

УДК 622.363.2:539.16.04:615.835

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2016

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛЬВИНИТА ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И УРОВНЯ ЕЕ ИОНИЗАЦИИ

К.А. Черный, Г.З. Файнбург

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

USE OF SYLVINITE DEDICATED TO VERKHNEKAMSKOE FIELD OF POTASH AND MAGNESIUM TO INCREASE QUALITY AND IONIZATION OF AIR ENVIRONMENT

К.А. Chernyi, G.Z. Fainburg

Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskii av, Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 24.02.2016. Принята / Accepted: 20.04.2016. Опубликовано / Published: 30.06.2016

Ключевые слова:

сильвинит, хлорид калия, калий-40, бета-излучение, гамма-излучение, спелеоклиматическая камера, ионизация воздуха, аэроионы, электрическая подвижность, коэффициент униполярности.

Урбанизация территорий и нарастание техногенного загрязнения воздушной среды все настойчивее требуют создания и широкого внедрения средств, способов и материалов для улучшения качества воздушной среды внутренних помещений, в первую очередь за счет аэроионизации. Актуальность именно этого направления улучшения качества воздуха внутренних помещений связана с двумя основными причинами деионизации природного воздуха: во-первых, вследствие его аэрозольного и газового загрязнения, а во-вторых, в процессе очистки воздуха от этих загрязнений. При этом применение известных классических способов электростатического генерирования аэроионов ограничено их побочными эффектами.

В настоящей работе рассмотрены новые перспективные способы создания качественной, вплоть до лечебной, воздушной среды помещений путем их аэроионизации за счет взаимодействия воздуха с природным сильвинитом, содержащим сильвин (хлорид калия).

Представлены обобщенные экспериментальные данные об аэроионизации воздуха специальных помещений лечебного и оздоровительного назначения – сильвинитовых спелеоклиматических камер с поверхностями разных конструкций, выполненных из пиленых сильвинитовых блоков природного сильвинита; из прессованной соляной плитки с высоким содержанием хлористого калия и др. Аэроионизация возникает в первую очередь за счет бета-излучения природного радиоактивного изотопа калия-40.

Исследованы концентрация аэроионов положительной и отрицательной полярности различной подвижности (легкие, средние промежуточные и тяжелые аэроионы). Детально рассмотрены спектральные распределения аэроионов легкой группы подвижности отрицательной полярности. В диапазоне подвижности более $2 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ коэффициент униполярности всегда меньше единицы, в то время как в диапазоне $1-2 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ значение коэффициента униполярности всегда больше единицы.

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность применения сильвинитовых строительных материалов для создания высококачественной, лечебной или оздоровительной воздушной среды, позволяют оптимально выбирать специальные строительные отделочные и декоративные материалы на основе сильвинита в зависимости от требуемых параметров аэроионного состава с целью формирования качественного воздуха помещений.

Key words:

sylvinite, potassium chloride, potassium-40, beta radiation, gamma radiation, speleoclimatic chamber, air ionization, air ions, electric mobility, unipolarity factor.

Urbanization of territories and growth of man-made air pollution require creating and widely implementing means, methods and materials to increase air quality of indoor premises through ionization. Increase of air quality of indoor premises is on the front burner which is caused by following reasons of natural air deionization: aerosol and gas pollution and air cleaning from its pollution. Wherein, use of conventional methods of electrostatic generation of air ions is restricted by its side effects.

This paper reviews new prospecting methods to create qualitative and treatment air environment inside premises through its air ionization by interaction of air and natural sylvinite, containing silvite (potassium chloride).

The paper presents generalized experimental data including air ionization of premises for treatment and health-recovering purposes that represent sylvinite speleoclimatic chambers with surfaces of different design made of either sawn sylvinite blocks of natural sylvinite or pressed salt tile with high concentration of potassium chloride etc. Air ionization occurs primarily due to beta radiation of natural radioactive isotope potassium-40.

Concentration of air ions of positive and negative polarity and different mobility (light, moderate and heavy air ions) are studied. Spectrum distribution of air ions of light mobility group of negative polarity are analyzed in details. In the range of mobility more than $2 \text{ cm}^2 \text{ В}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ unipolarity coefficient is always less than 1. In the range of $1-2 \text{ cm}^2 \text{ В}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ unipolarity coefficient is larger than 1.

Obtained results prove high efficiency of application of sylvinite construction materials to create high-quality, treatment or health-recovering air environment, allow to select special construction and decoration materials based on sylvinite depending on required parameters of air ion composition in order to create high-quality air in the premises.

Черный Константин Анатольевич – доктор технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности (тел.: +007 342 219 81 73, e-mail: chernyu_k@mail.ru). Контактное лицо для переписки.

Файнбург Григорий Захарович – доктор технических наук, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых (тел.: +007 342 219 80 42, e-mail: faynburg@mail.ru).

Konstantin A. Chernyi – Doctor of Engineering, Associate Professor at the Department of Life Safety (tel.: +007 342 219 81 73, e-mail: chernyu_k@mail.ru).

Grigoriy Z. Fainburg (Author ID in SCOPUS: 650655582) – Doctor of Engineering, Professor at the Department of Development of Mineral Deposits (tel.: +007 342 219 80 42, e-mail: faynburg@mail.ru).

Введение

В условиях, когда современный человек все больше времени проводит в замкнутых помещениях и часто испытывает при этом так называемый «воздушный дискомфорт», устранение последнего является актуальным предметом многих современных научных исследований. Ряд авторов [1–6] одну из причин воздушного дискомфорта в помещениях видит в четко фиксируемом изменении аэроионного состава воздуха по сравнению с природным воздухом – в помещениях происходит существенное снижение содержания легких аэроионов. В условиях отсутствия природных механизмов генерации легких аэроионов, а также поглощения их в процессе дыхания человеком, оседания на аэрозольных частицах и адсорбции поверхностями их содержание резко падает.

Идея и способ компенсировать убыль легких аэроионов за счет их искусственной генерации с помощью специального оборудования – коронных аэроионизаторов – ограничены 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 [7–9].

Этих недостатков лишены естественные природные способы обеспечения требуемого ионосодержания в воздухе [10], основанные на применении специальных строительных конструкций или материалов из соляных горных пород, которыми облицовываются или декорируются ограждающие поверхности комнат, пола или потолка помещений. При этом для создания уникального лечебного микроклимата спелеоклиматических камер [11, 12] в облицовочных материалах [13] и/или материалах несущих конструкций применяется природный сильвинит.

Известно, что в ряде горных пород в зависимости от их химического состава в определенных естественных (пещеры) или искусственно пройденных горных выработках (в частности соляных выработках [14, 15]) отмечаются как низкие дозы радиоактивных излучений [16, 17], так и относительно высокие [18], при кото-

рых наблюдаются высокие объемные концентрации легких аэроионов.

В настоящее время почти отсутствуют работы, обобщающие с единых физических позиций разрозненные теоретические и экспериментальные результаты. Исследования ограничиваются, как правило, либо выполненными измерениями излучений [19–21], либо измерениями параметров ионосодержания [22] без рассмотрения роли факторов, обуславливающих формирование аэроионного состава.

Таким образом, представляется целесообразным на основе физических закономерностей с учетом результатов экспериментов выявить основные закономерности реализации механизмов ионообразования, обусловленных действием радиоактивных излучений различной природы, характерных для калийных солей.

Ионизирующие излучения калийных солей

Основной вклад в ионообразование как в горных выработках калийных рудников, так и в спелеоклиматических камерах вносит ионизирующее излучение калия, который содержится в калийно-магниевых солях. Минералами горных пород, содержащими калий, являются сильвинит и карналлит, а горными породами – сильвинит и карналлит. Средний состав сильвинитовых руд Верхнекамского месторождения: KCl – 25,5 %; $NaCl$ – 68,5 %; $MgCl_2$ – 0,8 %; $CaSO_4$ – 1,9 %, нерастворимый осадок – 2,7 %; H_2O – 0,6 % [18].

В природе калий состоит из двух стабильных изотопов ^{39}K (93,08 %), ^{41}K (6,91 %) и одного радиоактивного изотопа ^{40}K (0,0117 %), распадающегося двумя разными путями.

Первый путь состоит в том, что в результате β -распада (89,28 %) ^{40}K превращается в стабильный изотоп ^{40}Ca : $^{40}K_{19} \rightarrow ^{40}Ca_{20} + e^-$. Эманированные β -частицы (электроны) при своем пробеге ионизируют атомы и молекулы воздуха, а затем захватываются и присоединяются к внешним оболочкам атомов и молекул воздуха, образуя отрицательно заряженные аэроионы.

Второй путь распада атомы изотопа ^{40}K претерпевают путем K -захвата (10,72 %), трансформируясь в ^{40}Ar , ядро которого, пере-

ходя в стабильное состояние, выбрасывает γ -квант: $^{40}\text{K}_{19} + e^- \rightarrow ^{40}\text{Ar}_{18} + h\nu$, порождая слабое гамма-излучение.

Основные физические характеристики радиоактивных излучений, вызванных распадами изотопов ^{40}K , приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1
Основные характеристики излучения изотопа ^{40}K

Характеристика	Значение
Период полураспада, лет	$1,248 \cdot 10^9$
Содержание в естественной смеси изотопов, %	0,0119
Энергия γ -излучения, МэВ	1,505
Средняя энергия излучения β -частиц, МэВ	0,541
Граничная энергия излучения β -частиц, МэВ	1,322

Ионообразование в горных выработках и в сильвинитовых спелеоклиматических камерах обусловлено в первую очередь ионизирующими излучениями. При этом аэроионы и свободные электроны возникают в воздухе, когда энергия возбуждения молекул или атомов вследствие влияния ионизирующих излучений составляет величину большую, чем потенциал ионизации.

Как известно, β -частицы, проходящие через вещество, испытывают упругие и неупругие взаимодействия с ядрами и электронами окружающей среды. Взаимодействие β -частицы с атомными электронами приводит к передаче им некоторой энергии, следствием чего является либо ионизация, либо возбуждение атома. Оба вида передачи энергии, имеющие общее название «ионизационные потери», примерно равновероятны.

В среде γ -излучение теряет свою энергию за счет фотоэффекта либо комптоновского рассеяния, при этом основное ионизационное воздействие на воздушную среду обусловлено вторичными электронами.

Методы исследования

Все исследования выполнены в реальных специальных помещениях, облицованных сильвинитовыми блоками и панелями в отсутствие людей (кроме исследователя).

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

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

Усредненные значения 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) при рассматриваемых предельных подвижностях со стандартными отклонениями представлены в табл. 2.

Во всех измерениях в диапазоне подвижности более $0,1 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ (легкие аэроионы) преобладают аэроионы положительной полярности, что характерно для приземной атмосферы

Т а б л и ц а 2
Концентрации аэроионов различных групп подвижностей в помещениях с отделочными материалами на основе калийной соли

Объект	Объемные концентрации аэроионов, см^{-3}					
	Подвижность более $0,1 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$		Подвижность $0,01-0,10 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$		Подвижность $0,00032-0,01000 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$	
	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 $1,5 \text{ м}$ от активной поверхности)	1030 ± 380	1040 ± 360	230 ± 80	170 ± 70	1600 ± 350	1300 ± 240

вследствие наличия электрического поля Земли. Коэффициент униполярности $Y = n_+ / n_-$ в диапазоне легких аэроионов колеблется в интервале 1,08–1,57.

Объемные концентрации средних промежуточных аэроионов (подвижностью 0,01–0,10 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$) 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 0,00032–0,01000 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$) отмечен следующий экспериментальный факт. Коэффициент униполярности Y в указанном диапазоне изменяет свой знак в зависимости от времени и объекта измерения. В одних случаях (~ 12 %) концентрация тяжелых положительных аэроионов больше, чем тяжелых отрицательных. В других случаях (~ 88 %), наоборот, концентрация тяжелых отрицательных аэроионов больше, чем тяжелых положительных. Отмечено, что данное различие связано с величиной относительной влажности.

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

Проведено исследование спектров по подвижности отрицательных и положительных легких аэроионов в диапазоне от 0,32 вплоть до 2,2 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$. Типичное спектральное распределение легких аэроионов по подвижности представлено на рисунке.

Практически все легкие аэроионы находятся в диапазоне подвижности 1–2 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$. Отмечено, что в диапазоне подвижности более 2 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ коэффициент униполярности Y всегда меньше единицы (среднее значение равно $0,89 \pm 0,09$), в то время как в диапазоне 1–2 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ значение коэффициента униполярности Y всегда больше единицы (среднее значение – $2,74 \pm 1,38$). Для обычной атмосферы характерны значения коэффициента униполярности в указанных диапазонах подвижности 0,68 и 1,33 соответственно [23]. Отмеченный

выше экспериментальный факт согласуется с ионизационными процессами в чистом воздухе без посторонних химических примесей. Действительно, основными отрицательными аэроионами в диапазоне подвижности более 2 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ являются ионы вида $\text{O}_2^-(\text{H}_2\text{O})_m$, а устойчивых носителей положительного заряда в диапазоне подвижности 1–2 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ значительно меньше [23]. В то же время в диапазон подвижности 1–2 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ попадают устойчивые комплексы типа $\text{H}^+(\text{H}_2\text{O})_m$ и $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_m$, которые образуются в достаточно больших количествах и являются основными легкими положительными аэроионами.

Обсуждение результатов

Зависимость знака коэффициента униполярности Y в области тяжелых аэроионов (подвижностью 0,00032–0,01000 $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$) от времени и объекта измерения (см. табл. 2) может быть объяснена специфическими свойствами соляных аэрозольных частиц. Как известно, тяжелые аэроионы образуются путем захвата легких аэроионов аэрозольными частицами. Если в системе «аэроионы – соляной аэрозоль – воздух» протекают процессы обводнения, испарения или конденсации водяного пара, потоки аэроионов разных знаков на гигроскопичные аэрозольные частицы будут различаться из-за появления на поверхности

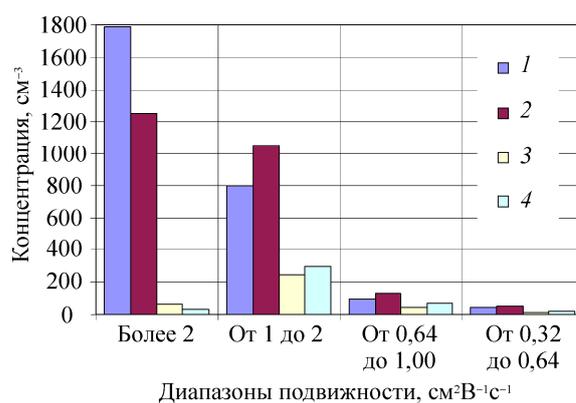


Рис. Типичные спектральные распределения легких положительных (2, 4) и отрицательных (1, 3) аэроионов в воздушной среде помещений с отделочными материалами на основе калийных солей (1, 2) и чистом природном воздухе (3, 4). Данные 3 и 4 заимствованы из [23]

частиц упорядоченных слоев молекул водяного пара. Такие слои 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 [24], аэроионы одного знака, попав в зону действия указанного потенциала, беспрепятственно осаждаются на каплю (частицу). Ионы другого знака «выталкиваются» потенциалом, что приводит к снижению потока этих ионов. Согласно экспериментальным данным [25] на стадии обводнения аэрозольной солевой частицы создаются условия преимущественной адсорбции отрицательных аэроионов, на стадии конденсационного роста – положительных ионов. На наш взгляд, преимущественный знак заряда тяжелых аэроионов (см. табл. 2) определяется именно процессами избирательного осаждения легких аэроионов разных знаков на соляную аэрозольную частицу.

Кроме того, как известно [26], аэрозоль, содержащий соли натрия, калия, магния, обладает ярко выраженным гистерезисом в агрегатном состоянии аэрозольных частиц в зависимости от относительной влажности. Полное растворение частиц соли происходит при 73–78 % относительной влажности, однако обратная кристаллизация наблюдается уже при относительной влажности 30–40 %.

Указанные выше механизмы объясняют тот экспериментальный факт, что при относительной влажности воздуха порядка и более 73 % (критическая относительная влажность, при которой большинство соляных аэрозольных частиц растворяются и представляют собой мельчайшие капли) концентрация тяжелых отрицательных аэроионов всегда больше концентрации тяжелых положительных.

Напротив, при относительной влажности менее 73 % знак коэффициента униполярности Y тяжелых аэроионов может быть как отрицательным, так и положительным. Последнее зависит

от того, каким образом относительная влажность менее 73 % была достигнута. Если относительная влажность воздуха в прошлом превысила критические значения, равные 73–78 %, то при снижении относительной влажности аэрозольные частицы вплоть до 30–40 % остаются в жидкой фазе и преимущественное осаждение испытывают легкие отрицательные аэроионы. Если же аэрозольные частицы не являются полностью растворенными, т.е. относительная влажность в прошлом не превышала критические значения 73–78 %, то преимущественному осаждению подвергаются положительные легкие аэроионы.

Выводы

Рассмотрены закономерности влияния специальных строительных материалов на основе калийных солей на аэроионный и аэрозольный режим помещений. Представленный подход к определению уникальных свойств рассматриваемых специальных строительных отделочных и декоративных материалов позволяет научно обосновать их применение, определить варианты использования в зависимости от требуемых параметров аэроионного состава и аэрозольсодержания в воздушной среде с целью формирования качественного воздуха помещений.

Полученная эквивалентность параметров аэроионного распределения по подвижности в воздушных средах помещений, облицованных материалами на основе калийных солей, и в чистом атмосферном воздухе (см. рис. 1) доказывает, что химическая природа аэроионов в обеих средах близка.

Практически на порядок отличающиеся объемные концентрации аэроионов в воздушных средах помещений, облицованных специальными материалами на основе калийных солей, и в природном воздухе свидетельствуют о возможности использования новых передовых технологий применения природного силвинита в гуманитарных целях создания помещений для лечебно-профилактических целей.

Список литературы

1. Krueger A.P. Air ions and physiological function // *The Journal of General Physiology*. – 1962. – Vol. 45. – P. 233–241.
2. Kröing P. Natural and artificially produced air ions – a biologically relevant climate factor? // *International Journal of Biometeorology*. – 1985. – Vol. 29, № 3. – P. 233–242. DOI: 10.1007/BF02189655.
3. Singh J. Health, comfort and productivity in the indoor environment // *Indoor and Built Environment*. – 1996. – Vol. 5. – P. 22–33. DOI: 10.1177/1420326X9600500105.
4. Sekhar S.C., Ching C.S. Indoor air quality and thermal comfort studies of an under-floor air-conditioning system in the tropics // *Energy and Buildings*. – 2002. – Vol. 34 – P. 431–444. DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00128-1.
5. 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. – P. 1886–1890. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.02.021.
6. 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.
7. Liu L., Guo J., Sheng L. The effect of wire heating and configuration on ozone emission in negative ion generator // *Journal of Electrostatics*. – 2000. – Vol. 48. – P. 81–91. DOI: 10.1016/S0304-3886(99)00049-2.
8. Rehbein N., Cooray V. NO_x production in spark and corona discharges // *Journal of Electrostatics*. – 2001. – Vol. 51–52. – P. 333–339. DOI: 10.1016/S0304-3886(01)00115-2.
9. 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, is. 1. – P. 38–44. DOI: 10.1016/j.ijms.2006.07.027.
10. Rashleigh R., Smith S. MS., Roberts N. A review of halotherapy for chronic obstructive pulmonary disease // *International Journal of COPD*. – 2014. – Vol. 9. – P. 239–246. DOI: 10.2147/COPD.S57511.
11. Климатическая камера: пат. 2012306 Рос. Федерация / А.Е. Красноштейн [и др.]. – № 4913631/14; заявл. 21.02.91; опубл. 15.05.94.
12. The effect of salt chamber treatment on bronchial hyperresponsiveness in asthmatics / J. Hedman [et al.] // *Allergy*. – 2006. – Vol. 61. – P. 605–610. DOI: 10.1111/j.1398-9995.2006.01073.x.
13. Способ изготовления строительных изделий специального назначения из соляных материалов: пат. 2097359 Рос. Федерация / А.А. Барях [и др.]. – № 95101758/03; заявл. 06.02.95; опубл. 27.11.97.
14. Environment study in order to use potential therapeutic factors existing in the cavity of one salt mine for the achievement of some perspectives of speleotherapy development in Romania / Iu. Simionca [et al.] // *Proceedings of the 14th International Congress of Speleology*, 21–28 August, 2005, Kalamos, Hellas. – P. 421–425.
15. Enache L., Bunescu Iu. Microclimate and physical environment elements in some salt mines in Romania for speleotherapeutical use // *The XIVth International Symposium of Speleotherapy: Abstracts*. Turda, Romania, 2012, October 4–6. – Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2012. – P. 17–18.
16. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR V / Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, Board on Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council. – Washington D.C.: National Academy Press, 1996. – 436 p.
17. Horowitz S. Salt cave therapy: rediscovering the benefits of an old preservative // *Alternative and Complementary Therapies*. – 2010. – Vol. 16. – P. 158–162. DOI: 10.1089/act.2010.16302.
18. Косяченко Г.Е. Гигиенические основы комплексной оценки добычи калийных руд Беларуси и рационального использования спелеосреды месторождения: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Минск, 2004. – 40 с.
19. Радиологическое исследование соляного пласта АБ калийного рудника / В.А. Старцев [и др.] // *Вопросы комплексного освоения недр и совершенствования технологии горных работ на предприятиях Западного Урала: тез. докл. науч. конф. Пермского политехн. ин-та*. – Пермь, 1983. – С. 21–22.

20. Tahir S.N.A., Alaamer A.S. Determination of natural radioactivity in rock salt and radiation doses due to its ingestion // *Journal of Radiological Protection*. – 2008. – Vol. 28, is. 2. – P. 233–236. DOI: 10.1088/0952-4746/28/2/N01.

21. A study on natural radioactivity in Khewra Salt Mines, Pakistan / M.A. Baloch [et al.] // *Journal of Radiation Research*. – 2012. – Vol. 53, is. 3. – P. 411–421. DOI: 10.1269/jrr.11162.

22. Ionic composition of air in the underground department of Ukrainian allergic hospital / Y. Chonka [et al.] // *Abstracts of the XIVth International Symposium of Speleotherapy*. – Turda, 2012. – P. 14–15.

23. 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. – Vol. 105. – P. 9291–9302. DOI: 10.1029/1999JD901197.

24. Борзилов В.А. Диффузионное заряджение облачных капель: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Обнинск, 1973. – 29 с.

25. Савченко А.В. Ионная зарядка при конденсации и испарении водного аэрозоля: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Обнинск, 1981. – 22 с.

26. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы. – М.: Мир, 1965. – 425 с.

References

1. Krueger A.P. Air ions and physiological function. *The Journal of General Physiology*, 1962, vol.45, pp.233-241.

2. Kröing P. Natural and artificially produced air ions – a biologically relevant climate factor? *International Journal of Biometeorology*, 1985, vol.29, no.3, pp.233-242. DOI: 10.1007/BF02189655.

3. Singh J. Health, comfort and productivity in the indoor environment. *Indoor and Built Environment*, 1996, vol.5, pp.22-33. DOI: 10.1177/1420326X9600500105.

4. Sekhar S.C., Ching C.S. Indoor air quality and thermal comfort studies of an under-floor air-conditioning system in the tropics. *Energy and Buildings*, 2002, vol.34, pp.431-444. DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00128-1.

5. 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, pp.1886-1890. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.02.021.

6. 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.

7. Liu L., Guo J., Sheng L. The effect of wire heating and configuration on ozone emission in negative ion generator. *Journal of Electrostatics*, 2000, vol.48, pp.81-91. DOI: 10.1016/S0304-3886(99)00049-2.

8. Rehbein N., Cooray V. NO_x production in spark and corona discharges. *Journal of*

Electrostatics, 2001, vol.51-52, pp.333-339. DOI: 10.1016/S0304-3886(01)00115-2.

9. 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, is.1, pp.38-44. DOI: 10.1016/j.ijms.2006.07.027.

10. Rashleigh R., Smith S. MS., Roberts N. A review of halotherapy for chronic obstructive pulmonary disease. *International Journal of COPD*, 2014, vol.9, pp.239-246. DOI: 10.2147/COPD.S57511.

11. Krasnoshtein A.E. et al. Klimaticheskaja kamera [Climatic chamber]: patent 2012306 Ros. Federatsiia; no.4913631/14; zaiavlen 21.02.91; opublikovan 15.05.94.

12. Hedman J. et al. The effect of salt chamber treatment on bronchial hyperresponsiveness in asthmatics. *Allergy*, 2006, vol.61, pp.605-610. DOI: 10.1111/j.1398-9995.2006.01073.x.

13. Bariakh A.A. et al. Sposob izgotovleniia stroitel'nykh izdelii spetsial'nogo naznacheniiia iz solianykh materialov [The method to manufacture construction products of salt materials for special purposes]: patent 2097359 Ros. Federatsiia; no.95101758/03; zaiavlen 06.02.95; opublikovan 27.11.97.

14. Simionca Iu. et al. Environment study in order to use potential therapeutic factors existing in the cavity of one salt mine for the achievement of some perspectives of speleotherapy development in Romania. *Proceedings of the 14th*

International Congress of Speleology, 21-28 August, 2005. Kalamos, Hellas, 2005. Pp.421-425.

15. Enache L., Bunescu Iu. Microclimate and physical environment elements in some salt mines in Romania for speleotherapeutic use. *The XIVth International Symposium of Speleotherapy: Abstracts*. Turda, Romania, 2012, October 4–6. Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2012. Pp. 17-18.

16. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR V. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, Board on Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council. Washington D.C.: National Academy Press, 1996. 436 p.

17. Horowitz S. Salt cave therapy: rediscovering the benefits of an old preservative. *Alternative and Complementary Therapies*, 2010, vol.16, pp.158-162. DOI: 10.1089/act.2010.16302.

18. Kosiachenko G.E. Gigienicheskie osnovy kompleksnoi otsenki dobychi kaliinykh rud Belarusi i ratsional'nogo ispol'zovaniia speleosredy mestorozhdeniia [Hygienic bases of a complex estimation of ore potash mining in Belarus and rational use speleo environment of the field]: avtoreferat dissertatsii ... doktora meditsinskikh nauk. Minsk, 2004. 40 p.

19. Startsev V.A. et al. Radiologicheskoe issledovanie solianogo plasta AB kaliinogo rudnika [Radiological study of salt formation AB of potash mine]. *Voprosy kompleksnogo osvoeniia nedr i sovershenstvovaniia tekhnologii gornykh работ na predpriiatiakh Zapadnogo Urala: tezisy dokladov nauchnoi konferentsii Permskogo politekhnicheskogo instituta*. Perm', 1983, pp.21-22.

20. Tahir S.N.A., Alaamer A.S. Determination of natural radioactivity in rock salt and radiation doses due to its ingestion. *Journal of Radiological Protection*, 2008, vol.28, is.2, pp.233-236. DOI: 10.1088/0952-4746/28/2/N01.

21. Baloch M.A. et al. A study on natural radioactivity in Khewra Salt Mines, Pakistan. *Journal of Radiation Research*, 2012, vol.53, is.3, pp.411-421. DOI: 10.1269/jrr.11162.

22. Chonka Y. et al. Ionic composition of air in the underground department of Ukrainian allergic hospital. *Abstracts of the XIVth International Symposium of Speleotherapy*. Turda, 2012. Pp.14-15.

23. 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, vol. 105, pp.9291-9302. DOI: 10.1029/1999JD901197.

24. Borzilov V.A. Diffuzionnoe zariazhenie oblachnykh kapel' [Диффузионное заряджение облачных капель]: avtoreferat dissertatsii ... kandidata fiziko-matematicheskikh nauk. Obninsk, 1973. 29 p.

25. Savchenko A.V. Ionnaia zariadka pri kondensatsii i isparenii vodnogo aerozolia [Ionic charge in condensation and evaporation of water aerosol]: avtoreferat dissertatsii ... kandidata fiziko-matematicheskikh nauk. Obninsk, 1981. 22 p.

26. Iunge Kh. Khimicheskii sostav i radioaktivnost' atmosfery [Chemical composition and radioactivity of atmosphere]. Moscow: Mir, 1965. 425 p.

Просьба сослаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Черный К.А., Файнбург Г.З. Использование сильвинита Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей для повышения качества воздушной среды и уровня ее ионизации // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т.15, №19. – С.185–192. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.19.9

Please cite this article in English as:

Chernyi K.A., Fainburg G.Z. Use of sylvinitite dedicated to Verkhnekamskoe field of potash and magnesium to increase quality and ionization of air environment. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2016, vol.15, no 19, pp.185–192. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.19.9