

© КАШУБА Н.А., 2017

УДК 612.2.064:614.715]-07

Кашуба Н.А.

### О НОВЫХ ПОДХОДАХ К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ПЫЛИ НА ОРГАНЫ ДЫХАНИЯ

ГВУЗ «Тернопольский государственный медицинский университет имени И.Я. Горбачевского» МЗ Украины, 46001, Тернополь, Украина

*Рассмотрены особенности аэродинамики аэрозолей в дыхательных путях в процессе дыхания. Предложены новые методологические подходы к оценке интенсивности воздействия пыли на органы дыхания человека. Исследовано отличие дисперсного состава и весовых концентраций вдыхаемой пыли от пыли воздуха рабочей зоны. Определены дисперсный состав и весовые концентрации хлопковой пыли, задерживающейся отдельными участками органов дыхания. Обнаружена избирательная способность отдельных участков органов дыхания задерживать пылевые частицы различных размеров. Установлена закономерность распределения пылевых частиц различного дисперсного состава и весовых концентраций по отдельным участкам органов дыхания.*

**Ключевые слова:** пыль; органы дыхания; дисперсность; весовые концентрации.

**Для цитирования:** Кашуба Н.А. О новых подходах к оценке влияния пыли на органы дыхания. *Гигиена и санитария*. 2018; 97 (3): 264-268. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-3-264-268>

**Для корреспонденции:** Кашуба Николай Алексеевич, проф. ГВУЗ «Тернопольский государственный медицинский университет имени И.Я. Горбачевского» МЗ Украины, 46001, Тернополь, Украина. E-mail: [n.kashuba@gmail.com](mailto:n.kashuba@gmail.com)

Kashuba N.A.

#### ABOUT NEW APPROACHES IN THE ESTIMATION OF THE IMPACT OF DUST ON THE RESPIRATORY SYSTEM

I. Horbachevsky Ternopil State Medical University, Ternopol, 46001, Ukraine

*Features of the aerodynamics of aerosols in the respiratory tract during respiration are considered. New methodological approaches to the evaluation of the intensity of the exposure to dust on the human respiratory organs are proposed. The difference in the dispersion composition and in the weight concentrations of the inhaled dust from the dust of the working zone air was studied. The dispersed composition and weight concentrations of cotton dust retained by separate parts of the respiratory organs were investigated. The selective ability of separate parts of respiratory organs to detain dust particles of various sizes has been detected. The regularity of the distribution of dust particles of different disperse composition and weight concentrations over separate parts of the respiratory organs is established.*

**Key words:** dust; respiratory system; dispersity; weight concentration.

**For citation:** Kashuba N.A. About new approaches in the estimation of the impact of dust on the respiratory system. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(3): 264-268.. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-3-264-268>

**For correspondence:** Nikolay A. Kashuba, MD, PhD, I. Horbachevsky Ternopil State Medical University, Ternopol, 46001, Ukraine. E-mail: [n.kashuba@gmail.com](mailto:n.kashuba@gmail.com)

*Conflict of interest.* The authors declare no conflict of interest.

*Acknowledgement.* The study had no sponsorship.

Received: 14 April 2016

Accepted: 04 October 2016

## Введение

Оценка риска возникновения профессионального заболевания является важным моментом в работе страховых компаний. Однако существует различие в подходах к оценке популяционного и индивидуального риска [1]. В основе расчетов популяционного риска лежат результаты исследований распространенности тех или иных профессиональных заболеваний в данном или аналогичном производстве у рабочих соответствующих профессий с учетом возраста, стажа, пола и т.д. Вместе с тем понятно, что при проведении эпидемиологических исследований значительная часть важных с точки зрения формирования патогенеза индивидуальных особенностей организма рабочих зачастую не может быть принята во внимание. Это существенно снижает точность оценки индивидуального риска. Известно, что при оценке риска возникновения профессиональной патологии органов дыхания у рабочих пылеопасных профессий, как и во всех других случаях, не учитываются анатомо-физиологические особенности строения как респираторной системы, так и орга-

низма в целом, а также индивидуальная интенсивность нагрузки на дыхательную систему при выполнении производственных операций и т.д. В основе оценки риска лежит установление зависимости между дозой и эффектом. Следует заметить, что сегодня при установлении зависимости между дозой и эффектом, как правило, основываются на результатах измерений величины среднесменной весовой концентрации взвешенных в воздухе рабочей зоны частиц пыли или их респираторной фракции.

В основе принципа работы практически каждого из приборов для отбора проб лежит метод аспирации аэрозоля для проведения дальнейших исследований. В случае, когда речь идет об исследованиях частиц, содержащихся в воздухе, рассмотренные методы являются адекватными. Однако медиков, биологов, гигиенистов больше интересует концентрация и состав аэрозоля, проникающего в органы дыхания. В этом случае указанные методы неприемлемы [2]. Это объясняется тем, что при дыхании воздушный поток движется с неравномерной скоростью и с периодическим изменением вектора движения на диаметрально противоположный. При этом аэродинамика воздушного потока при вдохе и вы-



Рис. 1. Схема движения воздуха при вдохе.

► Рис. 2. Схема движения воздуха при выдохе.

дохе будет существенно различаться. При вдохе вокруг рта образуется депрессионная воронка в виде полусферы, а при выдохе воздух движется в виде конусообразной струи (рис. 1, 2).

Как видно из формул  $V = 4/6 \pi r^3$  и  $V = 1/3 \pi r^2 H$ , при одинаковом радиусе ротового отверстия условный объем и поверхность границ воздушных потоков также будут различными. Следовательно, при одинаковой скорости движения воздуха через ротовое отверстие скорость воздуха в конусе будет выше, чем в полусфере. Более того, во время выдоха вследствие большой скорости движения струи воздуха образуются турбулентные потоки, которые засасывают окружающий воздух и частицы аэрозоля и направляют движение последних от зоны дыхания. При вдохе преобладают ламинарные потоки с меньшими скоростями движения воздуха, что по-другому влияет на аэродинамику частиц [3]. Часть их энергии идет на торможение частиц, которые двигались от зоны дыхания. Поскольку частицы больших размеров и соответственно большей массы обладают большей инерцией, они будут в меньшем количестве попадать в органы дыхания. Большое значение в этом случае имеет также форма частиц [4]. Конечно, во всех этих случаях не принимается во внимание множество других параметров производственной среды, таких как условия труда рабочего, антропометрические и физиологические особенности работающего, вентиляция, термогравитационная конвекция воздуха, движение механизмов и людей, форма и объем помещений – факторы, которые влияют на концентрацию и дисперсный состав аэрозолей с твердой нерастворимой дисперсной фазой (АТНДФ). Очевидно, что тяжесть и напряженность труда рабочего влияют на глубину и частоту дыхания, что приводит к росту величины поглощенной дозы (ПД – масса пыли, оседающей на отдельных участках органов дыхания, из массы вдыхаемой пыли). При оценке риска возникновения профессионального заболевания это обстоятельство во внимание не принимается.

Процесс седиментации частиц в органах дыхания обусловлен большим количеством факторов. Главными из них являются: 1) инерционное оседание частиц на стенках органов дыхания, которое зависит от размера и массы частиц, скорости движения потока, диаметра дыхательных путей, углов их ветвления, сил, которые возникают и действуют на частицы при изменении направления воздушного потока; 2) адгезивные свойства стенок дыхательных путей (особенности строения эпителиальной стенки, наличие на ней секрета и его состав; 3) адгезивные свойства частиц (форма, заряд, размер) [5]. Все эти и другие факторы влияют на степень задержки отдельных фракций частиц различными участками органов дыхания. Иначе говоря, каждой фракции присущ свой характер распределения по отдельным участкам и, следовательно, различный вклад ее в формирование патологического процесса в местах локализации [2, 6]. Поэтому установление места локализации этих фракций и исследование их кумулятивной способности должно быть предметом внимания исследователей. Величина поглощенной дозы и пылевой нагрузки (масса пыли, накопившейся в органах дыхания в течение стажа работы) в значительной степени зависит от дисперсного состава и весовых концентраций аэрозоля, анатомо-физиологических особенностей органов дыхания человека, способа дыхания (ртом, носом), а также интенсивности выполняемой работы [2, 7]. Очевидно, что все эти факторы влияют на интенсивность и характер развития патологического процесса, а, следовательно, должны быть учтены при оценке риска развития профессиональной патологии органов дыхания. Нами был предложен

способ и создан, а в дальнейшем усовершенствован прибор, позволяющий проводить такие исследования.

Задачей исследований было установить дисперсный состав и весовые концентрации каждой фракции, оседающей в той или иной области органов дыхания при выполнении трудового процесса определенной интенсивности, и на основании этого фактическую величину поглощенной дозы.

## Материал и методы

Отбор проб вдыхаемой и выдыхаемой пыли у испытуемых проводился при помощи разработанного нами устройства (принцип его действия изложен в авторских патентах на изобретение [8, 9]). Исследуемая пыль осаждалась на фильтры АФА с последующим измерением ее весовых концентраций. Кинеметрические исследования проводились по методике, предложенной Европейским региональным бюро ВОЗ [10]. Определение дисперсного состава и весовых концентраций пыли, осевшей на отдельных участках органов дыхания за один дыхательный цикл вдох–выдох, проводился расчетным методом на основании данных, полученных при исследованиях дисперсного состава и весовых концентраций вдыхаемой и выдыхаемой пыли. При этом полученные результаты гравиметрических и кинеметрических исследований вдыхаемой (выдыхаемой) испытуемым пыли за период проводимого исследования пересчитывались на один дыхательный цикл вдох–выдох. Расчет массы пыли, осевшей в отдельных участках органов дыхания, проводился за один дыхательный цикл вдох–выдох по следующим формулам:

масса пыли, осевшей на 1-м участке органов дыхания:

$$M1 = C0 - (v1 + C1);$$

масса пыли, осевшей на 2-м участке органов дыхания:

$$M2 = m1 - (m2 + C2);$$

масса пыли, осевшей на 3-м участке органов дыхания:

$$M3 = m2 - C3;$$

масса пыли, поступившей в участки органов дыхания, которые расположены ниже 1-го исследуемого участка дыхательных путей:

$$m1 = ((V0 - V1) \cdot C1)/V1;$$

масса пыли, поступившей в участки органов дыхания, которые расположены ниже 2-го исследуемого участка дыхательных путей:

$$m2 = [(V0 - (V1 + V2)) \cdot C2]/V2,$$

где  $C0$  – масса пыли, вдыхаемой за 1 вдох;  $C1$  – масса пыли, выдыхаемой за 1 выдох с 1-го участка дыхательных путей;  $C2$  – масса пыли, выдыхаемой за 1 выдох со 2-го участка дыхательных путей;  $C3$  – масса пыли, выдыхаемой за 1 выдох с 3-го участка дыхательных путей;  $V0$  – объем одного вдоха;  $V1$  – объем 1-го участка дыхательных путей (по данным антропометрических таблиц);  $V2$  – объем 2-го участка дыхательных путей (по данным антропометрических таблиц);  $(V0 - (V1 + V2))$  – объем 3-го участка органов дыхания, т. е. участка, расположенного ниже 2-го участка дыхательных путей.

## Результаты и обсуждение

С целью определения величины поглощенной дозы аэрозоля нами был проведен ряд исследований. Поскольку в данном случае предметом исследования был аэрозоль растительного происхождения с низким удельным весом, в органы дыхания проникали частицы больших размеров. Кроме того, следует учесть, что речь идет о проекционном диаметре частицы ( $Dp$ ), который в поле зрения оптического микроскопа, больше от проекционного [10].

Исследования показали, что масса и дисперсный состав пыли в воздухе рабочей зоны и во вдыхаемом воздухе существенно различаются (рис. 3). Суммарная масса частиц размером более 30 мкм представлена в значительно большей мере в структуре пыли воздуха рабочей зоны, чем в структуре вдыхаемой пыли. В то же время суммарная масса частиц размером менее 30 мкм, наоборот, представлена в большей степени в структуре вдыхаемой пыли, чем в пыли воздуха рабочей зоны. Также установлено, что масса пыли в воздухе рабочей зоны может в 4–5 раз

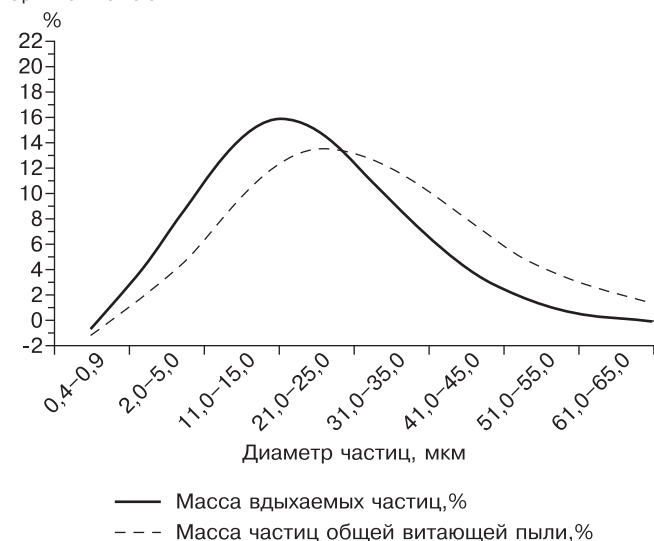


Рис. 3. Распределение общей массы по фракциям в пыли воздуха рабочей зоны и во вдыхаемой пыли.

превышать массу вдыхаемой пыли, если принимать во внимание массу частиц размером более 65 мкм. (В состав растительной пыли входят частицы размером 100 мкм и более.) В то же время количественный состав частиц общей витающей пыли и вдыхаемой пыли различаются меньше.

Это объясняется тем, что частицы размером менее 2 мкм в отличие от более крупных частиц обладают высокой способностью проникать в органы дыхания. Таким образом, крупнодисперсные частицы, которые составляют основную часть весовой концентрации пыли (рост массы частиц находится в кубической зависимости от радиуса частицы —  $\frac{4}{3}\pi r^3\rho$ , что и объясняет доминирующую роль крупнодисперсной фракции пыли в общей массе пыли), в общем количестве пылевых частиц составляют незначительную часть.

Как видно на рис. 4, частицы размером более 40 мкм имеют незначительную (до 10%) проникающую способность. Частицы размером менее 5 мкм, которые проникают в альвеолы, имеют высокую (более 80%) проникающую способность. Что касается частиц размером менее 1 мкм, то они практически все попадают в органы дыхания.

Очевидно, что при выдохе часть пылинок, попавших в органы дыхания, будет выдыхаться наружу. Количество частиц различных размеров в выдыхаемом воздухе будет зависеть от многих факторов (способ и интенсивность дыхания, особенности

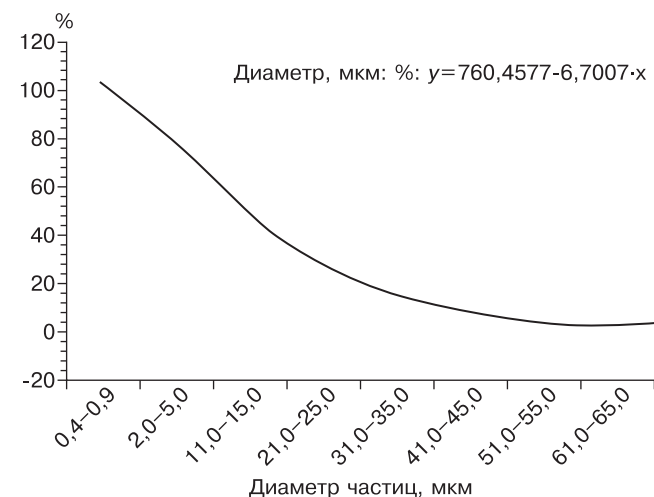


Рис. 4. Способность различных фракций пыли проникать в органы дыхания (в % от общего количества).

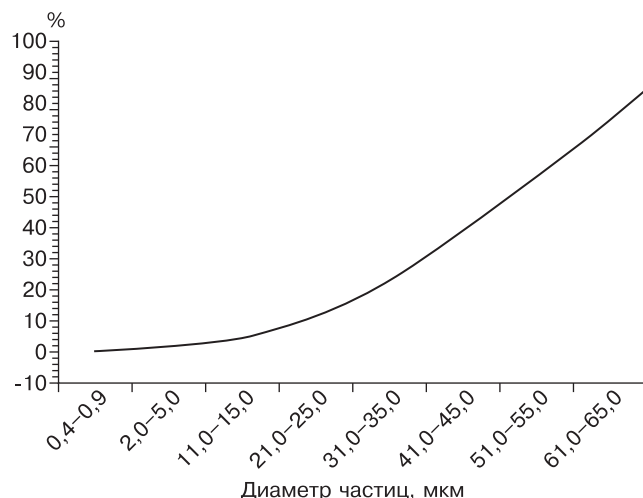


Рис. 5. Эффективность задержки частиц различных размеров носоглоткой по сравнению с ротоглоткой (в %).

строения дыхательных путей, глубина проникновения частиц и т. д.), однако решающим фактором в этом процессе будет размер частицы.

Таким образом, дисперсный состав, количество частиц, осевших в органах дыхания, их локализация зависят от того, сколько и какие частицы не только вдыхаются, но и выдыхаются. Именно эта разница и составляет поглощенную дозу пыли.

Следует заметить, что результаты данных исследований не могут распространяться на все виды пыли. В данном случае речь идет о хлопковой пыли, частицы которой имеют малый удельный вес, а потому гораздо большую проникающую способность, чем частицы с высоким удельным весом. Не последнюю роль играет и форма частиц, что особенно важно для хлопковой пыли. Однако в целом установленные закономерности распределения частиц в органах дыхания во всех случаях будут аналогичны и для других видов пыли.

С аэродинамической точки зрения большое значение имеет способ дыхания. На рис. 5 графически изображена эффективность задержки различных фракций пыли при дыхании носом по сравнению с таковой при дыхании ртом. Как видно на рис. 5, при дыхании носом частицы больших размеров гораздо больше задерживаются носом, чем ртом. Это означает, что в этом случае частицы больше накапливаются в верхних дыхательных путях и в первую очередь в носоглотке. При дыхании ртом они способны проникать глубже и в первую очередь в трахею и гортань. Вместе с тем для частиц пыли размером менее 15 мкм подобное явление выражено незначительно. Таким образом, при дыхании ртом в первую очередь возникает риск развития заболевания гортани, трахеи и в значительной степени бронхов. Для развития пневмокозиозов это обстоятельство является менее важным [2].

Нами установлено, что распределение массы депонированной пыли по отдельным участкам органов дыхания имеет свои особенности.

На рис. 6 видно, что масса пыли, осевшей в органах дыхания, неравномерно распределяется по отдельным участкам органов дыхания. Основная часть всей массы пыли, осевшей в органах дыхания, депонируется в верхних дыхательных путях, гортани, трахее. Пыль, которая накапливается в альвеолах, составляет незначительную часть массы всей депонированной пыли.

Однако общее количество частиц, осевших в органах дыхания, распределяется по их отдельным участкам иным образом. Подавляющее количество всех частиц седиментирует в альвеолах (рис. 7).

Таким образом, основная масса пыли накапливается в верхних дыхательных путях, а основное количество пылевых частиц — в альвеолах.

В силу различных аэродинамических свойств разных фракций, особенностей анатомического строения дыхательных путей, физиологических особенностей процесса дыхания пылевые частицы различных размеров в разном количестве задерживаются в

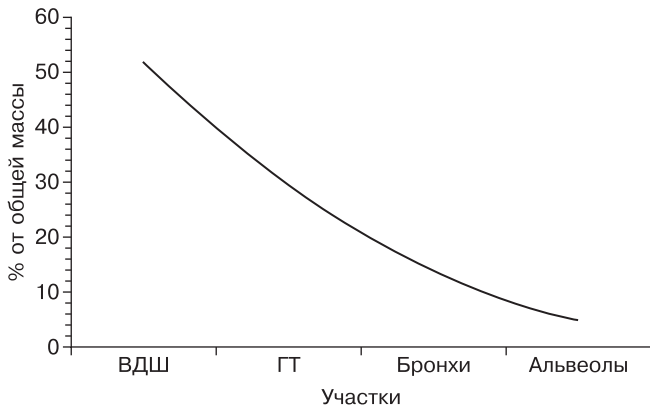


Рис. 6. Общая масса частиц различных размеров, которые осели на отдельных участках органов дыхания, при смешанном типе дыхания (в % от общей массы частиц, осевших в органах дыхания).

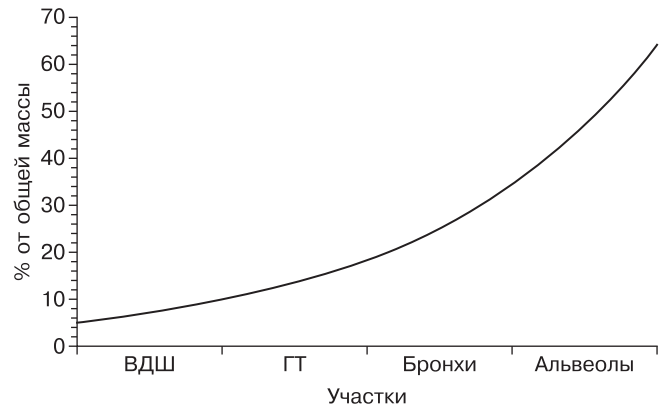


Рис. 7. Общее количество частиц различных размеров, осевших на отдельных участках органов дыхания при смешанном типе дыхания (в % от общего количества частиц, осевших в органах дыхания).

тех или иных участках органов дыхания. Как видно на рис. 8, пылевые частицы фракций размером 26–70 мкм преимущественно оседают в носоглотке. При этом частицы размером более 51 мкм практически не проникают в участки, расположенные ниже.

Из рис. 8 также следует, что существуют фракции, имеющие склонность к седиментации в определенных участках органов дыхания, и фракции, которые способны поражать почти все (за исключением альвеол) участки.

Для оценки риска развития того или иного патологического процесса в органах дыхания важно выяснить, как распределяется общая масса пыли по отдельным участкам дыхательных путей.

Нами установлено, что общая масса пыли, осевшей в органах дыхания, распределяется по отдельным фракциям следующим образом (рис. 9). 65,6% общей массы составляют частицы размером 31–70 мкм, которые оседают только в верхних дыхательных путях. Фракция 31–50 мкм составляет основную часть массы – 41,73%, на долю фракции 51–70 мкм приходится 23,40% всей массы. Частицы фракции 6–30 мкм относительно равномерно представлены в носоглотке, гортани, трахее и бронхах и составляют 33,23% всей массы. При этом в бронхах их оседает лишь 12,38% массы пыли. Частицы размером менее 5 мкм составляют 1,34% всей массы пыли, осевшей в органах дыхания. При этом основная часть их оседает в альвеолах – 1,9% и 0,2% в бронхах.

Однако интенсивность воздействия пыли связана не только с ее весовой концентрацией. Известно, что с уменьшением размера частицы растет ее химическая активность (это объясняется тем, что с уменьшением радиуса частицы возрастает удельный вес ее поверхности на единицу массы) и способность проникать в дыхательные пути. В связи с этим нами были проведены исследования особенностей распределения общего количества частиц по отдельным участкам органов дыхания. Как видно на рис. 10, доминирующими в общем количестве частиц, осевших в органах дыхания, являются мелкодисперсные частицы; в альвеолах задерживается наибольшее количество частиц, представляющих собой мелкодисперсную фракцию.

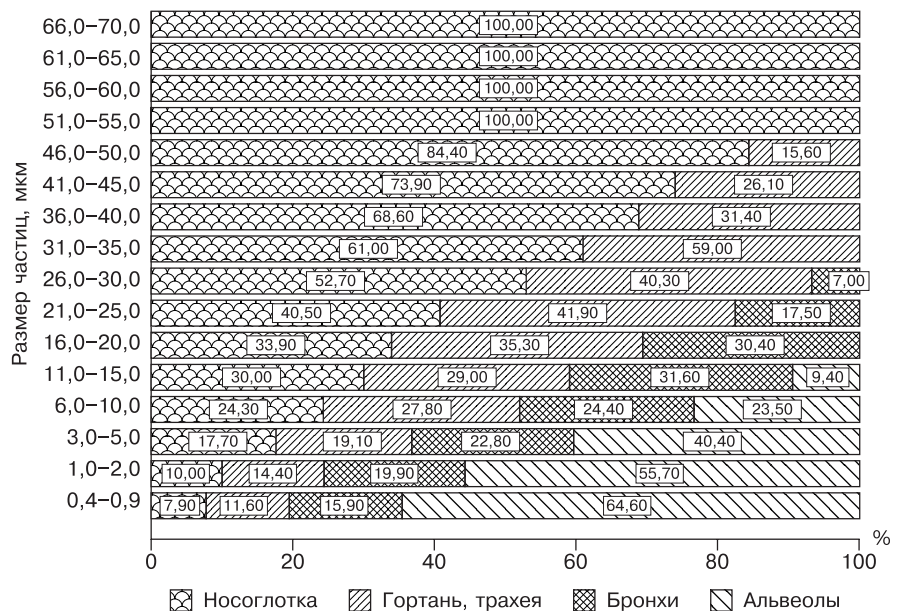


Рис. 8. Распределение отдельных фракций пыли по отдельным участкам органов дыхания при смешанном типе дыхания в состоянии покоя (в % от общего количества частиц во фракции).

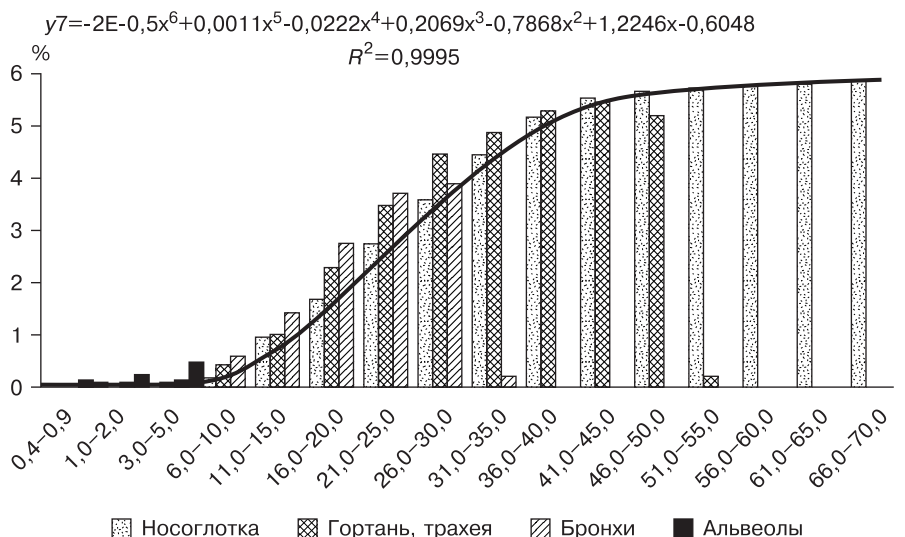


Рис. 9. Распределение всей массы частиц различных размеров, осевших в органах дыхания, по отдельным участкам (в % от общей массы пылевых частиц всех фракций).

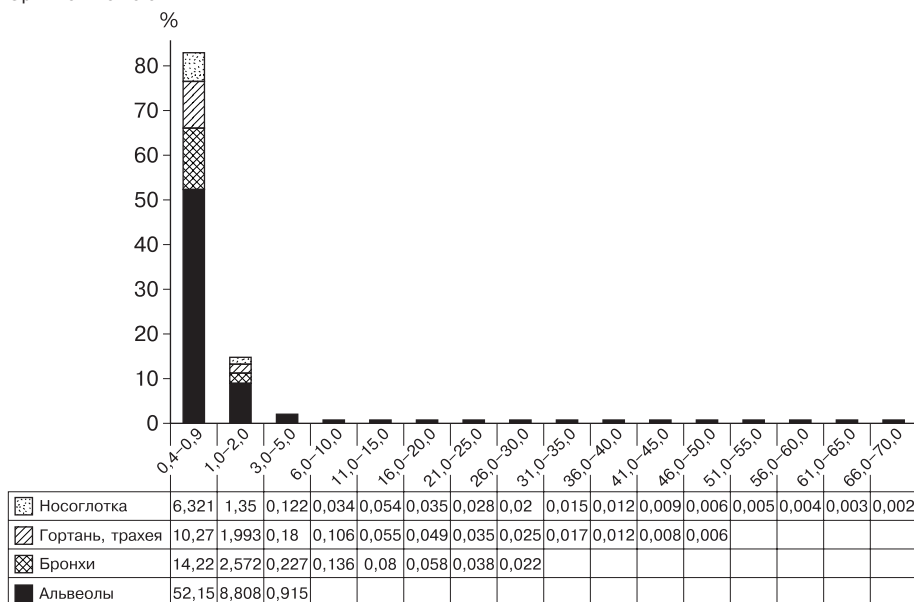


Рис. 10. Распределение количества пылевых частиц различных размеров по отдельным участкам органов дыхания (в % от общего количества).

Установлено, что частицы размером до 5 мкм (относящиеся к респираторной фракции пыли) [4, 11], составляют 99,08% всего количества частиц, осевших в органах дыхания. При этом в альвеолах этих частиц оседает 61,87% от общего количества осевших частиц.

Частицы размером 0,4–0,9 мкм составляют 82,96% частиц всех размеров, осевших в органах дыхания, при этом 52,15% их находится в альвеолах и 14,22% в бронхах. В то же время частицы размером 0,4–0,9 мкм составляют 84,28% от всех частиц, осевших в альвеолах. Частицы размером от 6 до 30 мкм составляют 0,8% от общего количества, частицы размером от 31 до 50 мкм – 0,1%, а частицы размером от 51 до 70 мкм – только 0,02% от общего количества.

Как видно из проведенных исследований, процесс задержки пыли в органах дыхания достаточно сложный и зависит от многих факторов, которые между собой сложно и противоречиво связаны и которые не всегда можно учесть при построении математических моделей для определения пылевой нагрузки на основе данных о весовых концентрациях общей пыли или ее респираторных фракций. Общие весовые концентрации пыли в воздухе рабочей зоны и прежде всего их крупнодисперсные фракции не могут отражать всех как общих, так и (тем более) индивидуальных особенностей задержки пыли в органах дыхания. Попытки установить корреляцию между концентрациями общей витающей пыли и величиной ее поглощенной дозы показали слабую связь ( $r = 0,47$ ). Более того, что весовые концентрации не отражают влияния мелкодисперсных фракций пыли, эффект действия которых связан не столько с их суммарной массой, сколько с количеством и местом локализации.

Из выше изложенного следует, что существующие подходы к оценке индивидуального риска должны основываться на более глубоких эпидемиологических исследованиях и оценке индивидуальной пылевой нагрузки.

## Выводы

1. Весовые концентрации общей витающей пыли не отражают фактической пылевой нагрузки.

2. Для оценки интенсивности воздействия пыли на органы дыхания помимо пылевой нагрузки следует принимать во внимание дисперсный состав вдыхаемой пыли и характер распределения этих частиц по отдельным участкам дыхательных путей.

3. Эпидемиологические исследования целесообразно проводить, опираясь на данные о величине поглощенной дозы пыли.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература (пп. 1, 6, 11 см. References)

2. Кундиев Ю.И., Корда М.М., Кашуба Н.О., Демецкая А.В. *Токсикология аэрозолей*. Тернополь; 2015.
3. Голикова Э.В., Чернобережский Ю.М., Молодкина Л.М., Иогансон О.М. Влияние pH на кинетику агрегации монодисперсного диоксида кремния в растворах NaCl. *Коллоидный журнал*. 2008; 70 (6): 712–9.
4. Скачилова С.Я., Чучалин А.Г., Шилова Е.В., Балаев Т.А., Каравая А.Н. Факторы, влияющие на респираторную фракцию ингаляционных препаратов. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2013; (1). Available at: <http://www.pharmjournal.ru/articles/stati/factoryi-vliyayushhie-na-respirabelnuyu-frakcziyu-ingalyaczionnyx-preparatov>
5. Кашуба Н.А., Крицкая Г.А. Моделирование процессов агрегации и седиментации наночастиц и микрочастиц в газовой среде. *Гигиена и санитария*. 2015; 94 (5): 108–11.
7. Кашуба Н.А. Седиментационная способность и проницаемость сварочных аэрозолей на отдельных участках органов дыхания. *Украинский журнал по проблемам медицины труда*. 2006; 2 (1): 17–22.
8. Кашуба Н.А., Очеретинский В.С., Мулляр И.Б. Устройство для определения поглощенной дозы аэрозоля. Патент СССР № 602828; 1990.
9. Кашуба Н.А., Федорив О.Е. Устройство для определения сорбционной способности дыхательной системы. Патент Украины № 65461; 2011.
10. ВОЗ. Методы мониторинга и оценки искусственных минеральных волокон в воздухе Отчет совещания ВОЗ. Копенгаген: Европейское региональное бюро; 1980.

## References

1. Shields P.G. Understanding Population and Individual Risk Assessment: The Case of Polychlorinated Biphenyls. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 2006; 15 (5): 830–9.
2. Kundiev Yu.I., Korda M.M., Kashuba N.O., Demetskaya A.V. *Aerosol Toxicology [Toksikologiya aerorozolej]*. Ternopol'; 2015. (in Ukrainian)
3. Golikova E.V., Chernoberezhskii Yu.M., Molodkina L.M., Ioganson O.M. The effect of pH on aggregation kinetics of monodisperse silica sol in NaCl solutions. *Kolloidnyy zhurnal*. 2008; 70 (6): 712–9. (in Russian)
4. Skachilova S.Ya., Chuchalin A.G., Shilova E.V., Balavaev T.A., Karavaeva A.N. Factors affecting the respirable fraction of inhalation medicine. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*. 2013; (1). Available at: <http://www.pharmjournal.ru/articles/stati/factoryi-vliyayushhie-na-respirabelnuyu-frakcziyu-ingalyaczionnyx-preparatov> (in Russian)
5. Kashuba N.A., Kritskaya G.A. Modeling of aggregation and sedimentation of nanoparticles and microparticles in a gaseous medium. *Gigiena i sanitariya*. 2015; 94 (5): 108–11. (in Russian)
6. Ostiguy C., Soucy B., Lapointe G., Woods C., Ménard L., Trottier M. Health Effects of Nanoparticles: Studies and Research Projects. Report R-589. Monreal; 2006.
7. Kashuba N.A. Sedimentation capacity and welding fumes permeability of certain sections of the respiratory system. *Украинский журнал по проблемам медицины труда*. 2006; 2 (1): 17–22. (in Ukrainian)
8. Kashuba N.A. Device for determining the absorbed aerosol dose. Patent USSR № 602828; 1990. (in Russian)
9. Kashuba N.A., Fedoriv O.E. Device for determining the sorption capacity of the respiratory system. Ukrainian Patent № 65461; 2011. (in Ukrainian)
10. WHO. Methods for monitoring and evaluation of artificial mineral fibers in the air. Report of a WHO meeting. Copenhagen: Regional office for Europe; 1980.
11. Hamilton R.J. The relation between free falling speed and particle size of airborne dusts. *Brit. J. Appl. Phys.* 1954; 5 (3): 90.