

doi: 10.5862/MCE.54.2

Опыт использования сильвинитовых блоков и панелей в комнатах «живого» воздуха и основные параметры качества формируемой воздушной среды

*Д.т.н., профессор К.А. Черный;
д.т.н., директор института Г.З. Файнбург,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

Аннотация. В последнее время ввиду существенного прогресса в строительной индустрии создано огромное количество отделочных материалов, применяемых в современных помещениях различного назначения. В силу влияния на человека негативных свойств некоторых искусственных строительных материалов, остро стоит задача обеспечения качества воздушной среды в помещениях. Применение материалов из пиленых, прессованных, формованных конструкций (блоков и плиток) из натуральных сильвинитовых пород является известным способом создания качественной, вплоть до лечебной, воздушной среды помещений. В разнообразных строительных конструкциях на основе указанных материалов воздушная среда модифицируется ввиду влияния природных кристаллов сильвина, галита и карналлита. Облицовка или декорирование ограждающих поверхностей комнат, пола или потолка насыщают воздух помещения легкими аэроионами и частицами высокодисперсного соляного аэрозоля и обеспечивают формирование «живого» воздуха помещений, максимально приближенного к благоприятным природным средам.

Исходя из характеристик ионизирующих излучений природного радиоизотопа ^{40}K анализируются особенности формирования аэроионного состава и проводится расчет эффективной зоны аэроионизации, что позволяет определить основные требования к размещению активных отделочных или декорирующих элементов, выполненных из сильвинитовых панелей или блоков. Представлены экспериментальные данные относительно концентрации легких аэроионов и высокодисперсного аэрозоля, проведен анализ распределения по электрической подвижности аэроионов в естественных природных условиях и в воздухе помещений, облицованных калийной солью. Определены численные значения параметров размерных распределений соляных аэрозольных частиц, аппроксимированных как суперпозиция нескольких логарифмически нормальных распределений. Представлена модификация размерных распределений аэрозольных частиц в зависимости от относительной влажности воздуха.

Результаты исследований наглядно демонстрируют возможность применения сильвинитовых блоков и панелей для формирования в современных помещениях не только качественной, но даже оздоровительной воздушной среды, а также могут стать основой широкого практического использования новых передовых технологий для создания комнат «живого» воздуха.

Ключевые слова: сильвинитовые блоки; соляные плитки; облицовка; легкие аэроионы; соляной аэрозоль

Введение и постановка задачи

Внутренняя воздушная среда жилых, общественных и производственных зданий зависит от качества строительных материалов ограждающих конструкций. С гигиенической точки зрения важно отметить, что по сравнению с наружной средой практически все параметры внутренней среды обитания вследствие влияния ограждающих конструкций претерпевают определенные изменения. Часть этих изменений носит позитивный характер (например, создаются благоприятные микроклиматические условия вне зависимости от наружных метеоусловий), а часть может носить негативный характер (например, происходит загрязнение воздуха помещений).

Комплексное научное представление о причинах воздушного дискомфорта, нередко испытываемого человеком в помещениях или иных замкнутых воздушных объемах, является предметом современных научных исследований [1–3]. Ряд авторов [4–10] одну из причин воздушного дискомфорта в помещениях видит в изменении аэроионного состава воздуха по сравнению с исходным первичным атмосферным воздухом – в помещениях происходит снижение содержания легких аэроионов. Причиной снижения количества легких ионов является поглощение их в процессе дыхания человеком, превращения части легких ионов в тяжелые вследствие оседания на аэрозольных частицах, а также адсорбции поверхностями.

Черный К.А., Файнбург Г.З. Опыт использования сильвинитовых блоков и панелей в комнатах «живого» воздуха и основные параметры качества формируемой воздушной среды

Действующими санитарно-гигиеническими нормами [11] определены минимально необходимые концентрации аэроионов: 600 см^{-3} для отрицательных и 400 см^{-3} для положительных аэроионов. Кроме того, для положительных и отрицательных аэроионов установлены максимально допустимые уровни – $50\,000 \text{ см}^{-3}$.

Указанные нормативные уровни могут быть обеспечены проведением мероприятий по искусственной генерации аэроионов с помощью специального оборудования – коронных аэроионизаторов. Однако их широкое применение ограничено в силу повышения активности протекания негативных ион-индуцированных химических реакций и возможной побочной генерации вредных химических веществ – озона O_3 , а также оксидов азота NO , NO_2 , NO_x [12–14].

Известны естественные природные способы обеспечения нормативных требований к аэроионосодержанию воздуха в помещениях [15–17], основанные на применении специальных строительных конструкций или материалов из природных каменных солей, которыми облицовываются или декорируются ограждающие поверхности комнат, пола или потолка, создавая тем самым комнаты «живого» воздуха [18–20] (рис. 1). В настоящее время накоплен определенный экспериментальный материал о том, что в качестве позитивных факторов воздушной среды в помещениях с применением таких строительных и отделочных материалов выступают высокая объемная концентрация легких аэроионов и высокодисперсный соляной аэрозоль [21–23].

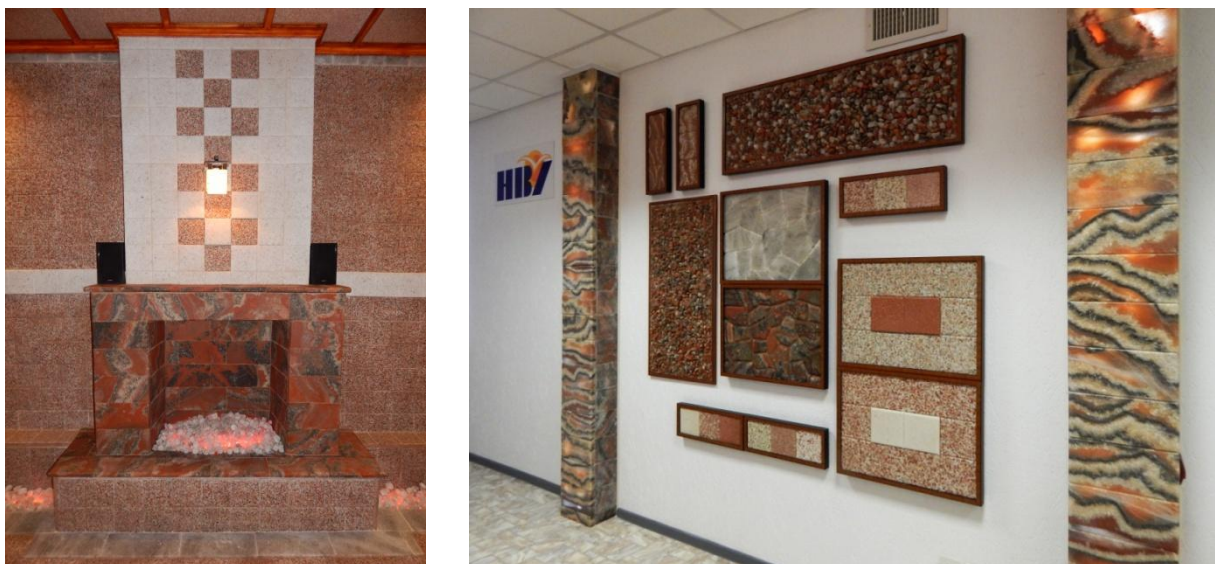


Рисунок 1. Примеры применения сальвинитовых блоков и панелей в комнатах «живого» воздуха

Вместе с тем до настоящего времени не проведено обобщения с единых физических позиций разрозненных теоретических и экспериментальных исследований характеристик указанных специальных отделочных материалов и их влияния на формируемый аэроионный и аэрозольный состав воздуха помещений. Исследования аэроионного и аэрозольного составов ограничиваются, как правило, натурными измерениями без рассмотрения роли факторов, обуславливающих их формирование [22, 23]. Важным остается решение задачи выбора геометрических размеров и мест размещения специальных декоративных отделочных материалов на основе природных солей с целью формирования заданного нормативного уровня ионо- и аэрозольсодержания в воздухе помещений.

Авторами сделана попытка на основе современных представлений об электрических явлениях в воздушных средах и имеющихся в натуральных и модельных экспериментах взаимосвязей путем теоретических построений и расчетов выявить конкретный механизм насыщения легкими аэроионами и соляным аэрозолем воздуха помещений, облицованных сальвинитовыми блоками и панелями. Проведены теоретические расчеты пространственно-количественных параметров ионизирующей способности калийных солей и иных строительных материалов на их основе, практическая проверка достоверности полученных результатов, а также исследования особенностей дисперсного состава аэрозольной компоненты, формируемых в силу влияния природных кристаллов сальвина, галита и карналлита.

Описание и результаты исследования

Оценка пространственно-количественных параметров ионизирующей способности калийных солей и материалов на их основе

Основной вклад в процесс ионообразования в помещениях «живого» воздуха вносит ионизирующее излучение радиоактивного изотопа ^{40}K , который является ведущим излучателем горных пород и входит в химический состав калийной соли (в первую очередь, в сильвинитовую руду). В природе калий состоит из двух стабильных изотопов – ^{39}K (93,26 %), ^{41}K (6,73 %), и одного радиоактивного – ^{40}K (0,0117 %), причем изотопный состав калия различных земных образований практически одинаков. Период полураспада изотопа ^{40}K – $1,31 \cdot 10^9$ лет, тип распада – β и γ . В результате β -распада (89,3 %), верхняя энергия спектра которого составляет $E_{\beta} = 1,322$ МэВ, а средняя энергия излучения $\bar{E} = 0,541$ МэВ, ^{40}K превращается в стабильный изотоп ^{40}Ca , путем К-захвата (10,7 %) – в ^{40}Ar . [24–26].

Для определения эффективной, значимой в процессах формирования аэроионного состава воздуха толщины рассматриваемых отделочных материалов оценим характерную длину пробега β -частиц h в калийной соли [27]:

$$h = \frac{0,54E_{\beta} - 0,15}{\rho}, \quad (1)$$

где ρ – плотность вещества, г/см³, для калийной соли $\rho = 1,99$ г/см³;

E_{β} – максимальная энергия β -частиц, МэВ.

Арифметическое вычисление согласно выражению (1) дает величину порядка 0,3 см, т. е. β -излучение в калийной соли идет лишь от незначительного по толщине внешнего слоя поверхности породы или от генерируемых породой частиц соляного аэрозоля. Таким образом, при условии сохранения биологически активных свойств калийной соли в аспекте формирования повышенной аэроионизации воздуха можно снизить толщину отделочных материалов на основе калийной соли вплоть до технологически достижимых величин. Последнее позволяет максимально снизить вес отделочных материалов и расход активной соляной породы.

Для определения пространственных параметров ионизирующей способности калийных солей оценим характерную длину пробега β -излучения в воздухе помещения, воспользовавшись справочными данными [28]. При средней энергии β -частиц $\bar{E} = 0,541$ МэВ характерная длина пробега β -излучения в воздухе составляет величину $l \approx 1,4$ м. Именно на таких характерных расстояниях от отделочных материалов на основе калийной соли и протекают процессы аэроионизации.

Интенсивность ионообразования в воздушной среде помещений, облицованных специальными материалами на основе калийных солей

Как было показано выше, ^{40}K является источником и β -излучения, и γ -излучения. Таким образом, для описания ионизирующей способности излучений изотопа ^{40}K требуется определение мощности экспозиционной дозы γ -излучения, мкР/ч, и плотности потока β -излучения с поверхности Φ , см⁻²с⁻¹.

Измерения уровней ионизирующих излучений радиоактивного излучения проводились комбинированным прибором РКБ-104, позволяющим регистрировать β -излучение в диапазоне 0,5...3,0 МэВ и γ -излучение в диапазоне 0,06...1,25 МэВ.

Результаты проведенных исследований радиоактивности соляных отделочных строительных материалов на основе сильвинитовой руды разного состава и различного способа подготовки к применению (пиление из горного массива, прессование или заливка и т. п.), а также данные об ионизирующих излучениях в горных выработках калийного рудника (для сравнения) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Бета- и гамма-излучения отделочных материалов на основе калийных солей

Материал	γ -излучение, мкР/ч	β -излучение, см ⁻² с ⁻¹
Горные выработки по сильвинитовым пластам (KCl)	48...56	0,46...0,58
Горные выработки по каменной соли (NaCl)	3...4	0,06...0,07
Пилёный блок красного сильвинита размером 15×20×40 см	37,5	0,489
Пилёный галитовый блок чистой прозрачной соли размером 15×20×20 см	13,0	0,007
Пилёная плита красного крупнозернистого сильвинита размером 4×20×30 см	31,6	0,705
Природный «закол» контакта красного сильвинита с галитом, сторона сильвинита	22,7	0,782
Среднее значение:	26,2	0,496
Плитка потолочная на фанерной основе. Толщина активного слоя 10 мм. Состав – 80 % KCl.	18,65	0,446
Плитка потолочная на фанерной основе. Толщина активного слоя 3...4 мм. Состав – 95 % NaCl и 5 % KCl.	12,57	0,083
Плитка потолочная на фанерной основе. Сверху присыпка сильвинита – 10 % KCl и 90 % NaCl.	13,93	0,143
Плитка облицовочная. Толщина подложки 10 мм, состав – 22 % KCl. Верхний слой: толщина 3–4 мм, состав – 80 % KCl.	13,88	0,349
Плитка облицовочная. Толщина плитки 13 мм. Состав – 22 % KCl.	17,71	0,531
Плитка облицовочная. Толщина подложки 8 мм, состав – 22% KCl. Толщина верхнего слоя 5 мм, состав – 90 % KCl и 10 % NaCl.	18,63	0,572
Плитка половая. Толщина плитки 24 мм. Состав – 22 % KCl.	18,43	0,298
Плитка облицовочная. Подложка – магнезитный цемент, толщина 1...2 мм. Толщина верхнего слоя 11 мм, состав – 70 % KCl.	18,00	0,486
Плитка облицовочная. Толщина плитки 12 мм, состав – 70 % KCl.	19,57	0,489
Плитка заливная. Толщина подложки 15 мм, состав – 50 % KCl. Верхний слой – 95 % KCl.	21,20	0,733
Плитка формованная. Толщина 13 мм, состав – 22 % KCl.	16,07	0,319
Среднее значение:	17,15	0,404

Используя в качестве исходных данных полученные результаты исследования радиационной обстановки, можно теоретически рассчитать интенсивность ионообразования.

Интенсивность ионообразования в помещениях, облицованных материалами на основе калийной соли, обусловлена следующими основными процессами:

- эманациями радиоактивных элементов, содержащихся в самих отделочных материалах, v_1 ;
- ионизирующими процессами, происходящими во внешней атмосфере, в основном космическим излучением ($v_2 \approx 1...3$);
- другими процессами, которые носят специфичный характер, v_3 .

Суммарная интенсивность ионообразования определяется как

$$v = v_1 + v_2 + v_3. \quad (2)$$

Интенсивность ионообразования β -излучения сильвинитовой руды оценим, воспользовавшись соотношением [29]:

$$v_{\beta} = \frac{\bar{E}}{IE_0} \varphi, \quad (3)$$

где \bar{E} – средняя энергия β -излучения;

E_0 – средняя энергия ионизации молекул воздуха, равная 33,85 эВ;

l – характерная длина пробега β -излучения, оцененная ранее как $l \approx 140$ см.

Арифметическое вычисление согласно выражению (3) дает $v_\beta \approx 55 \div 65 \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}$.

Кроме того, для изотопа ^{40}K с простым β -спектром доза D , рассчитанная на одну β -частицу, падающую на 1 см^2 , зависит только от максимальной энергии E_β и сохраняется постоянной независимо от глубины среды, толщины и размеров источника. Согласно [27] при $E_\beta \approx 1,322$ МэВ доза $D \approx 4 \times 10^{-10}$ Гр. С учетом величины плотности потока β -частиц ϕ (табл. 1) доза, создаваемая β -излучением изотопа ^{40}K , составляет величину порядка 2×10^{-10} Гр. Используя определение мощности экспозиционной дозы (1 Р – такая доза в воздухе, при которой в 1 см^3 сухого воздуха при нормальном атмосферном давлении создается $2,08 \times 10^9$ пар ионов), получаем интенсивность ионообразования за счет β -излучения $v_\beta \approx 45 \dots 55 \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}$.

Значения интенсивности ионообразования, полученные в первом и втором случаях, близки. Таким образом, в дальнейшем значения интенсивности ионообразования за счет β -излучения будем принимать $v_\beta \approx 50 \div 60 \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}$.

Интенсивность ионообразования v_γ за счет γ -излучения изотопа ^{40}K оценим, исходя из мощности экспозиционной дозы P и усредненной температуры в помещении t , согласно известному выражению [25]:

$$v_\gamma = \frac{P}{1 + \frac{t, ^\circ\text{C}}{273}} \approx 10 \dots 15 \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}. \quad (4)$$

Таким образом, общая интенсивность ионизации в результате действия ионизирующих излучений отделочных материалов на основе калийной соли составляет величину, равную

$$v_1 = v_\beta + v_\gamma \approx 50 \dots 60 + 10 \dots 15 = 60 \dots 75 \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}. \quad (5)$$

Наибольший вклад в интенсивность ионообразования в модельной воздушной среде камер вносит β -излучение изотопа ^{40}K .

Важно отметить, что в помещениях, облицованных материалами из калийной соли, имеется еще один путь обогащения воздуха легкими ионами – в результате их физической десорбции с поверхности жидких аэрозольных частиц ионогенных электролитов. Этот процесс известен [30], однако для описания ионизации в рассматриваемых специальных помещениях ранее не применялся. Согласно [31] процесс десорбции ионов обеспечивает среднюю интенсивность ионообразования в среде, содержащей капли электролита, порядка $v_3 \sim 10 \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}$, что сравнимо с естественной интенсивностью ионизации в приземном слое атмосферы [32].

Согласно описанным выше расчетам суммарная интенсивность ионообразования в модельной воздушной среде сильвинитовых камер приблизительно равна

$$v = v_1 + v_2 + v_3 \approx 70 \dots 85 \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}. \quad (6)$$

Полученная расчетным путем интенсивность ионизации воздуха помещений, облицованных строительными материалами на основе калийных солей, приводит к максимально возможным концентрациям легких аэроионов, значение которых может быть оценено исходя из уравнения аэроионного баланса, записанного в приближении полного отсутствия аэрозольных частиц в воздухе:

$$n = \sqrt{\frac{v}{\alpha}}, \quad (7)$$

где n – концентрация легких аэроионов, см^{-3} ;

α – коэффициент рекомбинации легких аэроионов противоположной полярности, $\alpha \cong 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$ [33, 34].

Таким образом, в помещениях, облицованных строительными материалами из калийной соли, максимально возможная концентрация легких аэроионов $n \cong 7\,000 \text{ см}^{-3}$, что согласуется с установленными санитарно-гигиеническими нормами [11].

Содержание аэроионов в воздушной среде помещений, облицованных специальными материалами на основе калийных солей

В воздушной среде помещений, облицованных специальными материалами на основе калийных солей, исследованы соотношения концентраций фракций аэроионов с предельными подвижностями 0,1; 0,01 и 0,00032 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ (группа легких, средних промежуточных и тяжелых аэроионов соответственно).

Исследование значений концентрации аэроионов проводилось с помощью интегрального спектрометра аэроионов УТ-8401, позволяющего регистрировать аэроионы положительной и отрицательной полярности в диапазоне подвижностей 0,00032...2,0 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$.

Усредненные значения концентраций аэроионов при рассматриваемых предельных подвижностях со стандартными отклонениями представлены в таблице 2.

Таблица 2. Концентрации аэроионов различных групп подвижностей в помещениях с отделочными материалами на основе калийной соли

Объект исследований	Объемные концентрации, см^{-3}					
	Легкие аэроионы (более 0,1 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$)		Средние аэроионы (0,01...0,1 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$)		Тяжелые аэроионы (0,00032...0,01 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$)	
	n_+	n_-	n_+	n_-	n_+	n_-
Помещения, облицованные сильвинитовыми блоками калийной соли	2400±410	2050±360	230±70	220±90	1980±440	2350±600
Помещения, полностью облицованные прессованной калийной плиткой	1500±440	1170±370	260±100	260±130	2600±620	3010±580
Помещения с декоративными фрагментами из материалов на основе калийной соли (на расстоянии 1,5 м от активной поверхности)	1030±380	1040±360	230±80	170±70	1600±350	1300±240

Во всех измерениях среди аэроионов подвижностью более 0,1 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ (легкие аэроионы) преобладают аэроионы положительной полярности, что характерно для приземной атмосферы вследствие наличия электрического поля Земли. Коэффициент униполярности $У = n_+ / n_-$ в диапазоне легких аэроионов колеблется в интервале 1,08...1,57.

Объемные концентрации средних промежуточных аэроионов (подвижностью 0,01...0,1 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$) обеих полярностей существенно меньше концентраций как легких, так и тяжелых аэроионов, что также характерно для аэроионного состава воздушной среды с относительно низкой интенсивностью ионизации.

В области тяжелых аэроионов (подвижностью 0,00032...0,01 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$) отмечен следующий экспериментальный факт. Коэффициент униполярности $У$ в указанном диапазоне изменяет свой знак в зависимости от времени и объекта измерения. В одних случаях (~12 %) концентрация тяжелых положительных аэроионов больше, чем отрицательных, в других случаях (~88 %), наоборот, концентрация тяжелых отрицательных аэроионов больше, чем положительных. Отмечено, что данное различие связано с величиной относительной влажности. При относительной влажности воздуха более 74 % (критическая относительная влажность, при которой все соляные аэрозольные частицы растворяются) концентрация тяжелых отрицательных аэроионов всегда больше концентрации положительных. При относительных влажностях менее 74 % знак коэффициента униполярности тяжелых аэроионов может быть как отрицательным, так и положительным.

Черный К.А., Файнбург Г.З. Опыт использования сильвинитовых блоков и панелей в комнатах «живого» воздуха и основные параметры качества формируемой воздушной среды

Указанная закономерность может быть объяснена специфическими свойствами соляных аэрозольных частиц. Как известно, тяжелые аэроионы образуются путем захвата легких аэроионов аэрозольными частицами. Поскольку в модельной воздушной среде основным является соляной гигроскопичный аэрозоль, то в случае, если в системе «аэроионы – соляной аэрозоль – воздух» протекают процессы обводнения ядер, испарения или конденсации водяного пара, потоки аэроионов разных знаков на аэрозольные частицы будут различаться из-за появления на поверхности частиц упорядоченных слоев молекул водяного пара. Последние создают вблизи поверхности раздела «вода – воздух» локальный электрический потенциал, знак и величина которого определяются скоростью конденсационных процессов, а также способностью вещества аэрозоля специфично ориентировать адсорбированные на поверхности молекулы водяного пара и диссоциировать в воде. Согласно модели, развитой в [35, 36], аэроионы одного знака, попав в зону действия указанного потенциала, беспрепятственно осаждаются на каплю (частицу), а ионы другого знака «выталкиваются» потенциалом, что приводит к снижению потока этих ионов. Согласно экспериментальным данным [37] на стадии обводнения аэрозольной солевой частицы создаются условия преимущественной адсорбции отрицательных аэроионов, на стадии конденсационного роста – положительных ионов.

Соляной аэрозоль, содержащий соли натрия, калия, магния, обладает ярко выраженным гистерезисом в агрегатном состоянии аэрозольных частиц в зависимости от относительной влажности [38]. Полное растворение частиц соли происходит при относительной влажности 73...78 % [39], однако обратная кристаллизация наблюдается лишь при относительной влажности 30...40 %. На наш взгляд, преимущественный знак заряда тяжелых аэроионов определяется именно процессами избирательного осаждения аэроионов разных знаков на соляную аэрозольную частицу, а также явлением гистерезиса. Наблюдаемые в полученных результатах превышения концентраций или положительных, или отрицательных тяжелых аэроионов при относительной влажности воздуха от 34 до 74 % зависят от того, каким образом данная относительная влажность в модельной воздушной среде камеры была достигнута. Если относительная влажность воздуха в прошлом превысила критическое значение, равное 74 %, при котором все аэрозольные солевые частицы превратились в жидкие капли, то при снижении относительной влажности аэрозольные частицы остаются в жидкой фазе и преимущественное осаждение испытывают отрицательные аэроионы. Если же аэрозольные частицы не являются полностью растворенными, т.е. относительная влажность в прошлом не превышала критическое значение в 74 %, то преимущественному осаждению подвергаются положительные аэроионы.

Распределение легких аэроионов по подвижности в воздушной среде помещений, облицованных специальными материалами на основе калийных солей

Типичное спектральное распределение легких аэроионов по подвижности представлено на рисунке 2. С помощью интегрального спектрометра аэроионов УТ-8401 регистрировались спектры отрицательных и положительных легких аэроионов в диапазоне от 0,1 до 2,2 см²В⁻¹с⁻¹.

Практически все легкие аэроионы находятся в диапазоне подвижности 1...2 см²В⁻¹с⁻¹. Отмечено, что при подвижности более 2 см²В⁻¹с⁻¹ коэффициент униполярности U всегда меньше единицы (среднее значение равно 0,89±0,09), в то время как в диапазоне 1...2 см²В⁻¹с⁻¹ значение коэффициента униполярности U всегда больше единицы (среднее значение – 2,74±1,38). Для обычной атмосферы характерны значения коэффициента униполярности в указанных диапазонах подвижности 0,68 и 1,33 соответственно [40].

Отмеченный выше экспериментальный факт согласуется с ионизационными процессами в чистом воздухе без посторонних химических примесей [40], в котором основными отрицательными аэроионами подвижностью более 2 см²В⁻¹с⁻¹ являются ионы вида $O_2^-(H_2O)_m$, а устойчивых носителей положительного заряда в диапазоне подвижности 1...2 значительно меньше. В то же время в диапазон подвижности 1...2 см²В⁻¹с⁻¹ попадают устойчивые комплексы типа $H^+(H_2O)_m$ и $H_3O^+(H_2O)_m$, которые образуются в достаточно больших количествах и являются основными легкими положительными аэроионами.

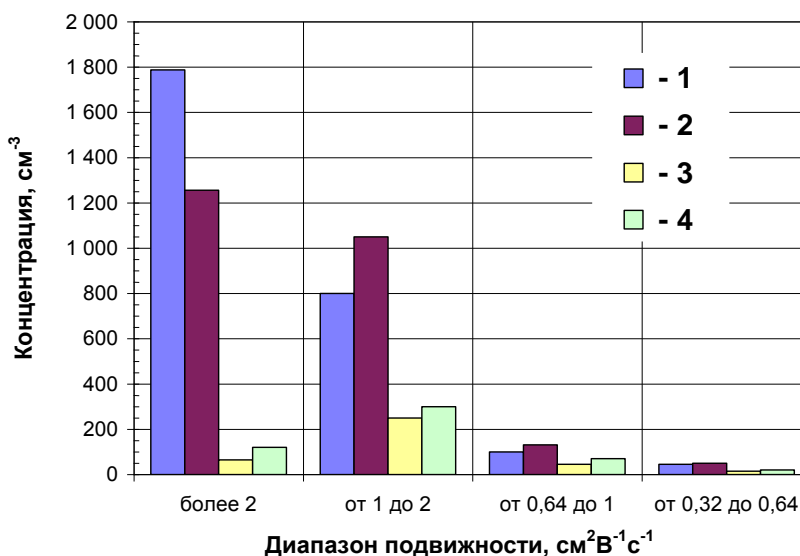


Рисунок 2. Типичные спектральные распределения легких положительных (2, 4) и отрицательных (1, 3) аэроионов в воздушной среде помещений с отделочными материалами на основе калийных солей (1, 2) и в чистом природном воздухе (3, 4) (данные 3 и 4 заимствованы из [40])

Таким образом, эквивалентность параметров аэроионного распределения по подвижности в воздушных средах помещений, облицованных материалами на основе калийных солей, и в чистом атмосферном воздухе доказывает, что химическая природа аэроионов в обеих средах близка. Практически на порядок отличающиеся объемные концентрации аэроионов в воздушных средах помещений и в природном воздухе свидетельствуют о возможности использования новых передовых технологий создания комнат «живого» воздуха для лечебно-профилактических целей.

Распределение аэрозольных частиц по размерам в воздушной среде помещений, облицованных специальными материалами на основе калийных солей

Важными параметрами, определяющими характер воздействия на организм человека вдыхаемых аэрозольных частиц, являются не только их масса, но и размер [41–43]. При высокой дисперсности аэрозоль отличается повышенной химической активностью из-за большой поверхности. Высокодисперсные аэрозольные частицы обладают уникальными физическими и химическими свойствами, так как практически не оседают в воздухе помещений и длительное время находятся во взвешенном состоянии.

Распределение аэрозольных частиц по размерам в воздушной среде помещений, облицованных специальными материалами на основе калийных солей, исследовалось при помощи аэрозольного счетчика марки ПКЗВ-1 с диапазоном размеров исследуемых аэрозольных частиц 0,3...100 мкм и аэрозольного счетчика марки АЗ-6 с диапазоном размеров частиц 0,3...1 мкм.

Известно [44, 45], что в большинстве случаев распределение аэрозольных частиц может быть сведено к суперпозиции нескольких логарифмически нормальных распределений:

$$\frac{\partial N}{\partial D} \frac{D}{D} = \sum_{j=1}^p \frac{N_{0j}}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_j D} \exp\left(-\frac{(\ln D - \ln D_{0j})^2}{2(\ln \sigma_j)^2}\right), \quad (8)$$

где $N(D)$ – число частиц с диаметром D ;

p – число мод в распределении аэрозольных частиц;

N_{0j} – общее число частиц, приходящее на моду с номером j ;

σ_j – стандартное геометрическое отклонение моды с номером j ;

D_{0j} – среднее геометрическое значение диаметра аэрозольных частиц в моде с номером j .

Для достижения поставленной точности моделирования (коэффициент корреляции не менее 0,99) распределение аэрозольных частиц размером более 0,3 мкм следует описывать в виде суперпозиции двух мод логарифмически нормального распределения (Мода-1 и Мода-2). Усредненные значения параметров логарифмически нормальных распределений по модам, полученные в результате измерений в помещениях с соляными отделочными материалами, представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

Представленные результаты показывают, что перспективными облицовочными и декоративными строительными материалами в помещениях «живого» воздуха являются панели и плитки, изготовленные путем прессования, поскольку позволяют генерировать более высокодисперсную фракцию соляных аэрозольных частиц.

Таблица 3. Усредненные результаты аппроксимации распределения аэрозольных частиц по размерам

Объект исследования	Мода-1			Мода-2		
	N_{01}	σ_1	D_{01}	N_{02}	σ_2	D_{02}
Помещения, облицованные блоками из натуральной калийной соли	29±16	2,45±0,68	0,29±0,11	1,80±0,20	2,20±0,10	2,0±0,3
Помещения, облицованные сильвинитовыми панелями и прессованной плиткой	63±29	1,53±0,07	0,34±0,01	0,32±0,19	2,33±0,11	1,5±0,2

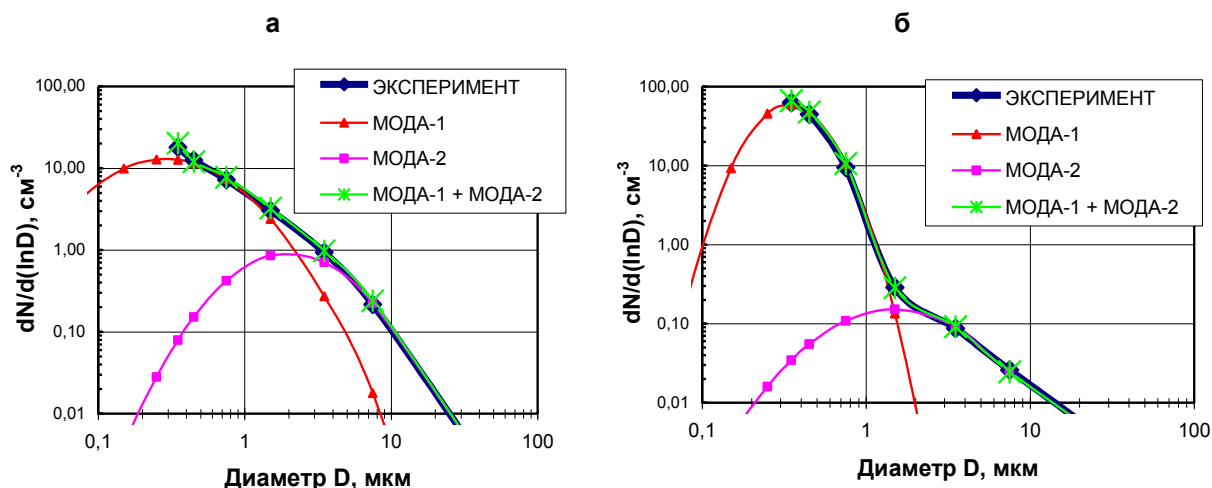


Рисунок 3. Моделирование распределения аэрозольных частиц в комнатах «живого» воздуха: а) помещения, облицованные блоками натуральной калийной соли; б) помещения, облицованные сильвинитовыми панелями и прессованной плиткой

Для подтверждения того, что по своей химической природе генерируемый специальными отделочными материалами высокодисперсный аэрозоль идентичен именно соляным частицам, рассмотрим зависимости распределения частиц по размерам от относительной влажности воздуха. Полученные результаты (рис. 4) показывают, что с увеличением влажности воздуха от 67 до 97 % число аэрозольных частиц средним диаметром порядка 0,35 мкм увеличивается практически на порядок. Последнее подтверждает тот факт, что в воздушной среде помещений, облицованных или декорированных материалами на основе сильвинитовой руды, доминирующее значение имеет соляной аэрозоль [46].

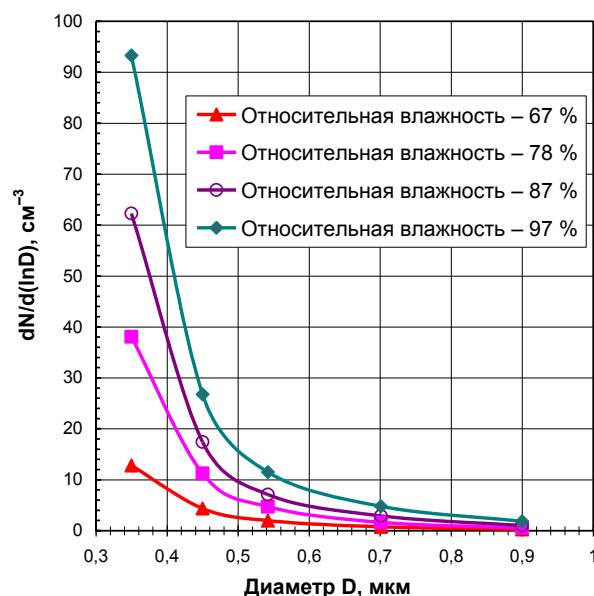


Рисунок 4. Зависимости распределения аэрозольных частиц от влажности

Заключение

Впервые рассмотрены закономерности влияния специальных строительных материалов на основе калийных солей на аэроионный и аэрозольный режимы помещений. Представленный авторами подход к определению уникальных свойств рассматриваемых специальных строительных отделочных и декоративных материалов позволяет научно обосновать их применение, определить характерные места размещения и варианты использования, а также конкретный состав и способ изготовления таких материалов в зависимости от требуемых параметров аэроионного состава и аэрозольсодержания в воздушной среде с целью формирования качественного «живого» воздуха помещений.

Авторы выражают глубокую признательность и благодарность ООО «Научно-внедренческое управление» (г. Березники, Пермский край) за любезно предоставленные фотоматериалы и длительное сотрудничество, позволившее провести экспериментальные исследования, нашедшие отражение в настоящей работе.

Литература

1. Назаров Ю.П. Строительная наука как фактор обеспечения безопасности среды обитания // Промышленное и гражданское строительство. 2006. №8. С. 8–10.
2. Fransson N., Västfjäll D., Skoog J. In search of the comfortable indoor environment: A comparison of the utility of objective and subjective indicators of indoor comfort // Building and Environment. 2007. Vol. 42. Issue 5. Pp. 1886–1890.
3. Мещеряков А.Ю., Осипов С.Н. Новые технологии управления качеством воздуха на объектах со средой обитания // Информационные технологии и вычислительные системы. 2008. №2. С. 20–26.
4. Krueger A.P. Air Ions and Physiological Function // The Journal of General Physiology. 1962. Vol. 45. Pp. 233–241.
5. Шилкин А.А., Губернский Ю.Д., Миронов А.М. Аэроионный режим в гражданских зданиях. М.: Стройиздат, 1988. 168 с.
6. Черкасова Н.Г. Улучшение качества очистки и оздоровления воздушной среды искусственной ионизацией: дисс. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2002. 286 с.
7. Мещеряков А.Ю., Осипов С.Н., Колерский С.В. Медико-техническое обеспечение контроля аэроионного состояния воздуха на объектах с искусственной средой обитания // Труды ИСА РАН. 2006. Т. 19. С. 182–191.

Черный К.А., Файнбург Г.З. Опыт использования сильвинитовых блоков и панелей в комнатах «живого» воздуха и основные параметры качества формируемой воздушной среды

8. Fletcher L.A., Noakes C.J., Sleigh P.A., Beggs C.B., Shepherd S.J. Air ion behavior in ventilated rooms // *Indoor and Built Environment*. 2008. Vol.17 (2). Pp. 173–182.
9. Waring M.S., Siegel J.A. The effect of an ion generator on indoor air quality in a residential room // *Indoor Air*. 2011. Vol. 21. Pp. 267–276.
10. Tan R. *The Truth About Air Electricity & Health: A guide on the use of air ionization and other natural approaches for 21st century health issues*. Singapore: Trafford Publishing, 2014. 168 p.
11. Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений: СанПиН 2.2.4.1294-03: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Рос. Федерации.
12. Liu L., Guo J., Sheng L. The effect of wire heating and con-figuration on ozone emission in negative ion generator // *Journal of Electrostatics*. 2000. Vol. 48. Pp. 81–91.
13. Rehbein N., Cooray V. NO_x production in spark and corona discharges // *Journal of Electrostatics*. 2001. Vol. 51–52. Pp. 333–339.
14. Sekimoto K., Takayama M. Influence of needle voltage on the formation of negative core ions using atmospheric pressure corona discharge in air // *International Journal of Mass Spectrometry*. 2007. Vol. 261. Issue 1. Pp. 38–44.
15. Червинская А.В. Галотерапия в профилактике и восстановительном лечении болезней органов дыхания // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2003. №6. С. 8–15.
16. Chonka J., Simionca Iu., Slavik P. The Development of Speleotherapy in Eastern Europe (Report) // *The XIVth International Symposium of Speleotherapy: Abstracts: Turda, Romania, 2012, October 4-6*. Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2012. Pp. 13–14.
17. Rashleigh R., Smith M.S.S., Roberts J.N. A review of halotherapy for chronic obstructive pulmonary disease // *International Journal of COPD*. 2014. No. 9. Pp. 239–246.
18. Климатическая камера: а. с. 1068126 СССР: А 61 М 16/02. / В.Г. Баранников [и др.]. Оpubл. 23.01.84, Бюл. № 3.
19. Климатическая камера: пат. 2012306 Рос. Федерация / А.Е.Красноштейн [и др.]. № 4913631/14; заявл. 21.02.91; опубл. 15.05.94.
20. Грехова И.А., Кириченко Л.В., Баранников В.Г., Сандакова Е.А., Русанова Е.А. Гигиеническая оценка внутренней среды палаты акушерского стационара, оборудованной соляными сильвинитовыми устройствами для комплексного лечения беременных // *Здоровье семьи – 21 век*. 2011. №4(4). [Электронный ресурс]. Систем. Требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.fh-21.perm.ru/download/2011-4-3.pdf> (дата обращения: 16.02.2015).
21. Торохин М.Д. *Спелеотерапия*. Киев: Здоров'я, 1987. 126 с.
22. Chonka Y., Sichka M., Buleza B., Sharkan Y., Sakalosh I., Popovich I., Lemko I. Ionic composition of air in the underground department of Ukrainian allergic hospital // *The XIVth International Symposium of Speleotherapy: Abstracts: Turda, Romania, 2012, October 4-6*. Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2012. Pp. 14–15.
23. Chonka Y., Sichka M., Buleza B., Lemko I., Sharkan Y., Sakalosh I., Bachkay S., Popovich I. Aerosol therapeutic environment of Ukrainian allergic speleo hospital and salt aerosol therapy rooms // *The XIVth International Symposium of Speleotherapy: Abstracts: Turda, Romania, 2012, October 4-6*. Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2012. Pp. 16–17.
24. Виноградов А.П. Изотоп 40К и его биологическая роль // *Биохимия*. 1957. № 22. Вып. 1/2. С. 14–20.
25. Моисеев А.А., Иванов В.И. *Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене*. М.: Энергоатомиздат, 1984. 296 с.
26. Леенсон И.А. Радиоактивность внутри нас // *Химия и жизнь*. 2009. №7. С. 36–39.
27. Аглинцев К.К., Кодюков В.М., Лызлов А.Ф., Сивинцев Ю.В. *Прикладная дозиметрия*. М.: Госатомиздат, 1962. С. 222.
28. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. *Краткий справочник по химии*. Киев: Издательство Академии наук Украинской ССР, 1962. С. 23.
29. Смирнов В.В. *Ионизация в тропосфере*. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. С. 37–38.
30. Савченко А.В., Свиркунов П.Н., Смирнов В.В. Испарительный перенос ионов примесей из растворов электролитов в воздух // *Проблемы метеорологии*. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 115–125.

Черный К.А., Файнбург Г.З. Опыт использования сильвинитовых блоков и панелей в комнатах «живого» воздуха и основные параметры качества формируемой воздушной среды

31. Смирнов В.В. Электрические факторы чистоты воздуха // Труды института экспериментальной метеорологии. 1983. Вып. 30(104). С. 64–106.
32. Красногорская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 323 с.
33. Hoppel W.A., Frick G.M. The nonequilibrium character of the aerosol charge distribution produced by neutralizers // Aerosol Science and Technology. 1990. Vol. 12. Issue 3. Pp. 471–496.
34. Tammet H., Kulmala M. Simulation tool for atmospheric nucleation bursts // Journal of Aerosol Science. 2005. Vol. 36. Issue 2. Pp. 173–196.
35. Борзилов В.А. Диффузионное заряджение облачных капель: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Обнинск, 1973. 29 с.
36. Савченко А.В. Ионная зарядка при конденсации и испарении водного аэрозоля: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Обнинск, 1981. 22 с.
37. Савченко А.В. Влияние физико-химических свойств поверхности на ионную зарядку капель // Труды Института экспериментальной метеорологии. 1980. Вып. 24(89). С. 38–67.
38. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы. М.: Мир, 1965. 424 с.
39. Беляшова М.А. Влияние влажности воздуха на концентрацию мелкодисперсных аэрозолей // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 1979. Вып. 418. С. 123–131.
40. Hörrak U., Salm J., Tammet H. Statistical characterization of air ion mobility spectra at Tahkuse Observatory: Classification of air ions // Journal of Geophysical Research, Issues D: Atmospheres. 2000. Issue 105. Pp. 9291–9302.
41. Osunsanya T., Prescott G., Seaton A. Acute respiratory effects of particles: mass or number? // Occupational and Environmental Medicine. 2001. Vol. 58. Issue 3. Pp. 154–159.
42. Buseck P.-R., Adachi K. Nanoparticles in the Atmosphere // ELEMENTS: Nanogeoscience. 2008. Vol. 4. No. 6. Pp. 389–394.
43. Голохваст К.С., Паничев А.М., Мишаков И.В., Ведягин А.А., Мельгунов М.С., Данилова И.Г., Козлова И.Г., Габуда С.П., Мороз Н.К., Мельгунов М.С., Киселев Н.Н., Чайка В.В., Гульков А.Н. Экотоксикология нано- и микрочастиц минералов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1–5. С. 1256–1259.
44. Hussein T., Glytsos T., Ondráček J., Dohányosová P., Ždímal P., Hämeri K., Lazaridis M., Smolík J., Kulmala M. Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house // Atmospheric Environment. 2006. Vol. 40. Issue 23. Pp. 4285–4307.
45. Salma I., Borsos T., Weidinger T., Aalto P., Hussein T., Dal Maso M., Kulmala M. Production, growth and properties of ultrafine atmospheric aerosol particles in an urban environment // Atmospheric Chemistry and Physics. 2011. Vol. 11. No. 3. Pp. 1339–1353.
46. Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Поздняков Д.В. Атмосферная аэрозоль. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 224 с.

*Константин Анатольевич Черный, г. Пермь, Россия
Тел. раб.: +7(342)2198049; эл. почта: chernyy_k@mail.ru*

*Григорий Захарович Файнбург, г. Пермь, Россия
Тел. раб.: +7(342)218042; эл. почта: faynburg@mail.ru*

© Черный К.А., Файнбург Г.З., 2015