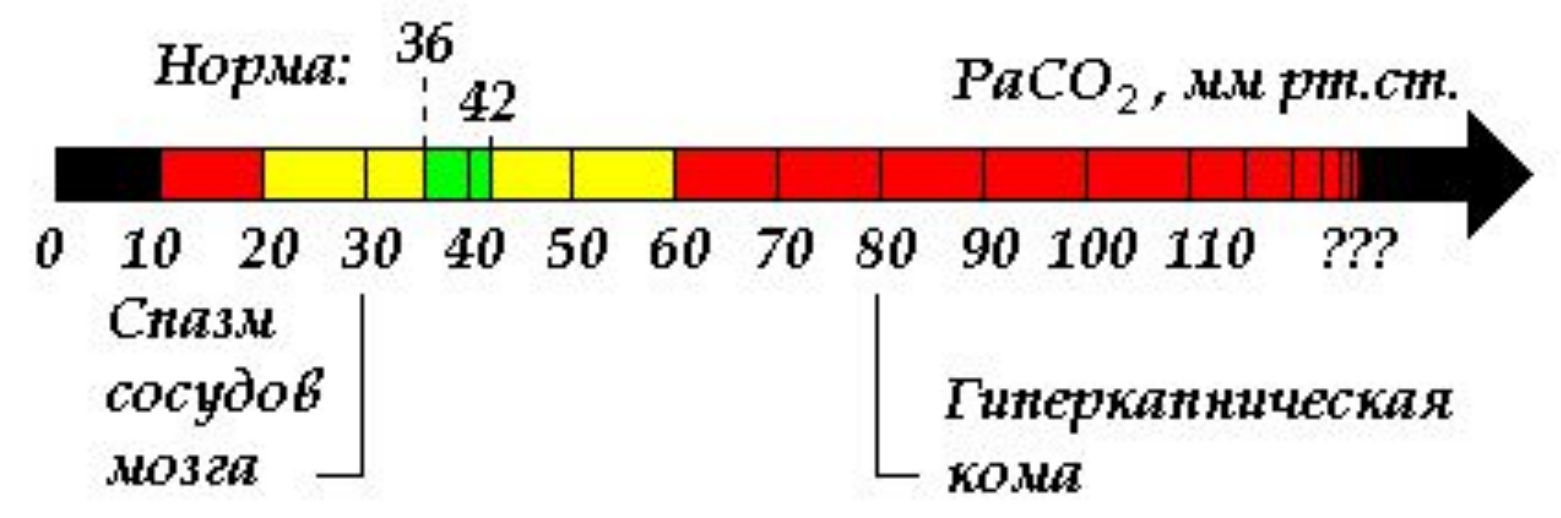
$$\boxed{pH = 6{,}1 + \lg\frac{[HCO_3^-]}{0{,}03\times PCO_2}}$$

$$pH = 6{,}1 + \lg\frac{Почки}{Легкие}$$

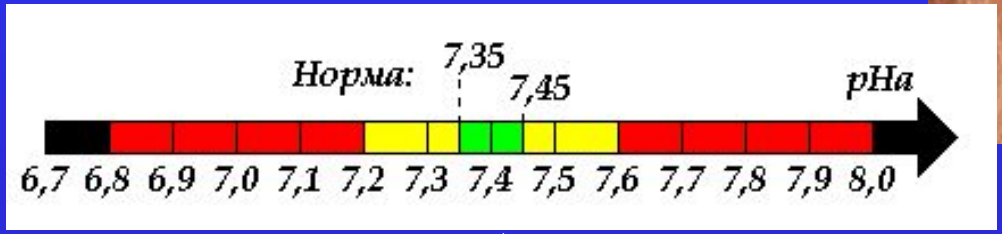
Легкие: элиминация CO_2

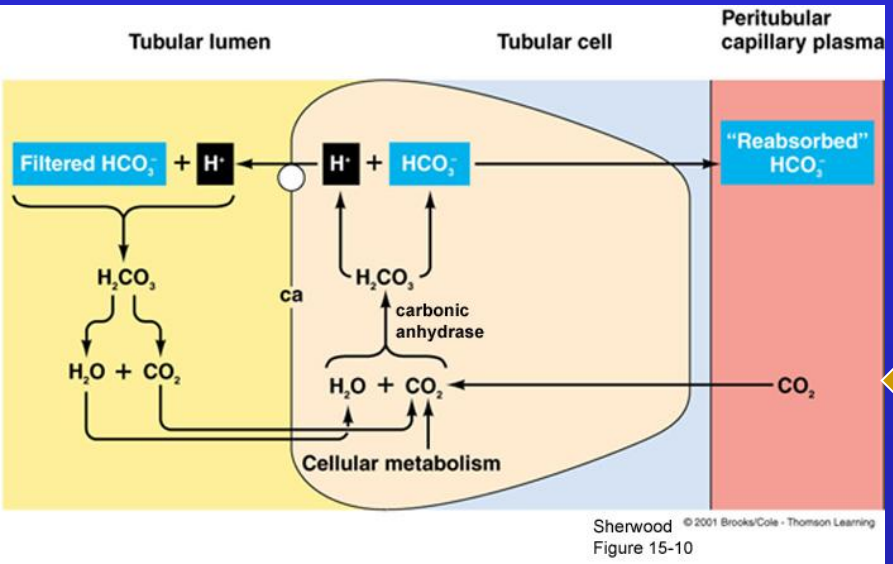


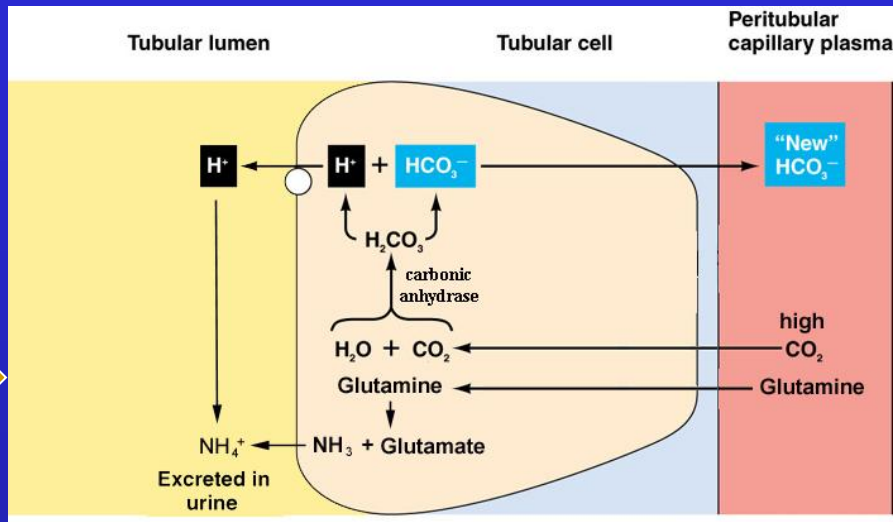
- Нормальные значения
- Компенсация: необходим контроль!
- Декомпенсация: требуется вмешательство!
- Несовместимо с жизнью!



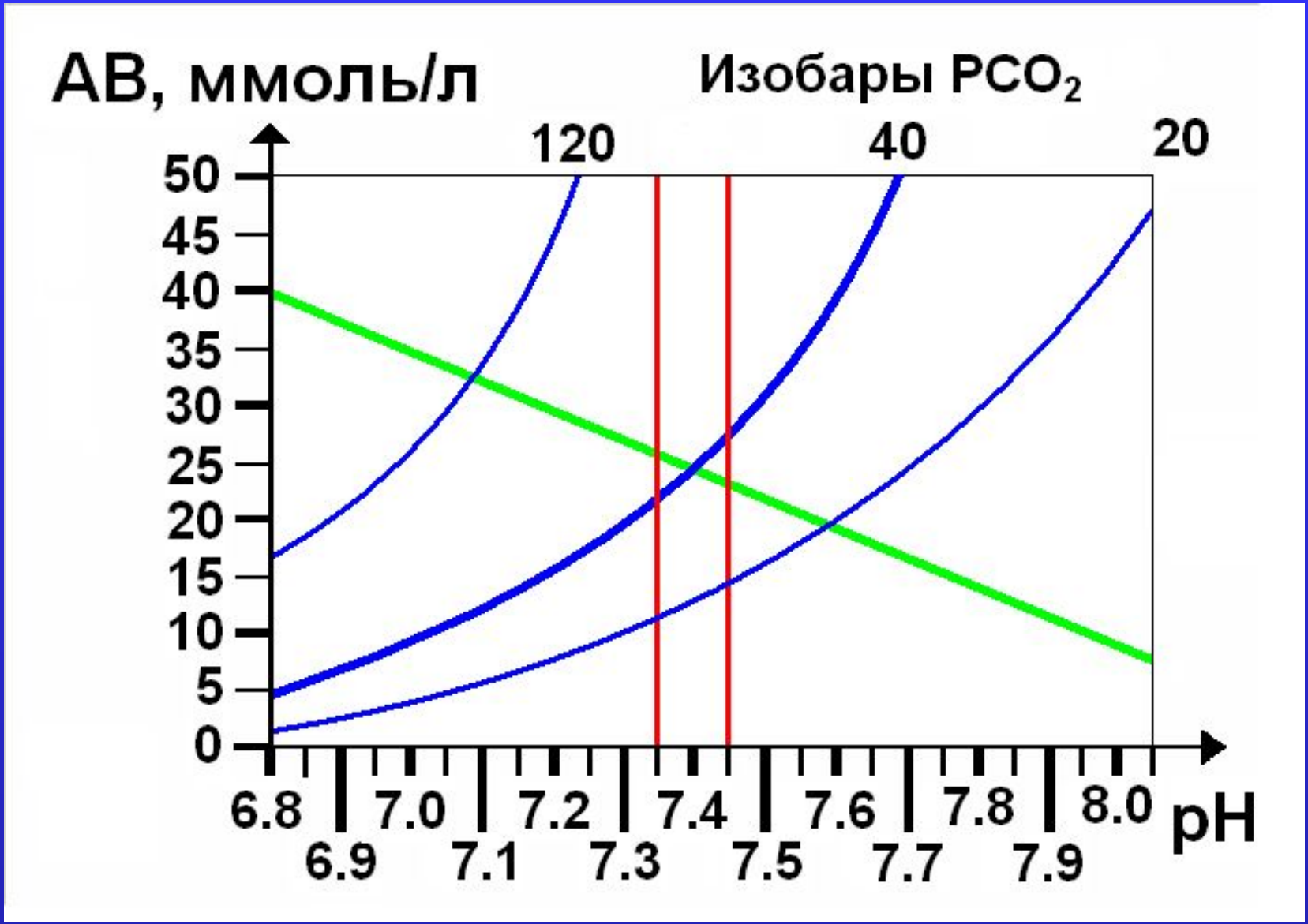
Почки: регуляция pH мочи



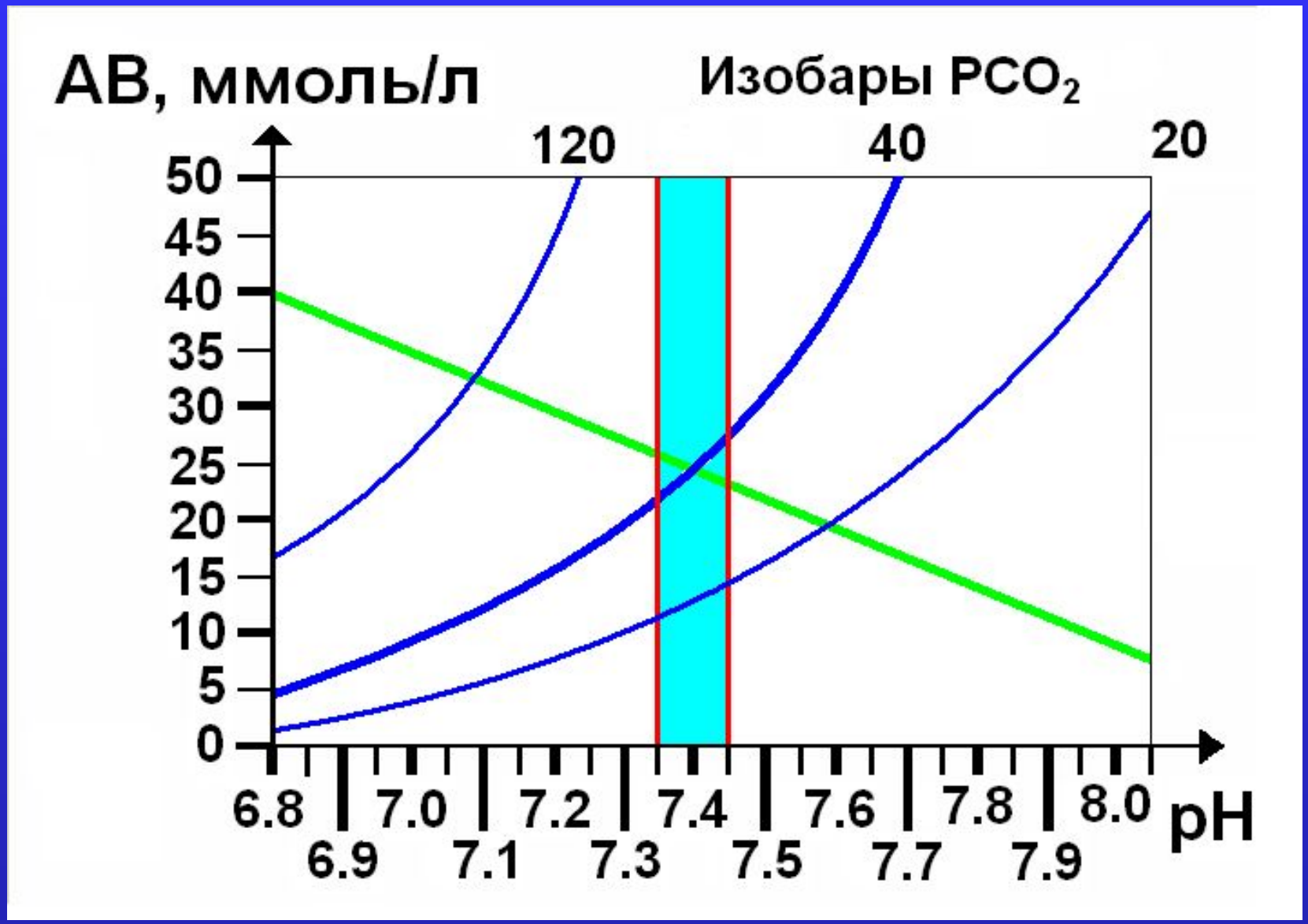




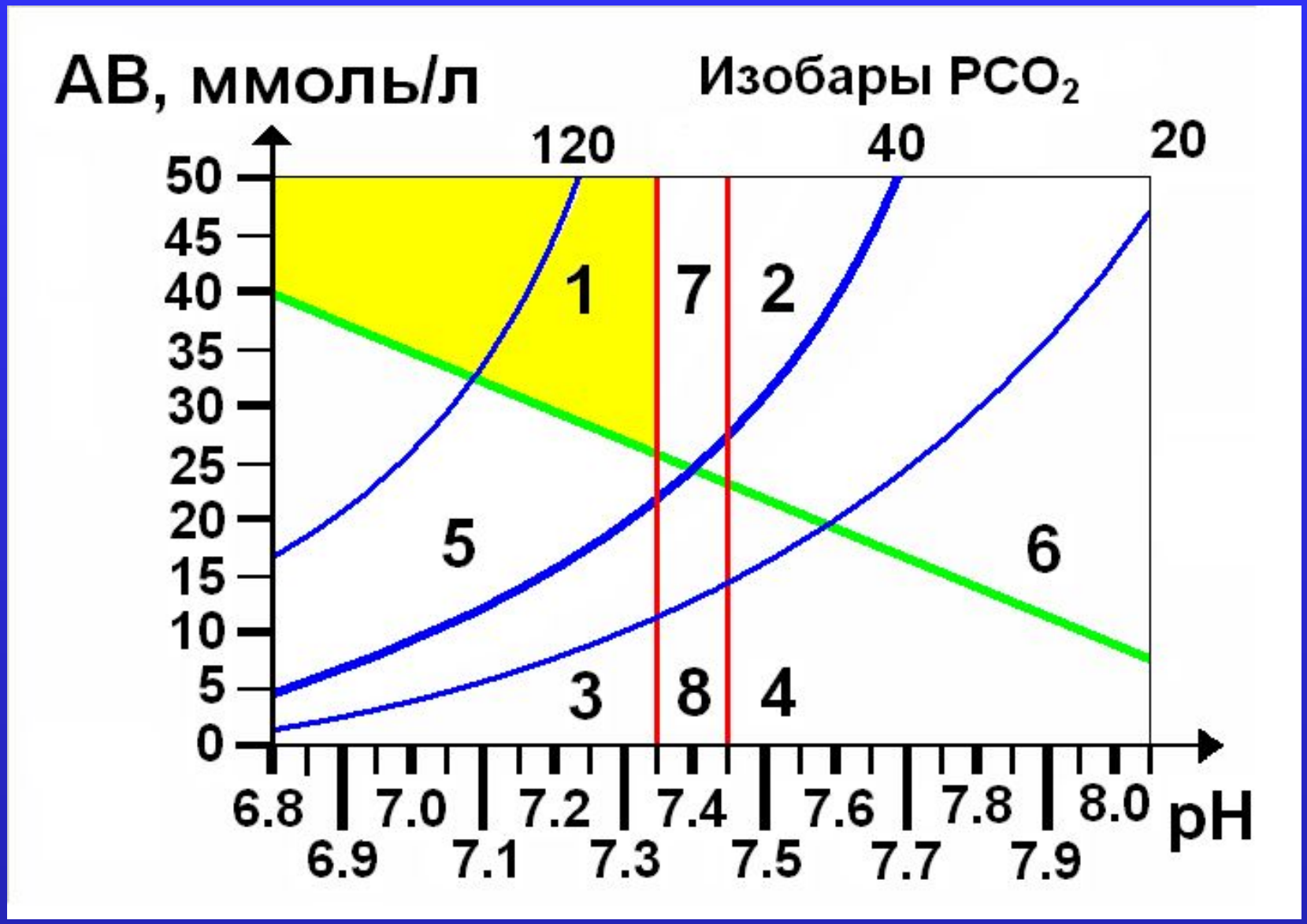
Номограмма Davenport: принцип



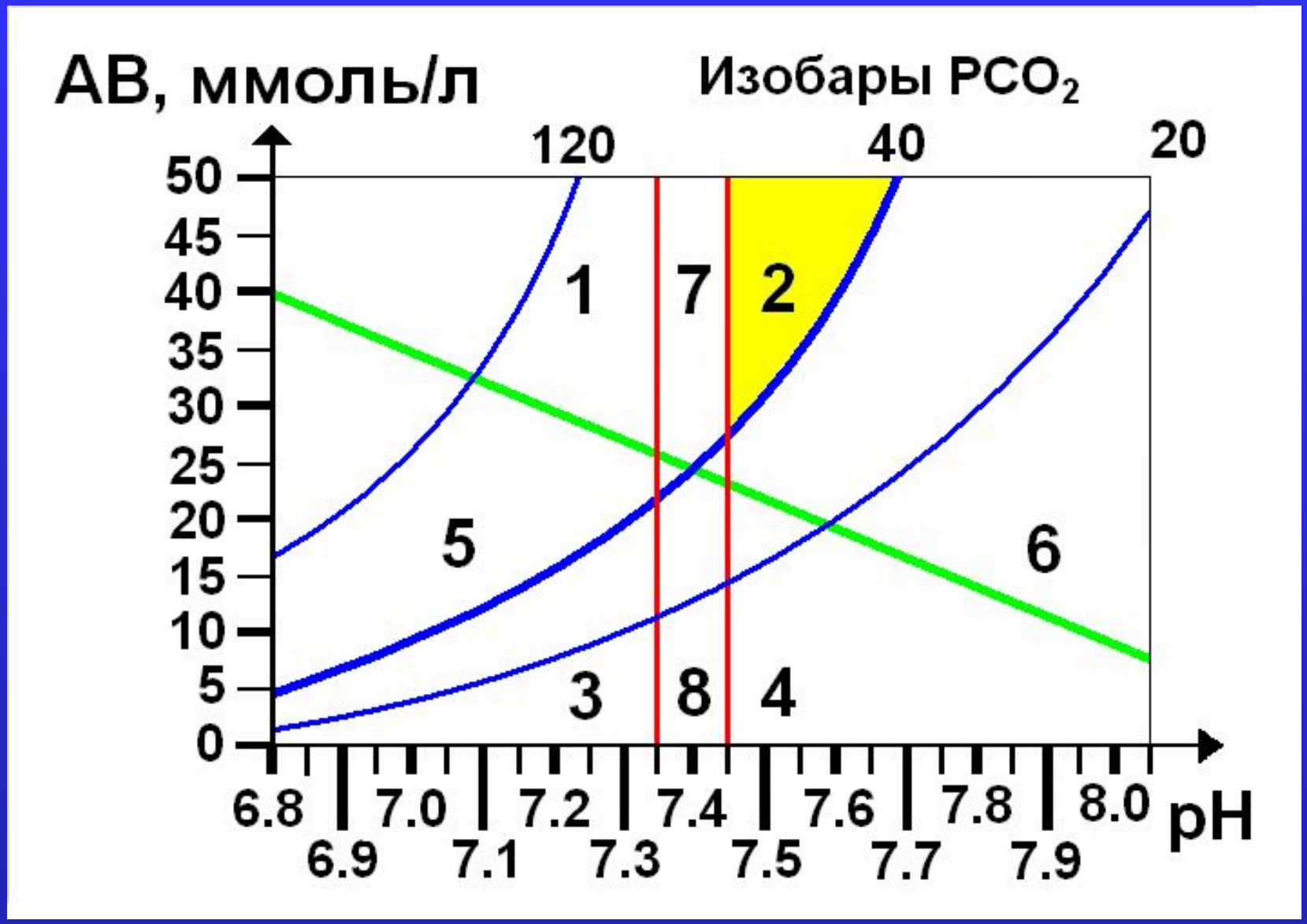
Номограмма Davenport: норма



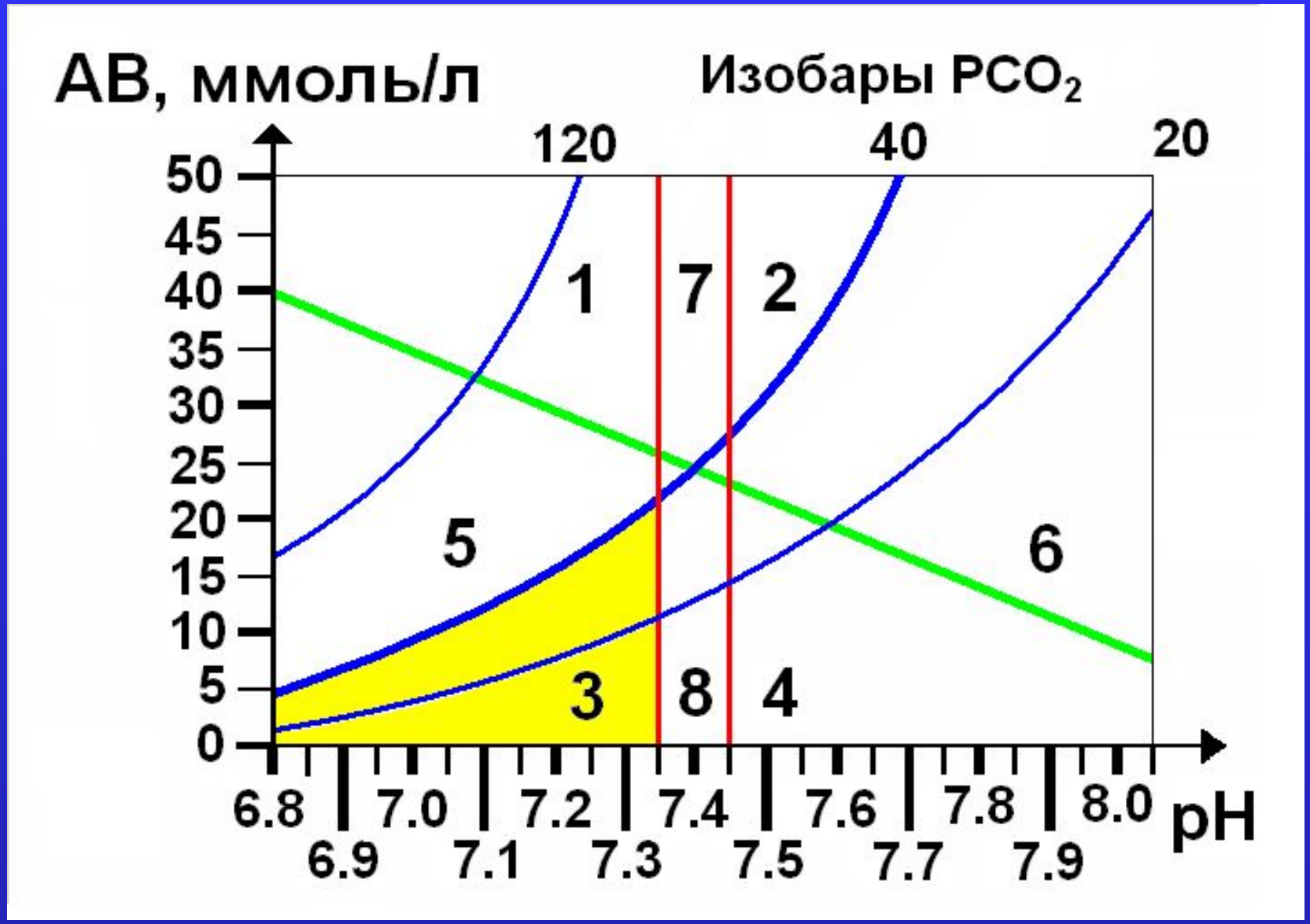
pH↓, $PaCO_2$↑, AB↑ - ?


AB, ммоль/л
Изобары PCO_2
120
40
20
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
7
2
5
6
3
8
4
6.8
6.9
7.0
7.1
7.2
7.3
7.4
7.5
7.6
7.7
7.8
7.9
8.0
pH

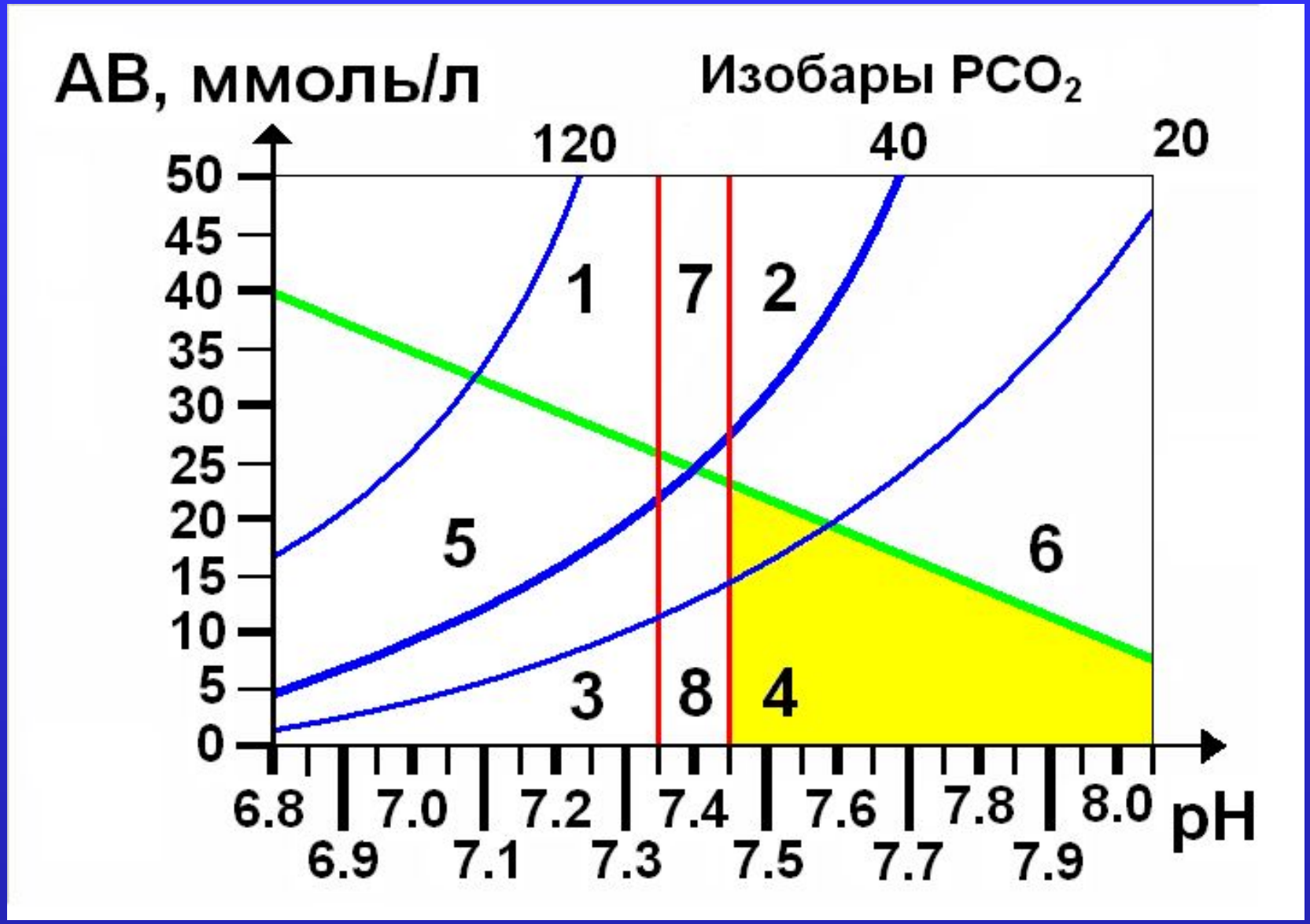
pH↑, $PaCO_2$↑, AB↑ - ?


AB, ммоль/л
Изобары PCO_2
120
40
20
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
7
2
5
6
3
8
4
6.8
7.0
7.2
7.4
7.6
7.8
8.0
pH
6.9
7.1
7.3
7.5
7.7
7.9

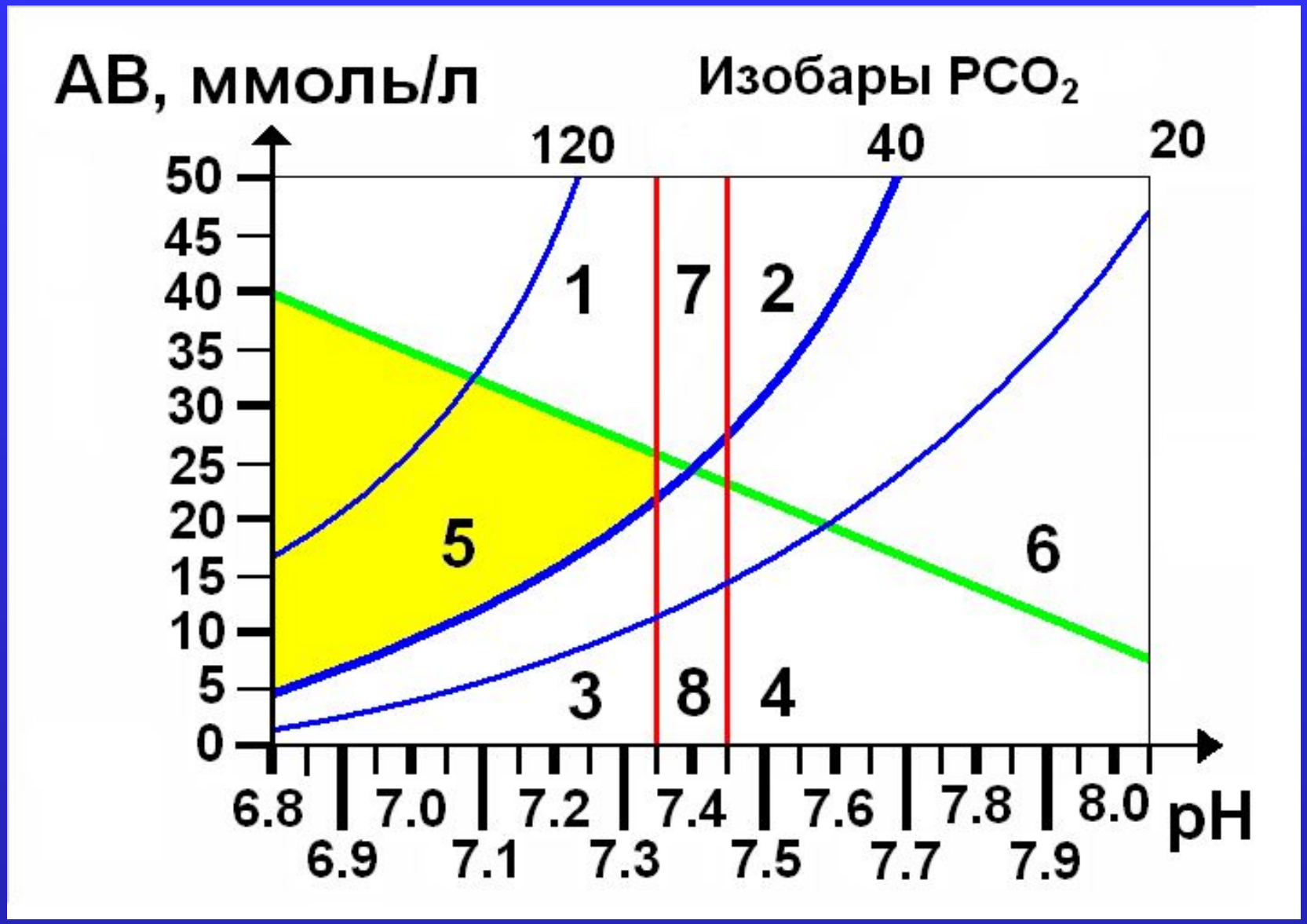
pH↓, $PaCO_2$↓, AB↓ - ?


AB, ммоль/л
Изобары PCO_2
120
40
20
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
7
2
5
6
3
8
4
6.8
7.0
7.2
7.4
7.6
7.8
8.0
pH
6.9
7.1
7.3
7.5
7.7
7.9

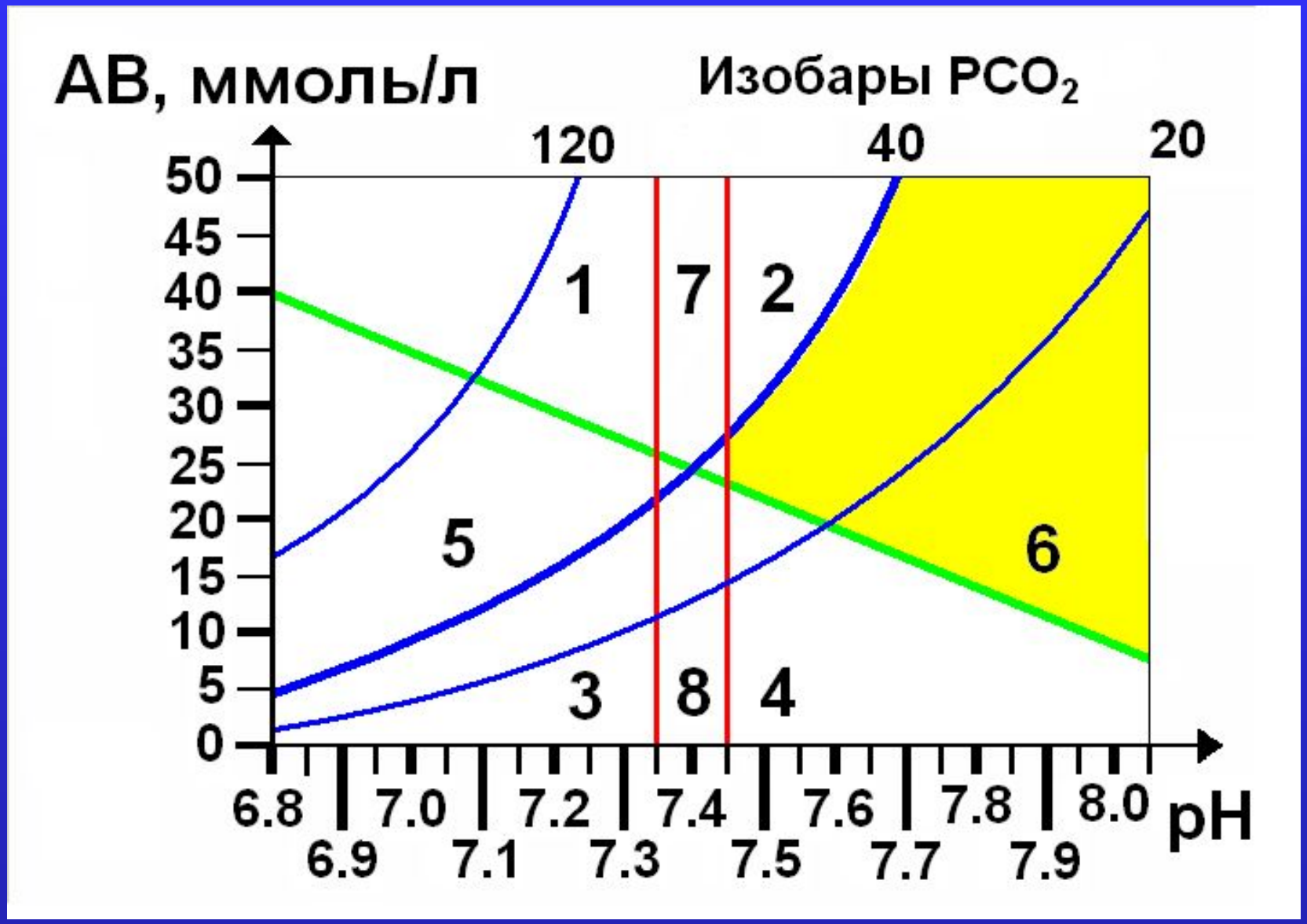
pH↑, $PaCO_2$↓, AB↓ - ?


AB, ммоль/л
Изобары PCO_2
120
40
20
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
7
2
5
6
3
8
4
6.8
7.0
7.2
7.4
7.6
7.8
8.0
pH
6.9
7.1
7.3
7.5
7.7
7.9

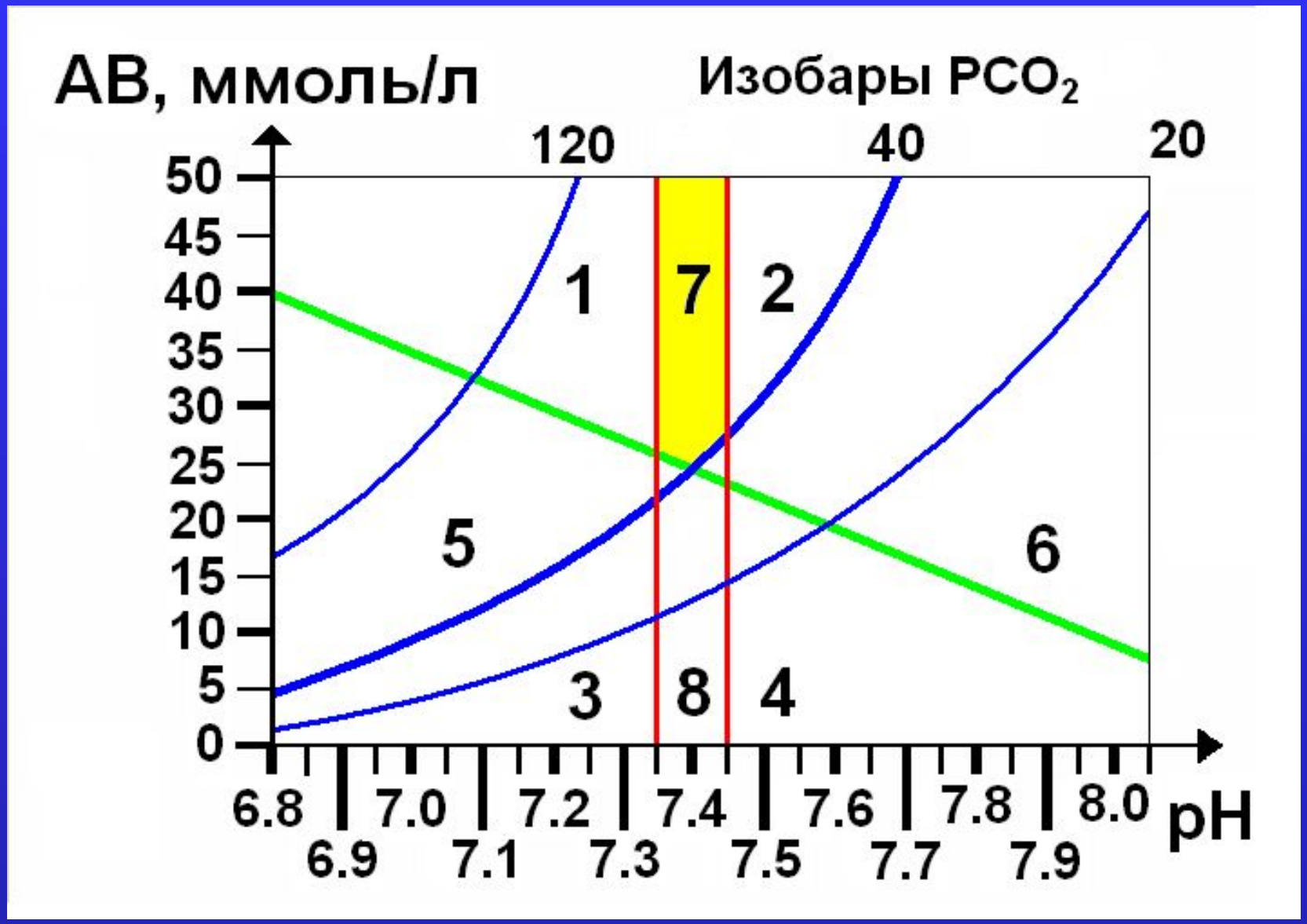
pH↓, $PaCO_2$↑, AB↓ - ?


AB, ммоль/л
Изобары PCO_2
120
40
20
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
7
2
5
6
3
8
4
6.8
7.0
7.2
7.4
7.6
7.8
8.0
pH
6.9
7.1
7.3
7.5
7.7
7.9

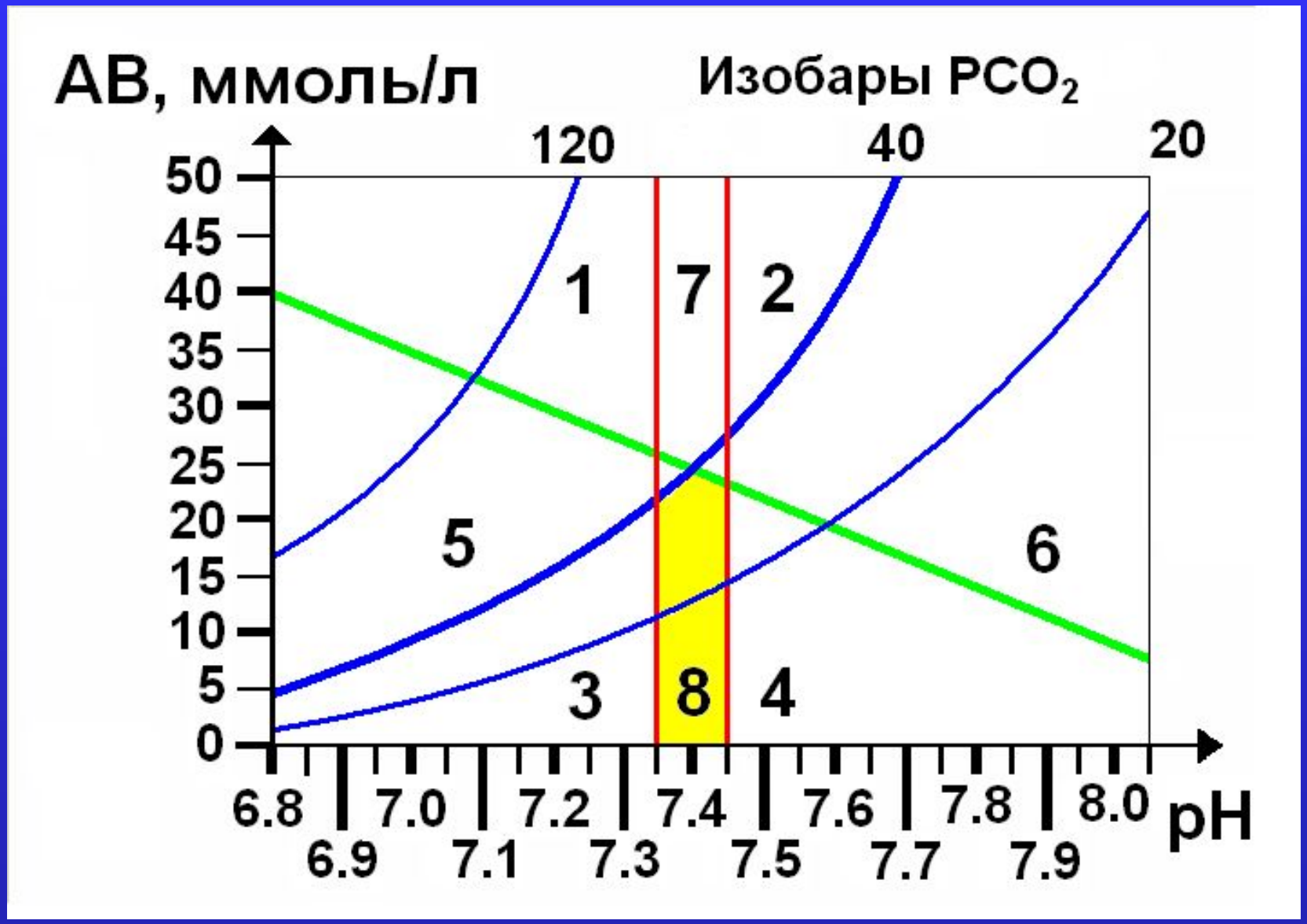
pH↑, $PaCO_2$↓, AB↑ - ?


AB, ммоль/л
Изобары PCO_2
120
40
20
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
7
2
5
6
3
8
4
6.8
7.0
7.2
7.4
7.6
7.8
8.0
pH
6.9
7.1
7.3
7.5
7.7
7.9

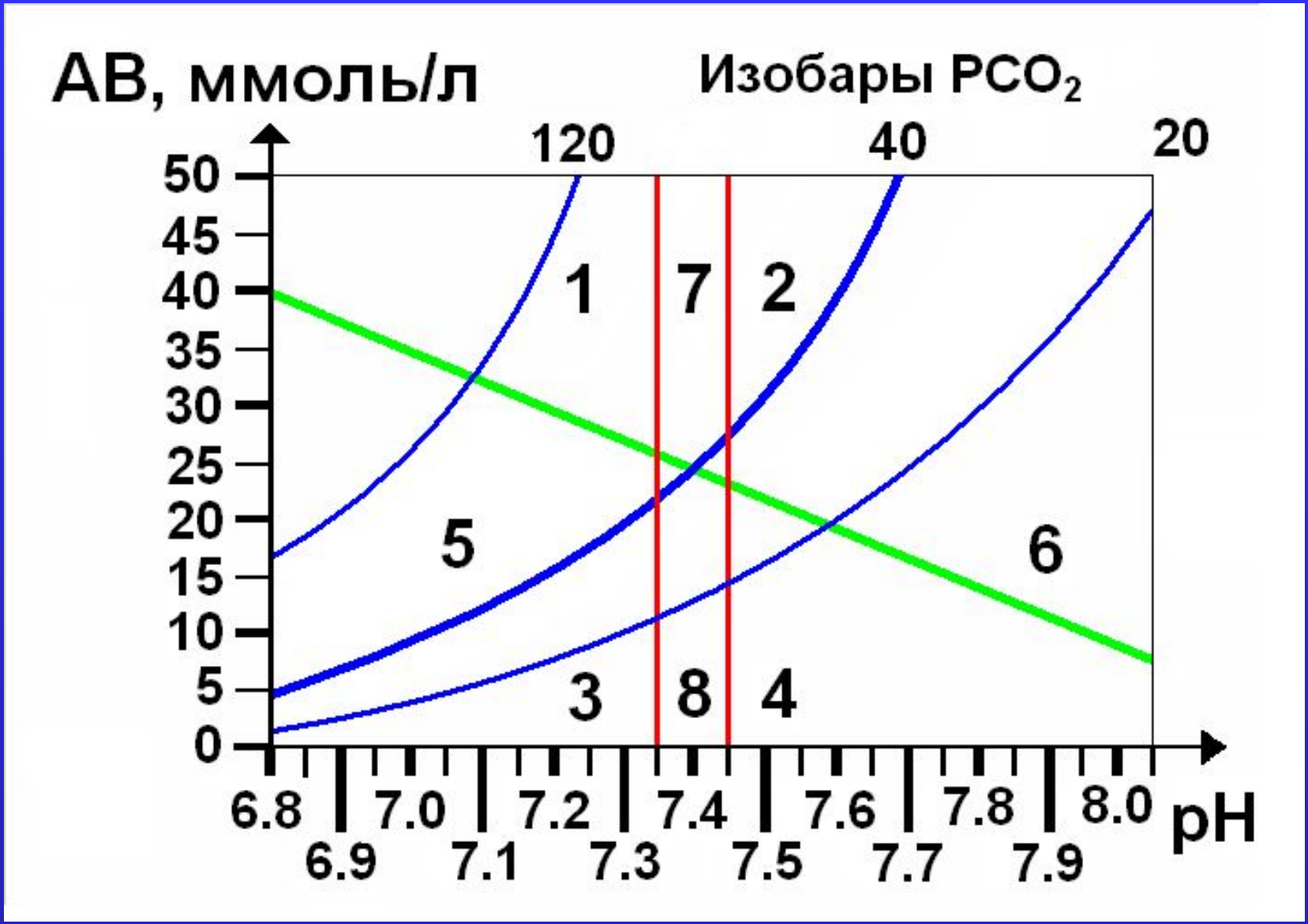
pH - N, $PaCO_2$↑, AB↑ - ?


AB, ммоль/л
Изобары PCO_2
120
40
20
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
7
2
5
6
3
8
4
6.8
7.0
7.2
7.4
7.6
7.8
8.0
pH
6.9
7.1
7.3
7.5
7.7
7.9

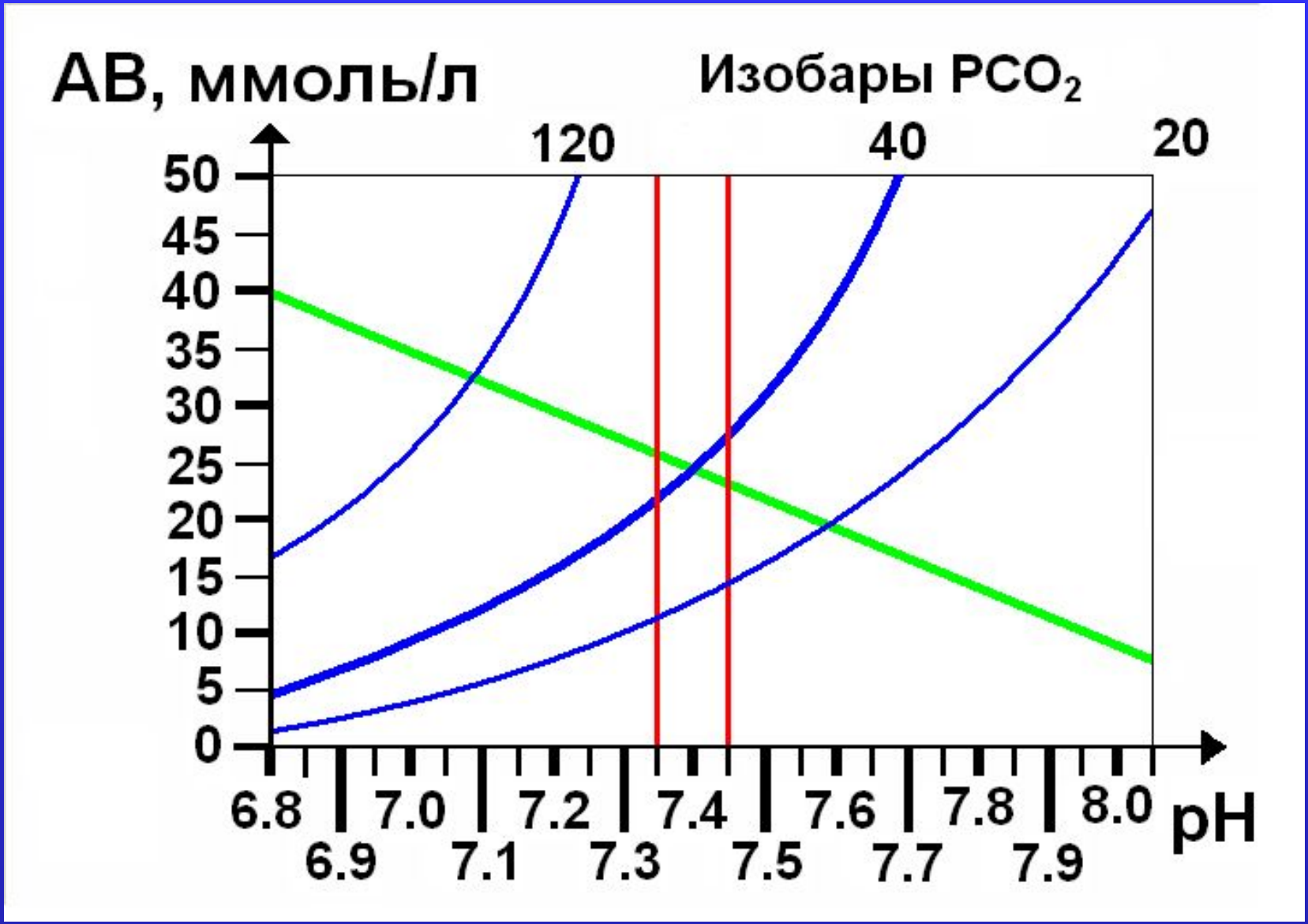
pH - N, $PaCO_2$↓, AB↓ - ?


AB, ммоль/л
Изобары PCO_2
120
40
20
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1
7
2
5
6
3
8
4
6.8
7.0
7.2
7.4
7.6
7.8
8.0
pH
6.9
7.1
7.3
7.5
7.7
7.9

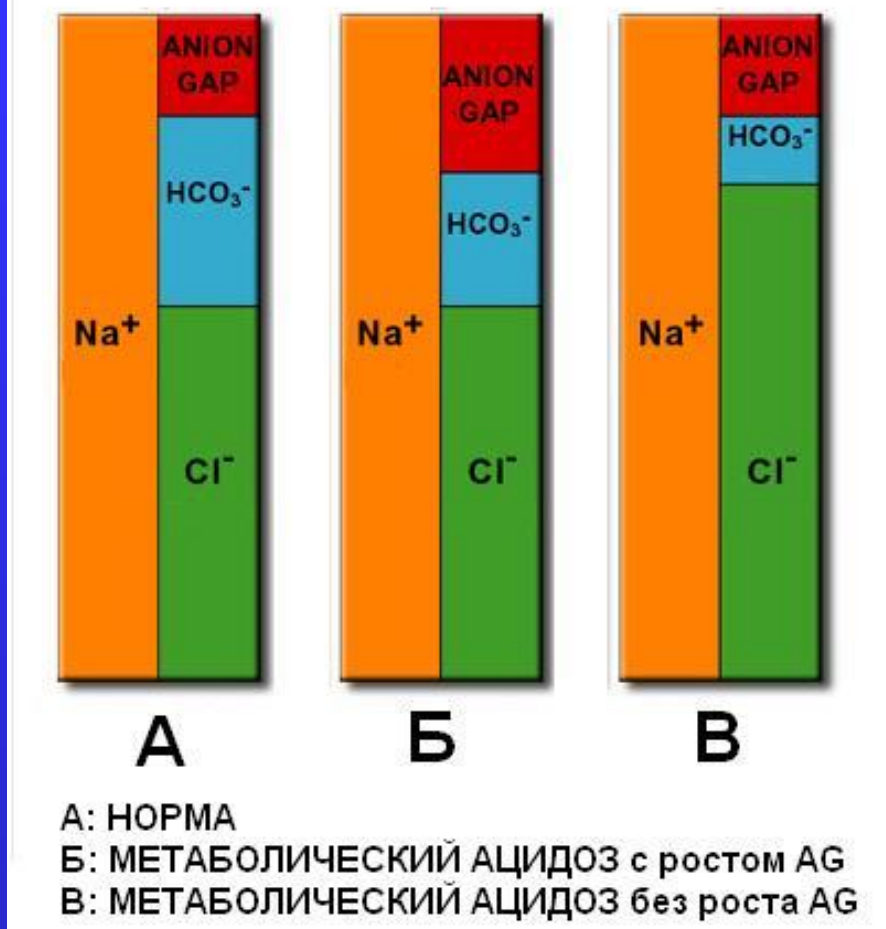
Все возможные случаи…



Номограмма Davenport



Анионный разрыв или Анионный интервал (Anion Gap, AG)



- Сумма анионов «вне анализа»
- Обычно: $Na^+ – (Cl^- + HCO_3^-)$
- Норма: 7—14 ммоль/л
- С учетом калия: $(Na^+ + K^+) – (Cl^- + HCO_3^-)$
- Норма: 10—18 ммоль/л

Метаболический ацидоз БЕЗ увеличения анионного разрыва: BE < –2,3 ммоль/л, AG < 14 ммоль/л

- Потери HCO_3^- через ЖКТ (диарея, свищи, ОКН, уретероэнтеростомия, ионообменные смолы)
- Почечные потери HCO_3^- (тубулярный ацидоз, ингибиторы КА, избыток Cl^-)
- Нарушения функций почек (пиелонефрит, низкая активность ренина плазмы)
- Дефицит альдостерона (гипоальдостеронизм, верошпирон)
- Редкие причины (гипералиментация, быстрая гипергидратация и др.)

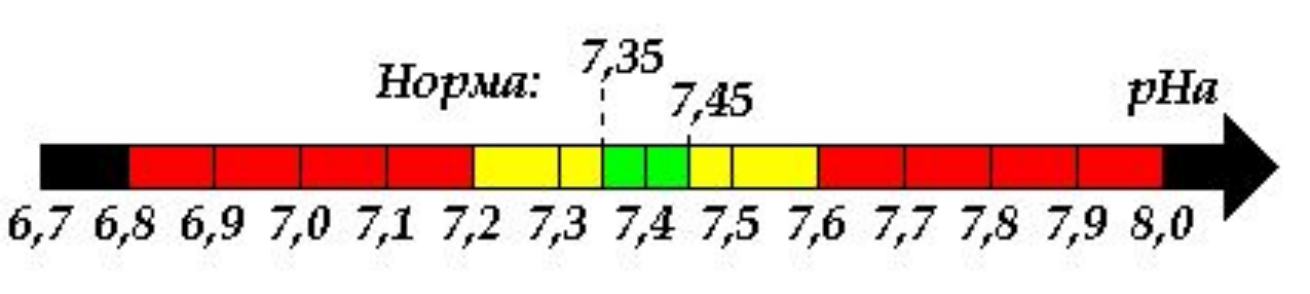
Метаболический ацидоз С увеличением анионного разрыва: BE < –2,3 ммоль/л, AG > 14 ммоль/л

- Повышенная продукция кислот (кетоацидозы, лактатацидоз, азотемия, ферментопатии)
- Отравления кислотами (муравьиная, щавелевая, этиленгликоль, метанол, салицилаты и др.)
- Нарушения выведения кислот (ОПН и ХПН)

Лечение метаболического ацидоза

- Поиск и устранение причины (Гипоксия? Кетоз? ПН?...)
- Только при pH < 7,2 – ощелачивающие растворы:

  $NaHCO_3$ или ТНАМ



Гидрокарбонат натрия («сода»)

- Растворы $NaHCO_3$ бывают 3% и 4%
- Каждый 1% дает 0,12 ммоль/мл
- Расчет: число ммоль $NaHCO_3$ = BE × 0,2 × МТ
- Дает перегрузку натрием (гиперосмолярность!) и CO_2
- За рубежом доступен $KHCO_3$
- Никогда не лить *«просто так»*, кроме случаев СЛР!

Трисамин (трометамин, трис-буфер, трисгидроксиаминометан, ТНАМ)

- Корригирует внутриклеточный ацидоз!
- pH раствора 10,2—10,7
- Изотоничный плазме 3,66% раствор = 0,3 ммоль/мл
- Расчет: число мл 3,66% ТНАМ = ВЕ × МТ
- Интервал между инфузиями не менее 48—72 ч!
- Не перегружает натрием и CO_2!
- Оптимален при глубокой гиперкапнии

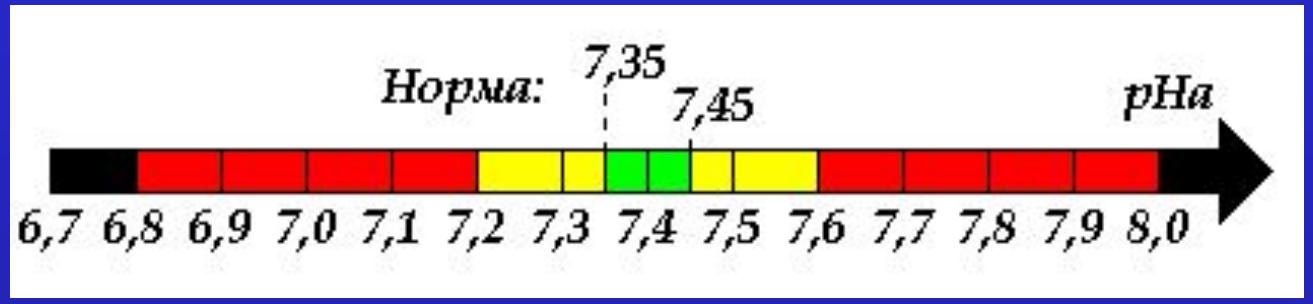
Метаболический алкалоз: BE > 2,3 ммоль/л

- Избыточное поступление оснований (антациды)
- Потери кислот из ЖКТ (рвота, дренаж)
- Нарушение ацидогенеза (салуретики, тиазиды)
- Почечный тубулярный алкалоз (дефицит K^+ или Cl^-, избыток Na^+, альдостеронизм, синдром Кушинга, глюкокортикоиды)
- Быстрая дегидратация
- Быстрая коррекция хронической гиперкапнии
- Массивная трансфузия цитратной крови
- Непаратиреоидная гиперкальциемия

Лечение метаболического алкалоза

- Поиск и устранение причины (Потери? Ятрогения?...)
- Компенсация дефицита K^+
- Только при pH > 7,6 – растворы, подкисляющие среду:

  HCl?...



Респираторный алкалоз: $PaCO_2 < 36$ mm Hg

- Гипервентиляция альвеол

Респираторный ацидоз: $PaCO_2 > 42$ mm Hg

- Гиповентиляция альвеол – абсолютная или относительная
- Нужен ли при этом $NaHCO_3$???

ВОПРОСЫ – ?…