**Электрический ток**

**Действие электрического тока на организм человека**



*Рис. 1.* Действие электрического тока на организм человека

*Термическое действие* *тока* проявляется ожогами отдель­ных участков тела, нагревом до высокой температуры органов (кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и др.), расположенных на пути тока, вызывая в них значительные функциональные рас­стройства.

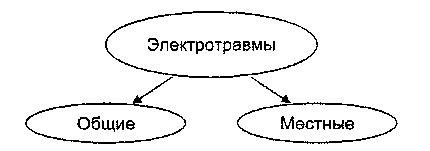
*Электролитическое действие тока* выражается в разло­жении органической жидкости организма (крови, лимфы и др.) и нарушении ее физико-химического состава.

*Механическое действие тока* приводит к расслоению, раз­рыву тканей организма в результате электродинамического эф­фекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара из тканевой жидкости и крови.

*Биологическое действие тока* проявляется раздражением и возбуждением живых тканей организма, что сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями, а также нарушени­ем внутренних биологических процессов.

На производстве число травм, вызванных электрическим то­ком, относительно невелико и составляет 2...5 % их общего коли­чества, однако из всех случаев травм со смертельным исходом на долю электротравм приходится наибольшее количество (порядка 40%). До 80% всех случаев поражения электрическим током со смертельным исходом приходится на электроустановки до 1000В (в первую очередь, работающие под напряжением 220...380 В).

Электротравмы условно разделяют на общие и местные (рис.2).



*Рис.2.* Классификация электротравм

*К общим электротравмам* относятся электрические уда­ры, при которых процесс возбуждения различных групп мышц мо­жет привести к судорогам, остановке дыхания и сердечной дея­тельности. Остановка сердца связана с фибрилляцией — хаоти­ческим и разновременным сокращением отдельных волокон сер­дечной мышцы (фибрилл), в результате которого сердце теряет способность перекачивать кровь, в организме прекращаются про­цессы кровообращения и дыхания и наступает смерть.

Общие электрические травмы, или электрические удары, по тяжести последствий бывают четырех степеней:

• / степень характеризуется судорожным сокращением мышц без потери сознания;

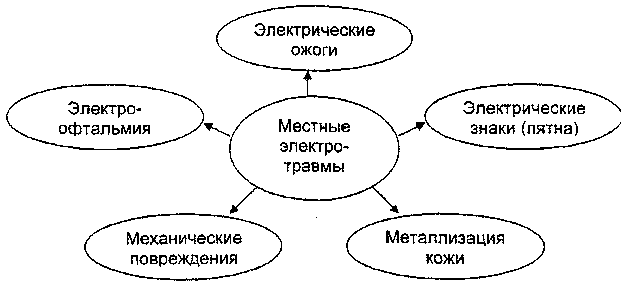
• // степень — сокращением мышц с потерей сознания, но с сохранением дыхания и работы сердца;

• /// степень — потерей сознания и нарушением сердечной дея­тельности или дыхания (или того и другого сразу);

• /*V* степень — клинической (мнимой) смертью, то есть отсутстви­ем дыхания и кровообращения (обычно 4...5 мин, иногда 7...8 мин). Человек не реагирует на болевые раздражители, а зрачки его глаз (резко расширенные) - на воздействие света. Длитель­ность периода клинической смерти определяется временем с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели клеток коры головного мозга. По истечении периода клинической смерти наступает биологическая (истинная) смерть, победить которую невозможно.

Более трети всех электротравм приходится на электриче­ские удары.

Классификация местных травм - четко выраженных мест­ных повреждений тканей организма - представлена на рис. 3



*Рис.3.* Классификация местных электротравм

**Электрические ожоги** вызываются протеканием тока через тело человека, особенно при непосредственном контакте тела с электрическим проводом (токовый или контактный ожог), а также воздействием на тело человека электрической дуги (дуговой ожог), температура которой достигает нескольких тысяч градусов. В пер­вом случае ожог является сравнительно легким (покраснение кожи, образование пузырей). Ожоги, вызванные электрической дугой, но­сят, как правило, тяжелый характер (омертвление пораженного уча­стка кожи, обугливание, сгорание тканей). *Приблизительно 2/3 всех электротравм сопровождается ожогами.*

На коже в тех местах, где проходил электрический ток, **появ­ляются электрические знаки**, представляющие собой уплотненные участки серого или бледно-желтого цвета. Обычно имеют круглую или овальную форму и размеры 1...5 мм с углублением в центре. Встречаются знаки и в виде царапин, небольших ран, как бы поре­зов или ушибов, бородавок, кровоизлияний в кожу, мозолей и мел­коточечной татуировки. Иногда форма знака соответствует форме токоведущtй части, которой коснулся пострадавший, а также может напоминать очертания молнии. Электрические знаки безболезнен­ны и, как правило, излечиваются, и стечением времени пораженная кожа приобретает нормальный вид. *Знаки встречаются примерно у каждого пятого, получившего электротравму.*

**Металлизация кожи** связана с проникновением в нее мель­чайших частиц металла при его расплавлении под влиянием чаще всего электрической дуги. Металл проникает неглубоко, задержива­ясь в верхних слоях кожи. Пораженный участок кожи имеет шерохо­ватую, жесткую поверхность. Иногда наблюдается покраснение ко­жи, вызванное ожогом за счет тепла металлических частиц. По­страдавший ощущает на пораженном участке напряжение кожи от присутствия в ней инородного тела, а в некоторых случаях испыты­вает боль от ожогов. Обычно с течением времени больная кожа сходит, пораженный участок приобретает нормальный вид; исчеза­ют болезненные ощущения. Лишь при поражении глаз лечение мо­жет оказаться длительным и сложным, а в некоторых случаях и безрезультатным. *Металлизация кожи встречается приблизительно у каждого десятого пострадавшего, при этом в большинстве случаев одновременно с металлизацией происходит ожог электриче­ской дугой.*

**Механические повреждения** органов и тканей человеческого тела (разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервов, вывихи суста­вов, переломы костей и др.) в результате судорожных сокращений мышц, вызываемых действием тока, возникают довольно редко. Как правило, это серьезные травмы, требующие длительного лече­ния.

**Электроофтальмия** - воспаление наружных слизистых обо­лочек глаз вследствие мощного ультрафиолетового излучения электрической дуги. Развивается спустя 2...6 ч после облучения. При этом имеют место покраснение и воспаление слизистых оболо­чек век, слезотечение, гнойные выделения из глаз, 'спазмы век и частичное ослепление. Пострадавший испытывает сильную голов­ную боль и резкую боль в глазах, усиливающуюся на свету, то есть возникает так называемая светобоязнь. Обычно болезнь продолжа­ется несколько дней, однако в ряде случаев лечение этого профес­сионального заболевания сложно и длительно. Возможно повреж­дение роговой оболочки, что особенно опасно.

**Факторы, определяющие тяжесть поражения человека электрическим током**

Исход поражения человека электротоком зависит от многих факторов:

• силы тока (основной фактор);

• характеристики тока (переменный или постоянный);

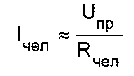
• при переменном токе — от частоты колебаний;

• времени прохождения тока через организм;

• пути тока в теле человека;

• характеристики помещений и условий работы (наличие в помещении токопроводящих полов и пыли, повышен­ной влажности и температуры и др.);

• индивидуальных качеств человека.

Физическим фактором, вызывающим тяжесть электротравмы, является сила тока. Ток, проходящий через тело человека, зави­сит от напряжения прикосновения, под которым оказался постра­давший, и электрического сопротивления тела человека. Величину тока, проходящего через тело человека (1чел , А), условно определяют по закону Ома: 

где *Uпр* - приложенное напряжение (напряжение прикосновения), В; *Rчeл* - сопротивление тела человека, Ом.

Электрическое сопротивление тела человека представляет собой сумму сопротивлений кожи и внутренних тканей.

Величина электрического сопротивления тела человека опре­деляется в основном сопротивлением верхнего слоя кожи, назы­ваемого эпидермисом, толщиной 0,2 мм, состоящим из мертвых ороговевших клеток. При сухой чистой коже и отсутствии повреждений (порезов, царапин, ссадин и других микротравм) со­противление тела человека составляет 2 000...2 000 000 Ом. В слу­чае если кожа повреждена, увлажнена или загрязнена токопроводящей пылью (металлической или углеродной), сопротивление тела человека падает до 1000 Ом и ниже (до 300...500 Ом).

Сопротивление нижних слоев кожи и внутренних тканей че­ловека незначительно, не превышает нескольких сот Ом и существенной роли не играет.

На сопротивление организма воздействию электрического тока оказывает влияние физическое и психическое состояние человека. Нездоровье, утомление, голод, опьянение, эмоциональное возбуж­дение приводят к снижению сопротивления. При расчетах обычно принимают *Rчeл* = 1000 Ом.

Опасность поражения человека электрическим током оце­нивается значением тока *Iчел*, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения *Uпр*.

Характер воздействия тока на человека в зависимости от си­лы и рода тока (переменный или постоянный) приведен в табл. 1.

*Таблица 1.* Характер воздействия электрического тока на человека (путь тока: рука - нога или рука - рука)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сила то­ка, мА | Переменный ток, 50 Гц | Постоянный ток |
| 0,6...1,5 | Начало ощущения - слабый зуд, пощипывание кожи под электро­дами. | Ощущений нет. |
| 2...4 | Ощущение тока распространяется и на запястье руки, слегка сводит руку. |  |
| 5...7 | Болевые ощущения усиливаются во всей кисти руки, сопровожда­ясь судорогами; слабые боли ощущаются во всей руке, вплоть до предплечья. Руки, как правило, можно оторвать от электродов. | Начало ощущения. Впечат­ление нагрева кожи под элек­тродом. |
| 8...10 | Сильные боли и судороги во всей руке, включая предплечье. Руки трудно, но в большинстве случаев еще можно оторвать от электро­дов. | Усиление ощущения нагрева. |
| 10...15 | Едва переносимые боли во всей руке. Во многих случаях руки не­возможно оторвать от электродов. С увеличением продолжительно­сти протекания тока боли усили­ваются. | Еще большее усиление ощу­щения нагрева - как под элек­тродами, так и в прилегающих областях кожи. |
| 20...25 | Руки парализуются мгновенно, оторваться от электродов невоз­можно. Сильные боли, дыхание затруднено. | Еще большее усиление ощу­щения нагрева кожи, возникно­вение ощущения внутреннего нагрева. Незначительные со­кращения мышц рук. |
| 25...50 | Очень сильная боль в руках и гру­ди. Дыхание крайне затруднено. При длительном токе может на­ступить паралич дыхания или ос­лабление деятельности сердца с потерей сознания. | Ощущение сильного нагрева, боли и судороги в руках. При отрыве рук от электродов воз­никают едва переносимые бо­ли в результате судорожного сокращения мышц. |
| 50...80 | Дыхание парализуется через не­сколько секунд, нарушается рабо­та сердца. При длительном проте­кании тока может наступить фиб­рилляция сердца. | Ощущение очень сильного по­верхностного и внутреннего на­грева, сильные боли во всей руке и в области груди. За­труднение дыхания. Руки не­возможно оторвать от электро­дов из-за сильных болей при нарушении контакта. |
| 100 | Фибрилляция сердца через 2...3 с, еще через несколько се­кунд - паралич дыхания. | Паралич дыхания при дли­тельном протекании тока. |
| 300 | То же, за меньшее время. | Фибрилляция сердца через 2...3 с, еще через несколько секунд - паралич дыхания. |
| Более 5000 | Дыхание парализуется немедленно - через доли секунды. Фибрилляция сердца, как правило, не наступает; возможна временная остановка сердца в период протекания тока (несколько секунд). При длительном протекании тока - тяжелые ожоги, разрушение тканей. | |

Принято различать **три ступени воздействия тока** на орга­низм человека и соответствующие им три пороговых значения:

• ощутимое,

• неотпускающее,

• фибрилляционное.

Пока сила тока не достигла порогового ощутимого значе­ния, человек не чувствует его воздействия. Человек, попавший под воздействие переменного тока промышленной частоты (f = 50 Гц), начинает ощущать протекающий через него ток, когда его значение достигает 0,6... 1,5 мА. Для постоянного тока это пороговое значе­ние составляет 5...7 мА. Ощутимый ток вызывает у человека ма­лоболезненные (или безболезненные) раздражения, и человек мо­жет самостоятельно освободиться от провода и токоведущей части, находящейся под напряжением.

Переменный ток величиной 10...15 мА и более и постоян­ный уровнем 50...70 мА (и более) называется пороговым неотпускающим. При действии этих токов у человека возникают непре­одолимые и болезненные судорожные сокращения мышц рук при касании ими (захвате) токопроводящих частей или проводов; чело­век не может самостоятельно разжать руку и освободиться от воз­действия тока. При повышении переменного тока промышленной частоты до 25...50 мА затрудняется или даже прекращается про­цесс дыхания (при воздействии этого тока в течение нескольких ми­нут).

При воздействии переменного тока промышленной частоты величина порогового фибрилляционного тока составляет 100 мА (при продолжительности воздействия более 0,5 с), а для постоянного тока - 300 мА аналогичной продолжительности.

Допустимым считается ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи.

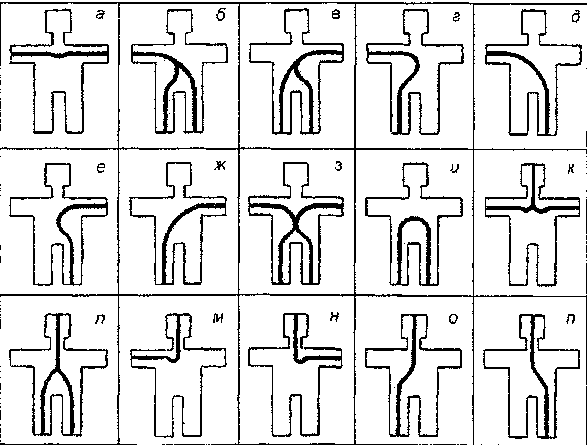
Степень поражения электрическим током зависит также **от рода и частоты тока**. *Известно, что при напряжениях, превышающих 500 В, наиболее опасен постоянный ток, а при меньших напряжениях - переменный*.

*Переменный ток наибольшую опасность представляет при частотах 20...100 Гц.* При частоте меньше 20 или больше 100 Гц опасность поражения током заметно снижается. Токи с частотой выше 500 000 Гц могут вызвать лишь термические ожоги и не ока­зывают раздражающего действия на ткани организма.

**Длительность протекания тока** через тело человека влияет на исход поражения, так как с течением времени резко воз­растает сила тока вследствие уменьшения сопротивления тела за счет возникших изменений в коже и других тканях, а также потому, что в организме человека накапливаются отрицательные последст­вия воздействия тока. Таким образом, чем больше время воздейст­вия тока, тем сильнее будет поражение и тем меньше вероятность восстановления жизненных функций организма.

Существенное влияние на тяжесть поражения человека элек­трическим током оказывает путь, по которому он распространя­ется в организме. **Путь тока через тело человека** зависит от места его прикосновения к оголенным проводам или токоведущим частям. Возможных путей протекания тока через тело человека очень много, однако в практике встречается обычно не более 15, представлен­ных на рис.4. Наиболее характерны следующие цепи; рука - рука, руки - ноги и нога - нога.

Из возможных путей протекания тока через тело человека наиболее опасен тот, при котором поражается головной мозг (голова - руки, голова - ноги), а также сердце и легкие (руки - но­ги). Наименее опасным является путь нога - нога, который возника­ет при воздействии на человека так называемого шагового напря­жения.



*Рис.4.* Характерные пути тока в теле человека: а - рука - рука; б - правая рука - ноги; в - левая рука - ноги; з - правая рука - правая нога; д - правая рука - правая нога; е - левая рука - левая нога; ж - левая рука - правая нога; з - обе руки - обе ноги; и - нога - но­га; к - голова - руки; л - голова - ноги; м - голова - правая рука; н - голова - левая рука; о - голова - правая нога; п - голова - левая нога

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает следующие предельно до­пустимые напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека, для путей рука - рука и рука - нога при нормаль­ном (неаварийном) режиме работы электроустановки и продолжи­тельности воздействия не более 10 мин. в сутки: для переменного тока частотой 50 Гц соответственно 2 В и 0,3 мА; для постоянного -8 В и 1 мА.

**Условия, в которых работает человек**, могут увеличивать или уменьшать опасность его поражения электрическим током. К ним относятся влажность, температура воздуха, наличие в помеще­ниях токопроводящих полов и пыли, химически активной или орга­нической среды и др. Неблагоприятный микроклимат (повышенная температура, влажность) увеличивает опасность поражения то­ком, так как влага (пот) понижает сопротивление кожных покровов. В связи с этим согласно ГОСТ12.1.038-82 для лиц, выполняющих ра­боту в условиях высоких температур (выше 25° С) и влажности (от­носительная влажность более 75%), значения предельно допусти­мых уровней напряжений и токов должны быть уменьшены в 3 раза.

**Индивидуальные качества человека**, в первую очередь со­стояние его здоровья, обученность правильной и безопасной работе на электроустановках (с присвоением соответствующей квалифика­ции и группы) во многом определяют как саму возможность пораже­ния, так и исход поражения человека электрическим током.

Практикой установлено, что вполне здоровые и физически крепкие люди легче переносят электрические удары, нежели боль­ные и слабые. Повышенной восприимчивостью к электрическому току обладают лица, страдающие рядом заболеваний, в первую очередь болезнями кожи, сердечнососудистой системы, органов внутренней секреции, легких, нервными болезнями и др. Имеют значение также степень внимания и сосредоточенности человека на процессе выполняемой им работы, степень утомления, моральное состояние и т.п.

Исход воздействия тока в значительной степени зависит от квалификации пострадавшего. Человек, далекий от электротехники, в случае попадания под напряжение оказывается, как правило, в более тяжелых условиях, чем опытный электротехник, умеющий правильно оценить степень возникшей опасности и применить ра­циональные приемы освобождения себя от действия тока.

**Классификация помещений по опасности поражения электрическим током**

***Условия, в которых работает человек***, могут увеличивать или уменьшать опасность его поражения электрическим током. К ним относятся сырость, высокая температура воздуха, наличие в помещениях токопроводящей пыли, химически активной или органической среды и др. Неблагоприятный *микроклимат* (*повышенная температура, влажность*) *увеличивает опасность пораже­ния током*, так как влага (пот) понижает сопротивление кожных покровов. Для учета условий, в которых находится работающий, ***все помещения*** *(согласно Правилам устройства электроустановок)* ***принято делить по степени опасности поражения током*** на три категории (*табл.2*):

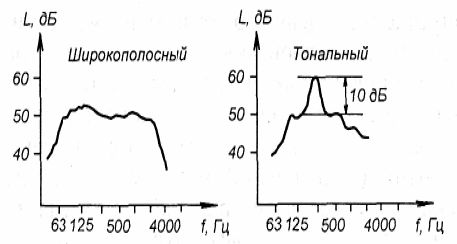
* *без повышенной опасности,*
* *с повышенной опасностью,*
* *особо опасные*.

*Таблица 2*

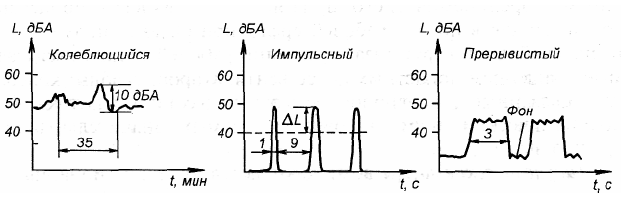
Характеристика помещений по степени опасности поражения электрическим током

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Без повышенной опасности | С повышенной опасностью | Особо опасные |
| *- Сухие* (с относительной влажностью воздуха, не превышающие 60%),  *- беспыльные*,  - с *нормальной температурой воздуха* и  *- с изолирующими* (например, деревянными) *полами.* | Наличие *одного* из следующих условий:  *- сырость*  (помещения называют сырыми, если относительная влажность в них превышает 75%),  *- токопроводящая пыль* (металлическая, углеродная и др.),  - *токопроводящие полы* (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные),  - *высокая температура*, длительно превышающая 35°С или кратковременно 40°С,  - *возможность одновременного прикосновения к металлическим деталям и корпусам электрооборудования,* которые при повреждении изоляции могут оказаться под напряжением, *и заземленным конструкциям* | 1. Наличие *одного* из следующих условий:  *- особая сырость*  (стены, пол и потолок таких помещений покрыты влагой, относительная влажность воздуха в них близка к 100%),  - *наличие химически активной* (агрессивные газы, пары, жидкости) *или органической* (плесень и т.д.) среды, которые разрушающе действуют на электроизоляцию и токоведущие части оборудования.  2. При наличии *двух и более условий повышенной опасности* (например, высокая температура и токопроводящая пыль) в помещении |
| К ним относятся как жилые, так и производственные помещения, например, цеха приборных предприятий и радиозаводов, лаборатории, КБ, заводоуправление, конторские помещения и др. | Лестничные клетки различных зданий с токопроводящими полами, цеха механической обработки материалов, складские неотапливаемые помещения и др. | Помещения гальванических цехов; моечные отделения; замкнутые металлические емкости, в которых производится работа и др. |

**Шум**

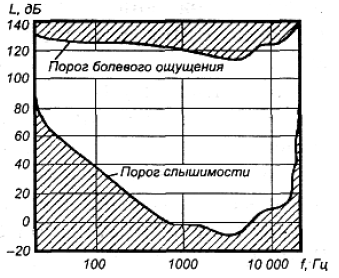


*Рис.3.16.* Классификация шума по спектральным характеристикам



*Рис.3.17.* Классификация шума по временным характеристикам

Область слышимых звуков ограничена двумя пороговыми кривыми: нижняя – порогом слышимости, верхняя – порогом болевого ощущения (рис.3.18).



*Рис.3.18.* Слуховое восприятие человека

**Электромагнитные излучения**

*Таблица 3.6.* Классификация электромагнитных волн

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Длина волны, см | Тип излучения | Частота излучения, Гц |
| 100 000 000 000 1011  10 000 000 000 1010  1 000 000 000 109  100 000 000 108  10 000 000 107  1 000 000 106 | Электрические волны | 10-1  100  101  102  103  104 |
| 100 000 105  10 000 104  1 000 103  100 102  10 101 | Радиоволны | 105  106  107  108  109 |
| 1 100  0,1 10-1  0, 01 10-2  0.001 10-3 | Инфракрасные лучи | 1010  1011  1012  1013 |
| 0, 0001 10-4 | Видимый свет | 1014 |
| 0, 00001 10-5  0,000001 10-6 | Ультрафиолетовые лучи | 1015  1016 |
| 0.0000001 10-7  0.00000001 10-8  0,000000001 10-9 | Рентгеновские лучи | 1017  1018  1019 |
|  | Гамма-лучи | 1020 |



Поэтапное воздействие всех видов ионизирующих излучений на любой живой организм

***Заряженные частицы:***

Проникающие в ткани организма альфа- и бета-частицы теряют энергию вследствие электрических взаимодействий с электронами тех атомов, близ которых они проходят. Гамма-излучение и рентгеновские лучи передают свою энергию веществу несколько иными способами, которые, в конечном счете, также приводят к электрическим взаимодействиям.

***Электрические взаимодействия:***

За время порядка десяти триллионных секунды после того, как проникающее излучение достигнет соответствующего атома в ткани организма, от этого атома отрывается электрон. Электрон заряжен отрицательно, поэтому остальная часть исходного нейтрального атома становится положительно заряженной. Этот процесс называетсяионизацией**.** Оторвавшийся электрон может далее ионизировать другие атомы.

***Физико-химические изменения:***

И свободный электрон, и ионизированный атом обычно не могут долго пребывать в таком состоянии и в течение следующих десяти миллиардных долей секунды участвуют в сложной цепи реакций, в результате которых образуются новые молекулы, включая и такие чрезвычайно реакционно-способные, как свободные радикалы.

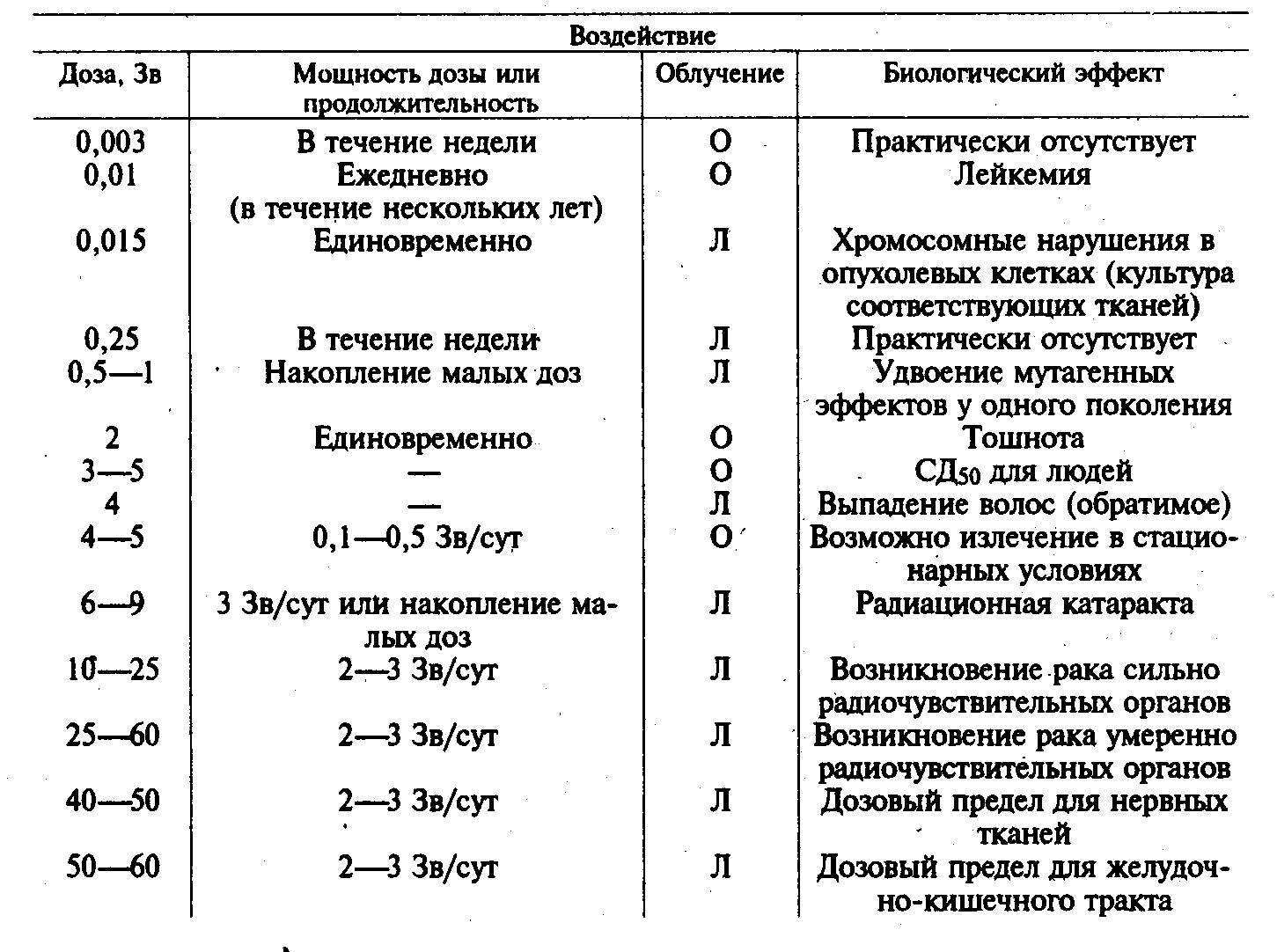
***Химические изменения:***

В течение следующих миллионных долей секунды образовавшиеся свободные радикалы реагируют как друг с другом, так и с другими молекулами и через цепочку реакций, еще не изученных до конца, могут вызвать химическую модификацию важных в биологическом отношении молекул, необходимых для нормального функционирования клетки.

***Биологические эффекты:***

Биохимические изменения могут произойти как через несколько секунд, так и через десятилетия после облучения и явиться причиной немедленной гибели клеток или таких изменений в них, которые могут привести к мутациям, раку и др.

*Рис.* Поэтапное воздействие всех видов ионизирующих излучений на живой организм

*Таблица.* Радиационное воздействие и соответствующие биологические эффекты

Примечание: О – общее облучение тела; Л- локальное облучение