

ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ЭКОЛОГИЯ

DOI: 10.24412/2077-8481-2025-1-92-101

УДК 613.6

Н. Н. КАЗАЧЁНОК, канд. биол. наук, доц.
Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИ ИНГАЛЯЦИОННОМ ПОСТУПЛЕНИИ

Аннотация

Приведены результаты исследования состояния верхних дыхательных путей и общетоксического действия на лабораторных животных при ингалировании аэрозолей отходов электрометаллургического производства. Показано, что динамика зависимости «доза – эффект» не является монотонной. Предложено использовать интегральный показатель – суммарное отклонение относительных значений параметров от исходного состояния при двойном контроле, а также в качестве порога вредного действия дозу, после которой наступает срыв адаптации.

Ключевые слова:

полиметаллические аэрозоли, охрана труда, токсиметрические параметры, пороговые дозы, ингаляционное введение.

Для цитирования:

Казачёнок, Н. Н. Оценка действия полиметаллических аэрозолей при ингаляционном поступлении / Н. Н. Казачёнок // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 1 (86). – С. 92–101.

Введение

В настоящее время в Республике Беларусь и в Российской Федерации проводится серьёзная работа по охране здоровья трудящихся. Широко внедряется автоматизация управления производственными процессами, применяются промышленные роботы. Однако полностью исключить вредные и опасные факторы на рабочих местах пока не представляется возможным. В 2022 г. 36,1 % работников в Российской Федерации были заняты на работах с вредными и опасными условиями труда. С фиброгенными пылями контактировало 4,5 % из них [6]. В 2023 г. в Республике Беларусь более 46,5 тыс. человек работали в условиях повышенной

запылённости [11]. Кроме фиброгенных пылей, на дыхательные пути воздействуют вещества раздражающего действия – ангидриды кислот и щелочей, токсичные металлы и их соединения.

Механизм биологического действия соединений поливалентных металлов связывают с блокированием тиоловых групп аминокислот и пептидов. Кроме того, металлы являются активными центрами многих ферментов, поэтому как дефицит, так и избыток их нарушает равновесие ферментных систем и катализируемых ими процессов. Растворимые оксиды щелочных и щелочноземельных металлов нарушают кислотно-щелочной баланс, а при местном действии работают как химически агрессивные вещества.

Фиброгенные пыли вызывают необратимые изменения эпителия дыхательной системы и альвеолярной ткани.

Исследования показывают, что пневмокониоз развивается у 26,6 %...53 % рабочих, контактирующих с промышленной пылью [5]. В России пневмокониозы составляют около 25 % профессиональных заболеваний. Потенциально опасными для развития заболеваний пылевой этиологии являются горнодобывающая, металлургическая, машиностроительная отрасли [1].

В 2013 г. в России было выявлено 422 случая пневмокониоза, или 5,2 % от общего числа впервые диагностированных профессиональных заболеваний [5].

На предприятиях г. Минска, по данным исследований с 1976 г. по 2016 г., силикозу были подвержены 44 % обрубщиков и чистильщиков, 22 % заливщиков металла, огнеупорщиков, термистов, сталеваров, 18 % выбивальщиков и формовщиков, 16 % рабочих других специальностей в литейных цехах. Частыми проявлениями силикоза являются хронический бронхит, бронхиолит, хроническая обструктивная болезнь легких, эмфизема [10]. Ранняя диагностика заболеваний пылевой этиологии вызывает проблемы, т. к. симптомы (кашель, мокрота, одышка) не являются специфичными [1].

Механизм развития пневмокониоза до конца не выяснен. Существует по меньшей мере три группы гипотез патогенеза. Сторонники механических гипотез считают, что формирование фиброзных структур связано с травмированием клеток эпителиальной и альвеолярной тканей. Токсико-химические гипотезы связывают фиброгенное действие кварцевой пыли с образованием коллоидного раствора кремниевой кислоты. Рассматривали также пьезоэлектрические свойства кварца, сорбцию кварцевыми частицами и коллоидами некоторых протеинов, активацию латентной туберкулезной инфекции и другие механизмы

воздействия [5]. Необходимо учитывать, что экспериментальные исследования чаще всего проводили с использованием чистой двуокиси кремния, а в реальных производственных условиях она является одним из компонентов смеси сложного состава. Комбинированное действие полиметаллических аэрозолей на дыхательные пути исследовано недостаточно.

Первичной реакцией на действие пыли является активация макрофагов и фагоцитоз пылевых частиц. Происходит увеличение числа макрофагов и их ускоренная гибель. При хроническом введении пыли в слизистую дыхательных путей развиваются субатрофические и атрофические процессы, переходящие в хронический пылевой бронхит и обструктивную эмфизему легких [5].

Обычно пневмокониоз диагностируется рентгенологически на стадии выраженных и необратимых изменений в легких. На ранней стадии пневмокониозы протекают бессимптомно. Кашель, хрипы, одышку и другие неспецифические симптомы отмечают на относительно поздних стадиях [5].

Представляется важным выявление ранних проявлений изменения эпителия слизистой верхних дыхательных путей и общей интоксикации для профилактики развития необратимых процессов пылевой этиологии у работников до полной автоматизации технологических процессов, сопровождающихся выделением пыли.

Методика исследования

Для исследования действия полиметаллических аэрозолей выбрали пять образцов отходов производства феррохрома и силикокальция Челябинского электрометаллургического комбината.

№ 1 – пыль, образующаяся при выплавке ФХ015 в печи № 34.

№ 2 – пыль, образующаяся при выплавке ФХ015 в печи № 7.

№ 3 – пыль, образующаяся при

выплавке ФХ003-010.

№ 4 – пыль, образующаяся при обжиге рудоизвестковой смеси, применяющаяся при выплавке ФХ003-010.

№ 5 – пыль, образующаяся при выплавке СК15.

№ 6 – шлак саморассыпающийся, образующийся при выплавке СК15.

№ 7 – шлак саморассыпающийся, образующийся при выплавке СК15, окисленный прокаливанием при 600 °С.

По данным спектрального анализа, в состав образцов входят оксиды алюминия, кремния, кальция, магния, железа, вольфрама, кобальта, марганца, молибдена, хрома, ванадия, титана, циркония в различных соотношениях, рН 1 % взвеси составлял от 8 до 13. Наиболее опасным компонентом является шестивалентный хром. Его содержание в воздухе рабочей зоны достигало 2,1 мг/м³ (ПДКрз – 0,01 мг/м³). При проплавлении шихты содержание аэрозолей в воздухе рабочей зоны в среднем составляло 14 мг/м³, при выпуске металла и шлака – 103 мг/м³.

В работе использовали крыс инбредной линии Wistar питомника «Столбовая» АМН РФ. В контрольных и опытных группах было по 10 животных. Для динамической ингаляционной заправки животных фиксировали в индивидуальных домиках.

Регистрировали следующие показатели.

1. Состояние слизистой носовой полости при однократном ингалировании оценивали за 2 сут до затравки и через 2 сут после нее:

а) характер дыхания (ХД) – хрипы, выделения из носовой полости, гиперемия околоносовых покровов оценивали в баллах от 1 до 9;

б) миграцию лейкоцитов (МЛ) – количество свободных лейкоцитов в промывных водах изотонического раствора. Промывные воды окрашивали в меланжере для белой крови раствором метиленового синего в 3-процентной уксусной кислоте. Подсчет вели в каме-

ре Горяева;

в) резорбтивную функцию слизистой верхних дыхательных путей (РФ) оценивали методом флуоресцентной пробы [4], модернизированной с целью атравматичного применения. Так как флуоресцеин считается безопасным и допускается для диагностических целей даже при внутривенном введении детям [12], оценка резорбтивной функции может быть перспективным методом ранней диагностики атрофических изменений слизистой носовой полости и носоглотки.

2. Общетоксическое действие:

а) локомоторно-ориентировочная реакция (ЛОР). Активность животных оценивалась в специальной камере по числу меток, пересеченных за 5 мин;

б) масса тела (МТ);

в) диурез (Д). Количество мочи, поступившей в приёмную ёмкость в период с 17 ч до 9 ч;

г) электропроводность мочи (Э), Ом/м, определяли в оригинальной ячейке;

д) рН мочи (рН) определяли с помощью иономера ЭВ-74;

е) редокс-потенциал мочи (РП) определяли с помощью иономера ЭВ-74 относительно децинормального раствора хлорида калия.

При оценке уровней корреляции показателей оказалось, что диурез и электропроводность мочи являются взаимозависимыми. Это можно объяснить тем, что выделение электролитов относительно стабильно и при увеличении объема мочи их концентрация, а следовательно, и электропроводность мочи уменьшаются. Поэтому в дальнейшем в качестве показателя, характеризующего выделительную функцию почек, использовали параметр «диурез – электропроводность» (ДЭ) – произведение первичных параметров.

Применяли метод двойного контроля, все показатели переводили в относительные величины. Отклонение относительного показателя от 100 %, от-

несенное к диапазону колебаний значений данного параметра, называли унифицированным показателем. Сумма унифицированных показателей соответствовала изменению суммы радиусов в модели аварийного регулирования Гублера [2]. Плоскостная модель системы «аварийного регулирования» Е. В. Гублера [2] наглядно демонстрирует комплексную защитно-приспособительную реакцию организма, в том числе в ответ на действие полиметаллического аэрозоля [9]. Однако площадь фигуры зависит от выбора конкретных показателей, их количества и расположения по осям фигуры, поэтому малопригодна для математического анализа.

Параметр «суммарное отклонение унифицированных показателей от контроля» (СО) является более удобным и объективным для интегральной оценки состояния функции, системы и организма в целом [9].

При обработке результатов использовали критерий Стьюдента – Фишера, критерий Уилкоксона – Манна – Уитни, критерий знаков, методы корреляционного и регрессионного анализа [7]. Доверительная вероятность $P = 0,05$.

Результаты исследования

Поскольку одной из задач работы являлось исследование состояния носовой полости и носоглотки, было выбрано ингаляционное введение. Хотя ингаляционное введение считается наиболее физиологичным и в наилучшей степени приближенным к реальным производственным условиям, все исследователи отмечают его низкую точность по сравнению с интратрахеальным введением. Невозможно точно определить количество пыли, попавшей в организм животного. Фиксируется только концентрация пыли в затравочной камере и время экспозиции. Поскольку образцы пыли различаются по дисперсности и

физико-химическим свойствам, весьма сложно настроить затравочную камеру на создание определенной концентрации, поэтому «доза» определяется постфактум. В связи с этим дисперсия выборок была весьма высокой. Поэтому для определения статистической значимости различий использовали также и непараметрические критерии [2, 7].

Относительные величины токсикометрических показателей после однократного ингалирования полиметаллических отходов электрометаллургического производства представлены в табл. 1–7. Статистически значимые отличия параметров от исходного (до опыта) значения наблюдали относительно редко. В табл. 1 видно, что значимое отличие рН от исходного наблюдали только при дозе, вызвавшей гибель одного животного.

Как для отдельных показателей, так и для интегрального показателя СО в большинстве случаев не наблюдали монотонного возрастания или убывания значений. Как и при внутрибрюшинном введении [9], отмечаются пилообразная кривая или её отрезки. То есть диапазоны проявления активной защитно-компенсаторной реакции организма чередуются с диапазонами мнимого благополучия, когда организм направляет все ресурсы на стабилизацию состояния. Уменьшение интенсивности компенсаторных реакций при увеличении вредного воздействия может говорить о напряжении и срыве адаптационного процесса, а новый рост – о включении каких-то резервных механизмов адаптации.

Многие авторы отмечают наступление периодов «нормализации» функций после трех-четырех месяцев хронической ингаляционной затравки, фазовый характер изменений на 2...4 сут воздействия с последующей нормализацией или переходом в противоположную по знаку фазу активности для большинства уровней воздействия промышленных ядов, стимулирующий и

тормозящий эффект при разных дозах введения неорганических веществ и

«волнообразные» изменения состояния организма при адаптации к яду [9].

Табл. 1. Значения относительных величин токсикометрических показателей при однократном ингаляционном введении пыли № 1

В процентах

Доза, мг мин/м ³	ЛОР	МТ	РП	рН	ДЭ	СО
3,7	56,8	101,6	+23	92,4	80,3	125,4
5,0	120,0	104,2	-112	98,2	151,8	152,2
7,1	91,2	100,2	-108	93,3	124,3	124,7
16,8	106,0	101,8	-164	97,9	129,0	140,3
62,3*	—	92,5	+7	96,9**	48,7**	92,7
103,1*	—	91,6	-1	89,3**	72,3	122,2
<i>Примечание</i> – * – гибель одного животного; ** – абсолютное значение показателя существенно отличается от исходного						

Табл. 2. Значения относительных величин токсикометрических показателей при однократном ингаляционном введении пыли № 2

В процентах

Доза, мг мин/м ³	ЛОР	МТ	РП	рН	ДЭ	СО
0,3	66,4	97,2	-2	98,2	83,6	75,0
0,7	94,6	99,6	-50*	107,2	80,5	99,7
1,3	83,8	100,0	-46	97,3	76,9	74,9
2,1	102,2	93,9	+59	102,2	68,0	99,4
3,6	73,4	98,8	-25	99,3	82,7	66,8
7,6	74,4	93,3	+120	107,2	60,7	196,6
<i>Примечание</i> – * – абсолютное значение показателя существенно отличается от исходного						

Табл. 3. Значения относительных величин токсикометрических показателей при однократном ингаляционном введении пыли № 3

В процентах

Доза, мг мин/м ³	ЛОР	МТ	РП	рН	ДЭ	СО
0,6	77,1	94,8	+9	93,7	78,1	105,8
0,8	79,3	88,6	-43*	96,7	67,8	144,6
1,2	68,0	92,4	+16	102,1	97,1	98,1
3,4	111,6	99,0	-9	106,1*	108,4	61,6
4,4	73,5	96,8	0	98,5	101,8	56,5
8,2	92,7	99,7	+60	95,4	115,2*	78,8
<i>Примечание</i> – * – абсолютное значение показателя существенно отличается от исходного						

Табл. 4. Значения относительных величин токсикометрических показателей при однократном ингаляционном введении пыли № 4

В процентах

Доза, мг мин/м ³	ЛОР	МТ	РП	рН	ДЭ	СО
1,6	67,8	99,2	-63	105,2*	64,5	128,9
3,8	90,1	102,7	+18	96,1	165,5	98,6
7,7	88,6	106,0	-15	97,0	77,3	82,7
18,8	71,7	103,1	-108	93,6	106,9	149,5
28,2	92,9	108,5	-4	97,8	91,0	70,6
47,9	62,6	108,6	-9	98,7	55,7	128,2
59,2	64,3	101,0	-99	98,2	95,6	116,5
Примечание – * – абсолютное значение показателя существенно отличается от исходного						

Табл. 5. Значения относительных величин токсикометрических показателей при однократном ингаляционном введении пыли № 5

В процентах

Доза, мг мин/м ³	ЛОР	МТ	РП	рН	ДЭ	СО
2,0	67,5	102,2	-105	107,4	145,2	178,4
4,2	52,6	99,1	-31	96,1	108,2	104,4
6,4	–	98,5	–	105,8	112,4	46,2
10,7	83,8	99,9	-17	96,8	96,5	48,7
19,6	59,3	103,4	+27	103,1	106,9	101,6
42,4	–	95,7	–	104,3	99,7	44,5

Табл. 6. Значения относительных величин токсикометрических показателей при однократном ингаляционном введении шлака № 6

В процентах

Доза, мг мин/м ³	ЛОР	МТ	РП	рН	ДЭ	СО
0,4	115,0	103,2	-170	111,7	88,8	217,8
0,9	87,3	103,2	-128	100,0	158,0	198,6
1,1	82,6	98,8	-290	86,9	76,7	273,9
1,8	117,3	103,2	-367*	161,7*	222,7	756,0
Примечание – * – абсолютное значение показателя существенно отличается от исходного						

Табл. 7. Значения относительных величин токсиметрических показателей при однократном ингаляционном введении шлама № 7

В процентах

Доза, мг мин/м ³	ЛОР	МТ	РП	рН	ДЭ	СО
0,2	114,8	98,9	+13	99,2	109,2	58,8
0,5	120,8	100,0	+9	96,0	108,0	82,0
1,0	130,2	99,1	+58	97,4	113,8	123,5
2,0	127,8	99,4	+35	99,8	125,6	100,8
3,7	87,1	92,5	-17	97,6	199,4	204,5
7,9	98,5	93,5	+12	91,6	130,4	149

Ю. А. Романов считает, что колебательные процессы неизбежно проявляются там, где работает регуляция с запаздывающей обратной связью. В нормальном организме в той или иной степени может развиваться десинхронизация. Патология развивается тогда, когда десинхронизация переходит границы нормы реакции и происходит срыв адаптации и компенсации. Поэтому для прогнозирования количественных реакций на действие токсических веществ наиболее пригодны многостадийные модели [8].

При планировании эксперимента

предполагалось, что динамика изменения показателей состояния верхних дыхательных путей также будет аналогична динамике общетоксикологических показателей при внутрибрюшинном введении: плавное возрастание и срыв адаптации в виде ложной «нормализации» состояния [9].

Однако при оценке параметров состояния верхних дыхательных путей после однократного ингалирования образцов оказалось, что ни для одного параметра не выявлено ни монотонного возрастания кривой «доза – эффект», ни характерного срыва адаптации (табл. 8).

Табл. 8. Значения относительных показателей состояния верхних дыхательных путей при однократном ингалировании

В процентах

Номер образца	Доза, мг мин/м ³	ХД	МЛ	РФ	СО
1	6,6	59,1	405,4	149,9	1,02
	16,1	70,6	527,2*	88,8	1,05
	32,1	227,6	355,4	109,4	1,12
	47,9	106,7	389,0	93,7	0,64
2	1,2	102,6	109,9	60,0	0,21
	2,7	130,8	477,1*	85,7	0,96
	5,1	95,0	105,7	121,9	0,13
	5,6	109,4	218,7	66,7	0,43
	18,5	85,7	153,4	288,8	0,76
	46,2	285,7	133,4	Не опр,	0,89
3	5,0	152,4	53,2*	93,2	0,36
	13,9	203,2	76,5*	129,7	0,64

Окончание табл. 8

Номер образца	Доза, мг мин/м ³	ХД	МЛ	РФ	СО
4	9,4	78,8	84,1*	280,4	0,94
	20,7	158,3	33,6*	194,7	0,82
	29,7	153,3	137,6	200,3	0,77
	41,6	106,6	86,0*	116,8	0,13
	61,6	177,8	321,6	74,4	0,91
5	4,4	145,9	117,8	228,0	0,82
	8,7	120,8	50,6*	71,9	0,32
	21,1	146,7	56,5	96,4	0,31
	23,4	78,4	109,9	86,2	0,18
	56,8	116,7	136,3*	86,8	0,21
<i>Примечание – * – абсолютное значение показателя существенно отличается от исходного</i>					

Количество лейкоцитов, смытых из носовой полости, (МЛ) – показатель, поддающийся статистической обработке лучше, чем полуколичественные параметры ХД и РФ. Поскольку индивидуальные различия довольно высоки, критерий Стьюдента – Фишера дает очень большое значение дисперсии. Поэтому для определения достоверности различий использовали критерий знаков ($P = 0,05$). Для каждой пыли найдены дозы, при которых количество лейкоцитов существенно отличается от исходного.

При сравнении абсолютных значений исследуемых параметров оказалось, что характер дыхания (ХД) изменяется синхронно в контроле и опыте, причем амплитуда колебаний в контроле выше. Согласно критерию знаков, в контрольной группе состояние дыхательных путей по этому показателю существенно хуже, чем в опыте. Проницаемость слизистой значимо выше в опытной группе. При однократном введении этого же образца проницаемость слизистой уменьшается с увеличением дозы (см. табл. 6). Количество лейкоцитов в промывных водах в контроле сна-

чала резко статистически достоверно уменьшается, по сравнению с исходным значением, затем резко достоверно увеличивается. В опытной группе амплитуда колебаний меньше. Создается впечатление, что вдыхание токсичной пыли «оздоравливает» дыхательные пути. Возможна меньшая лабильность слизистой – следствие начала атрофических процессов.

Таким образом, изменения показателей состояния слизистой носовой полости могут быть разнонаправленными при действии токсичных веществ в разных дозах и режимах поступления. Амплитуда колебаний при действии полиметаллических пылей может быть меньше, чем в контроле. Следовательно, метод двойного контроля и сравнения относительных, а не абсолютных значений показателей оправдан и необходим, особенно если учесть, что сама процедура исследований оказывает влияние на состояние животных.

Выводы

Все исследуемые показатели колебались асинхронно.

Наибольшие отклонения относительных значений параметров можно было наблюдать при более низких дозах. При высоких, летальных и близких к летальным дозах может происходить «нормализация» значений параметров. Предполагается, что это связано с ис-

тошением функциональных систем, отвечающих за реализацию защитно-компенсаторных реакций.

Исходя из этого, предлагаем считать точки максимального напряжения (до срыва) соответствующими пороговым дозам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пневмокониозы: современные взгляды / С. А. Бабанов, Л. А. Стрижаков, М. В. Лебедев [и др.] // Терапевтические архивы. – 2019. – № 91 (3). – С. 107–113.
2. **Гублер, Е. В.** Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях / Е. В. Гублер, А. А. Генкин. – Л.: Медицина, 1973. – 141 с.
3. **Казачёнок, Н. Н.** Метод интегральной оценки токсичности отходов производства ферросплавов / Н. Н. Казачёнок, В. А. Костюченко // Гигиена и санитария. – 1996. – № 5. – С. 49–50.
4. **Казачёнок, Н. Н.** Оценка поражения верхних дыхательных путей промышленными пылями / Н. Н. Казачёнок // Материалы конф. по итогам научно-исследовательских работ преподавателей, сотрудников и аспирантов. – Челябинск: Факел, 1996. – С. 12–15.
5. Пневмокониозы. Клинические рекомендации МКБ 10: J60/ J61/ J62/ J63/ J64/J65. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Год утверждения 2016. – URL: http://www.fesmu.ru/SITE/files/editor/file/fpk_pps/rv4.pdf (дата обращения: 01.11.2024).
6. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2022 году. – URL: https://eisot.rosmintrud.ru/attachment/result_22 (дата обращения: 01.11.2024).
7. **Рокицкий, П. Ф.** Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск: Выш. шк., 1973. – 320 с.
8. **Романов, Ю. А.** Общие положения теории пространственно-временной организации биологических систем / Ю. А. Романов // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2002. – № 6. – С. 13.
9. **Фомин, Н. А.** Защитно-компенсаторные реакции организма теплокровных животных на воздействие промышленных ксенобиотиков / Н. А. Фомин, Н. Н. Казачёнок // Вестник ЧГПУ. Серия 4. – 1999. – № 3. – С. 187–195.
10. Ретроспективный анализ гигиенических и клинико-рентгенологических особенностей развития силикоза на машиностроительных предприятиях города Минска / О. А. Цыганкова, И. А. Герменчук, А. Ю. Крумкачёва, Д. С. Алексейчик // Охрана труда и социальная защита. – 2016. – № 9. – С. 89–91.
11. Численность работников Республики Беларусь, занятых в условиях воздействия вредных производственных факторов, не отвечающих гигиеническим нормативам, а также тяжелым физическим и напряженным трудом за 2023 год. – URL: https://www.mintrud.gov.by/ru/gosudarstvennaya_statisticheskaya_otchetnost (дата обращения: 01.11.2024).
12. Безопасность внутривенного введения флуоресцеина при конфокальной лазерной эндомикроскопии пищеварительного тракта у детей / А. А. Шавров (мл.), А. Е. Александров, А. А. Шавров [и др.] // Педиатрическая фармакология. – 2013. – Т. 10, № 5. – С. 56–58.

Статья сдана в редакцию 4 ноября 2024 года

Контакты:
kazachenok.nina@mail.ru (Казачёнок Нина Николаевна).

N. N. KAZACHONOK

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF POLYMETALLIC AEROSOLS UPON INHALATION

Abstract

Results of the study on the upper respiratory tract condition and general toxic effect on laboratory animals upon inhalation of aerosols of waste from electrometallurgical production are presented. It is shown that the dynamics of the «dose – effect» relationship is not monotonous. It is proposed to use an integral indicator – the total deviation of relative values of the parameters from the initial condition with double control, as well to apply as a threshold for harmful effects, the dose, after which an adaptation failure occurs.

Keywords:

polymetallic aerosols, occupational safety, toxicometric parameters, threshold doses, inhalation administration.

For citation:

Kazachonok, N. N. Assessment of the effect of polymetallic aerosols upon inhalation / N. N. Kazachonok // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2025. – № 1 (86). – P. 92–101.