ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.

УДК 613.5

DOI: 10.22227/2305-5502.2020.4.3

Анализ качества внутренней среды застройки г. Владивосток. Часть 1: Исследование радиационного фона жилых помещений

В.А. Дрозд^{1,2}, В.В. Темченко³, Ю.В. Чубов³, В.Н. Кустов³, К.С. Голохваст²

¹ Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае; г. Владивосток, Россия;

² Дальневосточный федеральный университет (ДФУ); г. Владивосток, Россия;

³ Владивостокский филиал Российской таможенной академии; г. Владивосток, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследован радиационный гамма-фон в жилых помещениях многоквартирных домов г. Владивосток. Работа характеризуется учетом предыдущих исследований на тему «синдром больного здания» (Sick Building Syndrome), что доказывает высокую актуальность. Предмет исследования — уровень радиационного гамма-фона. Объект исследования — жилые помещения многоквартирных домов. Географические границы — г. Владивосток. Новизна представляемого научного труда состоит в новых данных натурных экспериментов и масштабах анализа полученных из них материалов, а также в раскрытии содержательных вопросов контроля уровня радиации в жилой застройке. В этом заключается и практическая значимость, связанная с экологической безопасностью.

Материалы и методы. Применены натурные обследования на основе измерений радиационного гамма-фона в многоквартирных домах разного типа, построенных в разное время из различных материалов.

Результаты. Раздел содержит аналитическую информацию об отсутствии влияния территориального расположения домов на радиационный фон внутри обследованных квартир. Результаты измерений имеют диапазон значений, который объясняется влиянием использованных материалов. Основные закономерности анализируемых результатов измерений зависят от длительности эксплуатации жилой застройки, что имеет практическое значение.

Выводы. Полученные закономерности влияния параметров застройки на радиационный фон в квартирах могут быть использованы в практике оценки состояния жилой застройки. Приведенная информация о радиационном фоне может быть внесена в базы данных информационного моделирования зданий (BIM) и использована для ориентирования на пользователя подхода к проектированию застройки и городской инфраструктуры. Результаты исследований радиационного фона квартир, внесенные в базу данных и использованные в алгоритмах проектирования на основе нужд горожан, позволяют прогнозировать совокупное качество среды жизненного пространства человека не только в рассмотренной жилой застройке, а также в прилегающих к ней объектах г. Владивосток.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: радиация, гамма-излучение, дозиметрия, внутренняя среда, жилая застройка, жилые помещения, синдром больного здания, экология

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дрозд В.А., Темченко В.В., Чубов Ю.В., Кустов В.Н., Голохваст К.С. Анализ качества внутренней среды застройки г. Владивосток. Часть 1: Исследование радиационного фона жилых помещений // Строительство: наука и образование. 2020. Т. 10. Вып. 4. Ст. 3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.4.3

An insight into the quality of internal built environment in Vladivostok. Part 1: Studying background radiation in residential premises

Vladimir A. Drozd^{1,2}, Valery V. Temchenko³, Yuri V. Chubov³,
Vladimir N. Kustov³, Kirill S. Golokhvast²

¹ Center for Hygiene and Epidemiology in the Primorsky Territory; Vladivostok, Russian Federation;

² Far Eastern Federal University (FEFU); Vladivostok, Russian Federation;

³ Vladivostok Branch of the Russian Customs Academy; Vladivostok, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The article addresses background gamma radiation in residential premises of apartment buildings in Vladivostok. This study is based on earlier research undertakings focused on the sick building syndrome (SBS), which proves its high relevance. The research is focused on the intensity of background gamma radiation in the residential premises of apartment buildings in Vladivostok. New data obtained in the course of the field experiments, the scale of their analysis, the coverage of substantive issues concerning radiation intensity and its monitoring in residential buildings guarantee the novelty of this research project. These findings also have a practical value that deals with environmental safety.

Materials and methods. Onsite examinations were conducted in the form of background gamma radiation measurements taken in versatile apartment buildings, built at different times and made of different materials.

Results. This section contains analytical information about the lack of influence of the location of apartment buildings on background radiation inside the apartments examined within the framework of this research project. Measurement results represent a range of values depending on construction materials used. Principal regularities, derived from the measurement results, are based on the time of operation of residential buildings, which is of practical importance.

Conclusions. Patterns of influence of building parameters on background radiation inside apartments allow to assess the condition of residential buildings. Background radiation information can be entered into BIM databases and used to formulate the approach to the design of buildings and urban infrastructure so that they were focused on their residents and users. Background radiation research findings, entered into the database and contributed to design algorithms which are customized to the needs of urban residents, will enable designers to project the overall quality of the living environment encompassing the built environment analyzed in this article and other nearby buildings and structures located in Vladivostok.

KEYWORDS: radiation, gamma radiation, dosimetry, internal environment, residential buildings, residential premises, sick building syndrome, ecology

FOR CITATION: Drozd V.A., Temchenko V.V., Chubov Yu.V., Kustov V.N., Golokhvast K.S. An insight into the quality of internal built environment in Vladivostok. Part 1: Studying background radiation in residential premises. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2020; 10(4):3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.4.3 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, окружающая среда оказывает влияние на здоровье человека. Современные люди проводят в жилых и общественных помещениях от 52 до 85 % суточного времени, поэтому стоит учитывать, что в зданиях формируется особая воздушная среда и совершенно отличная от атмосферного воздуха композиция химических веществ [1, 2].

Кроме вредных компонентов воздушной среды, к которым относятся бактерии, пыль и газообразные загрязнители, на индивида воздействуют такие факторы, как радиационные и электромагнитные поля, а также шумовое загрязнение.

Изучение совместного воздействия на организм человека перечисленных выше загрязняющих факторов и показателей микроклимата сформировало новое научное направление, которое получило название «синдром больного здания» (Sick Building Syndrome). Синдром больного здания имеет место в тех случаях, когда показатели «экологии жилища» превышают допустимые гигиенистами значения. В настоящее время этому научному направлению посвящаются многочисленные научные исследования. Неблагоприятные факторы «больных зданий» можно распределить на химические, биологические, физические, архитектурно-планировочные и социальные. Эти показатели оказывают комплексное, комбинированное и сочетанное действие, вызывающее угнетение иммунологической резистентности организма, что сопровождается ростом специфической заболеваемости (в том числе аллергической и канцерогенной природы), а также неспецифической общесоматической патологии [3–7].

Одним из наиболее вредных и опасных факторов, влияющих на здоровье человека, является радиационное гамма-излучение. Радиация оказывает негативное воздействие на организм человека, вызывая серьезные заболевания. С учетом того, что, как было сказано ранее, люди проводят значительную часть времени в жилых помещениях, не-

соблюдение требований нормирования облучения населения может привести к неблагоприятным последствиям.

На радиационный фон в помещении влияют несколько параметров: выбор участка застройки, активность естественных радионуклидов (ЕРН) добываемого минерального сырья и поставляемых строительных материалов для строительства зданий, активности ЕРН в используемых отделочных материалах [8–10].

В Российской Федерации строительные материалы, используемые для возведения жилых зданий, проходят лабораторный контроль с целью выявления превышенного содержания радионуклидов. Нормативы, регламентирующие содержание радионуклидов в строительных материалах, представлены в ГОСТ 30108-94.

Вопрос уровня радиационного фона в местах проживания людей важен в первую очередь тем, что в данном случае воздействию ионизирующего излучения подвержены все группы населения, независимо от возраста и состояния здоровья.

Нормирование внешнего облучения людей, проживающих в квартирах, проводится двумя способами: ограничением активности природных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах, и измерением гамма-фона внутри квартир, согласно НРБ-99/2009.

В данной работе представлены результаты исследования радиационного фона квартир, расположенных на территории г. Владивосток.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основываясь на принятых нормативах, было произведено измерение радиационного фона в 100 квартирах, расположенных в пяти административных районах г. Владивосток: Фрунзенском, Ленинском, Первомайском, Первореченском и Советском. Всего по двадцать квартир в каждом районе. Выбор мест исследования основан на общей ситуации

Рис. 1. Карта расположения объектов исследования на территории Фрунзенского района г. Владивосток

с учетом потенциально неблагоприятных районов в связи с работой системы сбора и утилизации отходов в г. Владивосток [11]. Расположение обследованных квартир на территории г. Владивосток представлено на картах (рис. 1–6), описание объектов исследования приведено в табл. 1–6. Измерения проводились в многоквартирных домах разного типа, построенных в разное время из различных материалов.

Табл. 1. Накопленные данные о результатах исследования радиационного фона жилых помещений территории Фрунзенского района г. Владивосток

Номер	Адрес	Радиационный фон, мкЗв/ч	Тип дома	Дата постройки
1	Ул. Набережная, д. 5В	0,11	Монолитный	2000
2	Океанский пр-т, д. 15а	0,16	Кирпичный	1920
3	Ул. Фокина, д. 18	0,13	Кирпичный	—
4	Ул. Острякова, д. 44	0,13	Кирпичный	1967
5	Партизанский пр-т, д. 9	0,14	Кирпичный	1962
6	Ул. Хабаровская, д. 26	0,11	Панельный	1969
7	Ул. Амурская, д. 16	0,14	Панельный	1967
8	Ул. Хабаровская, д. 2	0,13	Панельный	—
9	Ул. Крыгина, д. 78	0,17	Кирпичный	1961
10	Перекопский пер., д. 7	0,16	Кирпичный	1972

Табл. 2. Накопленные данные о результатах исследования радиационного фона квартир территории кампуса ДВФУ, о. Русский

Номер	Адрес	Радиационный фон, мкЗв/ч	Тип дома	Дата постройки
11	ДВФУ, корп. 6.1	0,1	Монолитный	2011
12	ДВФУ, корп. 6.1 № 2	0,11	Монолитный	2011
13	ДВФУ, корп. 1.11	0,11	Монолитный	2011
14	ДВФУ, корп. 4	0,12	Монолитный	2011
15	ДВФУ, корп. 8.1	0,11	Монолитный	2011
16	ДВФУ, корп. 11	0,11	Монолитный	2011
17	ДВФУ, корп. 9	0,12	Монолитный	2011
18	ДВФУ, корп. 10	0,09	Монолитный	2011
19	ДВФУ, корп. 10	0,12	Монолитный	2011
20	ДВФУ, корп. 3	0,11	Монолитный	2011

Рис. 2. Карта расположения объектов исследования на территории кампуса Дальневосточного федерального университета (ДВФУ), о. Русский

Рис. 3. Карта расположения объектов исследования на территории Ленинского района г. Владивосток

Табл. 3. Накопленные данные о результатах исследования радиационного фона квартир территории Ленинского района г. Владивосток

Номер	Адрес	Радиационный фон, мкЗв/ч	Тип дома	Дата постройки
21	Некрасовский пер., д. 24	0,09	Монолитный	2011
22	Ул. Некрасовская, д. 50	0,1	Панельный	1976
23	Ул. Гоголя, д. 9	0,13	Панельный	—
24	Ул. Пушкинская, д. 50, кв. 1	0,17	Кирпичный	1956
25	Ул. Пушкинская, д. 50, кв. 2	0,14	Кирпичный	1956
26	Ул. Пушкинская, д. 50, кв. 3	0,14	Кирпичный	1956
27	Ул. Державина, д. 19а	0,16	Кирпичный	1983
28	Ул. Махалина, д. 3в	0,14	Кирпичный	1961
29	Ул. Тунгусская, д. 20	0,13	Кирпичный	1938
30	Ул. Каплунова, д. 8	0,14	Панельный	1984
31	Ул. Алилуева, д. 8	0,09	Панельный	1984
32	Ул. Нерчинская, д. 38	0,12	Кирпичный	1976
33	Ул. Ладыгина, д. 9	0,12	Панельный	1989
34	Ул. Ивановская, д. 17	0,13	Панельный	1970
35	Ул. Стрелковая, д. 50	0,11	Панельный	2004
36	Ул. Горная, д. 31	0,12	Кирпичный	1973
37	Пр-т Красного Знамени, д. 133/1	0,16	Панельный	1980
38	Ул. Толстого, д. 25	0,14	Панельный	1986
39	Ул. Нерчинская, д. 21	0,17	Панельный	1989
40	Партизанский пр., д. 9	0,18	Панельный	1967

Рис. 4. Карта расположения объектов исследования на территории Первомайского района г. Владивосток

Табл. 4. Накопленные данные о результатах исследования радиационного фона квартир территории Первомайского района г. Владивосток

Номер	Адрес	Радиационный фон, мкЗв/ч	Тип дома	Дата постройки
41	Ул. Гульбиновича, д. 24	0,12	Панельный	1987
42	Ул. Приморская, д. 5	0,1	Кирпичный	1979
43	Ул. Окатовая, д. 16	0,13	Панельный	1976
44	Ул. Кипарисовая, д. 2	0,17	Панельный	1994
45	Ул. Киевская, д. 14	0,14	Крупноблочный силикатный	1949
46	Ул. 3. Космодемьянской, д. 14	0,17	Панельный	1984
47	Ул. Надибаидзе, д. 17	0,12	Панельный	1997
48	Ул. Надибаидзе, д. 30	0,2	Панельный	1977
49	Ул. Борисенко, д. 32	0,15	Крупноблочный силикатный	1958
50	Ул. Окатовая, д. 19	0,11	Панельный	1972
51	Ул. О. Кошевого, д. 7	0,16	Кирпичный	1967
52	Ул. 50 лет ВЛКСМ, д. 23	0,17	Кирпичный	1972
53	Ул. Героев Хасана, д. 12	0,15	Кирпичный	1973
54	Ул. Сахалинская, д. 34	0,12	Кирпичный	1961
55	Ул. Черемуховая, д. 12а	0,14	Кирпичный	1972
56	Ул. Гульбиновича, д. 8/2	0,13	Панельный	—
57	Ул. Никифорова, д. 53а	0,09	Панельный	1994
58	Ул. Сафонова, д. 26	0,12	Панельный	1977
59	Ул. Монтажная, д. 1	0,14	Панельный	1971
60	Ул. Талалихина, д. 2	0,12	Кирпичный	1971

Номер	Адрес	Радиационный фон, мкЗв/ч	Тип дома	Дата постройки
61	Ул. Волховская, д. 31	0,16	Кирпичный	1991
62	Ул. Отлогая, д. 10	0,1	Монолитный	—
63	Днепровский пер., д. 5/1	0,13	Кирпичный	—
64	Ул. Луговая, д. 50а	0,12	Панельный	1971
65	Ул. Некрасовская, д. 90	0,11	Крупноблочный силикатный	2011
66	Ул. Карбышева, д. 34	0,14	Панельный	1978
67	Ул. Днепровская, д. 1	0,11	Панельный	1963
68	Пр-т 100-летия Владивостока, д. 22	0,12	Кирпичный	1965
69	Пр-т 100-летия Владивостока, д. 22 (№ 2)	0,12	Кирпичный	1965
70	Ул. Карбышева, д. 12	0,1	Панельный	1979
71	Ул. Овчинникова, д. 12	0,16	Кирпичный	1961
72	Ул. Луговая, д. 60	0,1	Панельный	1970
73	Ул. Постышева, д. 19	0,09	Панельный	1965
74	Ул. Жигура, д. 44	0,12	Панельный	1991
75	Ул. Героев Варяга, д. 6	0,13	Панельный	1988

Номер	Адрес	Радиационный фон, мкЗв/ч	Тип дома	Дата постройки
76	Ул. Луговая, д. 66	0,14	Панельный	1979
77	Ул. Жигура, д. 46	0,11	Панельный	1975
78	Народный пр-т, д. 41	0,12	Панельный	1966
79	Океанский пр-т, д. 110	0,15	Кирпичный	1987
80	Ул. Невская, д. 10	0,14	Панельный	—

Рис. 6. Карта расположения объектов исследования на территории Советского района г. Владивосток

Табл. 6. Накопленные данные о результатах исследования радиационного фона квартир территории Советского района г. Владивосток

Номер	Адрес	Радиационный фон, мкЗв/ч	Тип дома	Дата постройки
81	Ул. Кирова, д. 14/2	0,13	Панельный	—
82	Ул. Русская, д. 11	0,14	Панельный	1995
83	Ул. Кирова, д. 101	0,11	Кирпичный	1990
84	Ул. Русская, д. 66	0,11	Панельный	1978
85	Ул. Чкалова, д. 14	0,14	Панельный	1977
86	Ул. Кирова, д. 20а	0,1	Панельный	1976

Окончание Табл. 6

Номер	Адрес	Радиационный фон, мкЗв/ч	Тип дома	Дата постройки
87	Пр-т 100-летия Владивостока, д. 131	0,11	Панельный	1965
88	Пр-т 100-летия Владивостока, д. 102	0,13	Кирпичный	1966
89	Ул. Кирова, д. 11	0,09	Панельный	1986
90	Ул. Кирова, д. 25а	0,13	Кирпичный	2006
91	Ул. Кутузова, д. 8	0,1	Панельный	1963
92	Ул. Русская, д. 67/2	0,12	Панельный	—
93	Ул. Енисейская, д. 22	0,15	Панельный	1968
94	Ул. Бородинская, д. 37/3	0,14	Панельный	1963
95	Ул. Давыдова, д. 20	0,16	Кирпичный	1966
96	Ул. Магнитогорская, д. 16	0,14	Кирпичный	1976
97	Пр-т 100-летия Владивостока, д. 139	0,09	Панельный	1966
98	Ул. Чкалова, д. 18	0,12	Панельный	1978
99	Ул. Давыдова, д. 6а	0,15	Кирпичный	1964
100	Ул. Русская, д. 15	0,12	Панельный	1999

В связи с тем, что в рамках данного исследования не было возможности получить образцы строительных материалов, из которых построены здания, принято решение провести измерения гамма-фона квартир.

Измерения осуществлялись в 2017 г. согласно методике МУ 2.6.1.2838-11. Измерения проводились на высоте 1 м от уровня пола в каждой комнате. В квартире производилось не менее трех измерений мощности эквивалентной дозы (МЭД) в разных местах. Полученные результаты усреднялись и вносились в таблицу. Кроме того, квартиры обследовались дозиметрами в режиме «Поиск» на предмет локальных радиационных аномалий. Для проведения измерений МЭД использовались дозиметры гамма-излучения ДКГ-PM1203М (фирма-производитель Polimaster, Республика Беларусь) и МКС-01СА1М (фирма-производитель «СНИИП-Аунис», РФ). Оба прибора внесены в государственный реестр средств измерений и на момент проведения исследований имели сертификаты о метрологической поверке.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведенных исследований выявлено, что территориальное расположение домов не влияет на радиационный фон внутри обследованных квартир.

На графике (рис. 7) отображено, что радиационный фон квартир в разных районах примерно одинаковый. Наиболее широкий диапазон значений наблюдается только в Первомайском районе.

Причина этого может заключаться в материалах, из которых выполнены дома. Тем не менее стоит отметить, что ни в одной из обследованных квартир радиационный фон не превысил установленные нормативы.

Рис. 7. Радиационный фон в домах, расположенных в разных административных районах города

При распределении полученных результатов измерений по типам многоквартирных домов выяснилось, что наиболее высокие значения радиационного фона получены в кирпичных домах (рис. 8). Подоб-

ный результат можно объяснить эффектом накопления радионуклидов в материалах, из которых сделаны кирпичи. Кроме того, проведенные исследования выявили факт накопления радионуклидов в материалах, из которых построены здания [12–19].

Тем не менее фактор накопления можно считать малозначимым, так как уровни накопления крайне малы. С большей вероятностью можно предположить, что на содержание естественных радионуклидов в строительных материалах (а следовательно, и на радиационный фон в помещениях) в большей степени влияет санитарно-эпидемиологический контроль строительных материалов, основанный на принятых в данный момент нормативных документах. Если учесть, что в среднем мощность дозы на открытой местности составляет приблизительно 0,09–0,14 мкЗв/ч, то радиационный фон в помещении не должен превышать 0,34 мкЗв/ч. Стоит отметить, что этот норматив пришел на смену более раннему СанПиН 2.1.2.1002-00, в котором значение мощности дозы выше и составляет 0,30 мкЗв/ч.

В результате было принято решение об интерпретации результатов с точки зрения возраста зданий. В этом случае имеет смысл не только оценить зависимость радиационного фона зданий от их возраста, но и выделить этапы, когда были внесены изменения в нормативные документы, касающиеся нормирования содержания радионуклидов в строительных материалах. Данные представлены в табл. 7. Результаты приведены на рис. 9.

Исходя из табл. 7, можно сделать вывод, что система нормирования в области содержания радионуклидов двигалась в сторону постепенного снижения активности природных радионуклидов в строительных материалах.

На графике видно, что наибольшим разбросом значений уровней радиационного фона обладают здания, построенные до принятия первых нормативов, регламентирующих предельное содержание радионуклидов в строительных материалах.

Рис. 8. Распределение значений МЭД в домах различного типа

Второй этап характеризуется меньшим диапазоном значений. Максимальная величина составляет 0,17 мкЗв/ч, при условии, что в первой группе некоторые значения достигали 0,20 мкЗв/ч.

Наиболее сильно выделяется третья группа квартир современной застройки, радиационный фон в которых варьируется в относительно небольшом диапазоне. Полученные результаты по современной застройке можно типологически относить также для многофункциональных жилых комплексов и других перспективных видов застроек [20] после подтверждения при помощи мониторинга выборочных исследований, которые дают представление о радиационном фоне здания в целом.

Табл. 7. Основные нормативные документы, устанавливающие предельные значения содержания природных радионуклидов в строительных материалах

Номер	Дата принятия нормативного документа	Название документа	Установленные значения
1	26.08.1987	ОСП 72/87 «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений»	п. 1.4. Удельная активность естественных радионуклидов в строительных материалах, используемых во всех вновь строящихся жилых и общественных зданиях, не должна превышать для ^{226}Ra — $1 \cdot 10^{-8}$ Ки/кг (370 Бк/кг), для ^{232}Th — $7 \cdot 10^{-9}$ Ки/кг (259 Бк/кг) и для ^{40}K — $1,3 \cdot 10^{-7}$ Ки/кг (4810 Бк/кг)
2	01.01.1994	ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов»	Приложение А. Удельная эффективная активность ≤ 370 Бк/кг

Рис. 9. Радиационный фон в домах, построенных в разные этапы становления системы радиационного нормирования

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В целом, радиационно-гигиеническую обстановку в обследованных квартирах на территории г. Владивосток можно считать благополучной, так как превышения допустимых значений МЭД для гамма-излучения не было выявлено. Разница в значениях уровней радиационного фона в исследуемых квартирах объясняется выбором материалов, из которых были построены дома, а также возрастом зданий. Полученная информация о радиационном фоне может быть внесена в базы данных информационного моделирования зданий (BIM) и использована для ориентирования на пользователя подхода к проектированию застройки и городской инфраструктуры [21]. Результаты исследований радиационного фона квартир, внесенные в базу данных и использованные в алгоритмах проектирования на основе нужд горожан, позволяют прогнозировать совокупное качество среды жизненного пространства человека не только в рассмотренной жилой застройке, а также в прилегающих к ней объектах г. Владивосток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yin H., Liu C., Zhang L., Li A., Ma Z. Measurement and evaluation of indoor air quality in naturally ventilated residential buildings // *Indoor and Built Environment*. 2019. Vol. 28. Issue 10. Pp. 1307–1323. DOI: 10.1177/1420326x19833118
2. Kaunelienė V., Prasauskas T., Krugly E., Stasiulaitienė I., Čiužas D., Šeduikytė L. et al. Indoor air quality in low energy residential buildings in Lithuania // *Building and Environment*. 2016. Vol. 108. Pp. 63–72. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.08.018
3. Murniati N. Sick building syndrome in Indonesia and Singapore: A comparative study // *Proceedings of the 3rd International Conference on Vocational Higher Education (ICVHE 2018)*. 2020. DOI: 10.2991/assehr.k.200331.153
4. Ghaffarianhoseini A., AlWaer H., Omrany H., Ghaffarianhoseini A., Alalouch C., Clements-Croome D. et al. Sick building syndrome: are we doing enough? // *Architectural Science Review*. 2018. Vol. 61. Issue 3. Pp. 99–121. DOI: 10.1080/00038628.2018.1461060
5. Ilinskaya O., Bayazitova A., Yakovleva G. Bio-corrosion of materials and sick building syndrome // *Microbiology Australia*. 2018. Vol. 39. Issue 3. P. 129. DOI: 10.1071/ma18040
6. Afolabi A.O., Arome A., Akinbo F.T. Empirical study on sick building syndrome from indoor pollution in Nigeria // *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*. 2020. Vol. 8. Issue E. Pp. 395–404. DOI: 10.3889/oamjms.2020.3785
7. Barbu B.A., Niculescu Z., Moise L.G. Sick building syndrome, a crossroad in modern occupational medicine assessment // *Romanian Journal of Occupational Medicine*. 2018. Vol. 69. Issue 1. Pp. 12–17. DOI: 10.2478/rjom-2018-0002
8. Осипов Ю.К., Матехина О.В. Комфорт и безопасность жилой среды // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2014. № 4 (10). С. 43–47.
9. Тимошенко Е.А., Савицкий Н.В. Анализ и характеристика основных факторов, влияющих на экологическую безопасность помещений жилых зданий // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 1 (202). С. 18–26.
10. Зарипова Л.Р., Иванов А.В., Тафеева Е.А. Внутрижилищная среда и здоровье населения // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 5. С. 161.
11. Dunichkin I.V., De Souza C.B. An integrated solution to urban and sea waste management systems: Using axiomatic design to discuss urban development risks // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 459. P. 062084. DOI: 10.1088/1755-1315/459/6/062084
12. Tchorz-Trzeciakiewicz D.E., Olszewski S.R. Radiation in different types of building, human health // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 667. Pp. 511–521. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.343
13. Михнев И.П., Михнева С.В. Природные радионуклиды как источник фоновой облучения населения Нижневолжского региона. Образование и наука: современные тренды: коллективная монография. 2018. С. 151–166. DOI: 10.21661/r-470002
14. Smetsers R.C.G.M., Tomas J.M. A practical approach to limit the radiation dose from building

materials applied in dwellings, in compliance with the Euratom Basic Safety Standards // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019. Vol. 196. Pp. 40–49. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.10.007

15. Орлова К.Н., Гайдамак М.А. Исследование тенденций миграции радионуклидов в строительных материалах // *Технологии и материалы*. 2017. Т. 1. С. 19–24.

16. Дорошенко И.В. Накопление радионуклидов в постройках из различного материала // *Современное состояние и проблемы естественных наук* : сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Юрга, 17–18 апреля 2014 г. Томск : Изд-во ТПУ, 2014. С. 114–116.

17. Орлова К.Н., Гайдамак М.А. Анализ уровня гамма-излучения в постройках из кирпича // *Технологии техносферной безопасности*. 2016. № 3 (67). С. 259–263.

18. Madruga M.J., Miró C., Reis M., Silva L. Radiation exposure from natural radionuclides in build-

ing materials // *Radiation Protection Dosimetry*. 2019. Vol. 185. Issue. 1. Pp. 49–57. DOI: 10.1093/rpd/ncy256

19. Krmar M., Milić K., Arsenić I., Hansman J. Effective indoor dose of gamma radiation from building materials: comparison of several methods for estimation and possible underestimate // *Radiation Protection Dosimetry*. 2020. Vol. 190. Issue 4. С. 452–458. DOI: 10.1093/rpd/ncaa125

20. Dunichkin I., De Souza C.B., Bogachev K., Korobeynikova A., Shchekaturova N. Perspective trends in the design of Multifunctional Residential Units (MRUs) in the Russian Arctic: A discussion of potentials and challenges to their implementation // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 97. P. 01036. DOI: 10.1051/e3s-conf/20199701036

21. De Souza C.B., Dunichkin I.V., Pezzica C. A user-centred approach to design Transport Interchange Hubs (TIH): A discussion illustrated by a case study in the Russian Arctic. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019*. 2019. Pp. 489–504. DOI: 10.1007/978-3-030-24302-9_35

Поступила в редакцию 3 декабря 2020 г.

Принята в доработанном виде 17 декабря 2020 г.

Одобрена для публикации 18 декабря 2020 г.

ОБ АВТОРАХ: Владимир Александрович Дрозд — инженер; Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае; 690091, г. Владивосток, ул. Уткинская, д. 36; аспирант; Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, кампус 10; SPIN-код: 7269-9482, Scopus: 56611585600, ORCID: 0000-0002-7355-0607; v_drozdz@mail.ru;

Валерий Валентинович Темченко — кандидат физико-математических наук, доцент; Владивостокский филиал Российской таможенной академии; 690034, г. Владивосток, ул. Стрелковая, д. 16в; РИНЦ ID: 27593; vfirta@vfirta.ru;

Юрий Владимирович Чубов — кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник; Владивостокский филиал Российской таможенной академии; 690034, г. Владивосток, ул. Стрелковая, д. 16в; SPIN-код: 4365-2176, РИНЦ ID: 35571; vfirta-zakupki@mail.ru;

Владимир Николаевич Кустов — кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник; Владивостокский филиал Российской таможенной академии; 690034, г. Владивосток, ул. Стрелковая, д. 16в; РИНЦ ID: 54969; vfirta@vfirta.ru;

Кирилл Сергеевич Голохваст — доктор биологических наук, профессор; Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ); 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, кампус 10; РИНЦ ID: 571679, Scopus: 36163048100, ResearcherID: E-5051-2014, ORCID: 0000-0002-4873-2281; droopy@mail.ru.

INTRODUCTION

It is a common fact that environment influences human health. Presently, people spend 52–85 % of their time inside public and residential buildings. Therefore, it is noteworthy that these premises feature a special internal atmosphere whose chemical composition is completely different from the one of the outdoor air [1, 2].

Besides hazardous components of the aerial environment, i.e. bacteria, dust and gaseous pollutants, humans are exposed to the influence of such factors as radiation, electromagnetic fields and noise pollution.

The studies of the influence, jointly produced by the above-mentioned pollutants and constituents

of the indoor microclimate on human organisms, have developed into a new school of research, currently known as the “sick building syndrome”. This syndrome arises if residential ecology criteria exceed the values that are considered acceptable by human health specialists. Presently, numerous research projects focus on this area of research. Negative “sick building” factors can be broken down into chemical, biological, physical, architectural and social constituents. Their integrated, concurrent and combined effect suppresses the immune resistance of human organisms, accompanied by a rise in particular diseases (including allergies and cancers) and heterospecific pathologies [3–7].

Gamma radiation is one of the most hazardous and dangerous factors of influence on human health. Radiation produces negative influence on the human organism and causes grave diseases. It has already been mentioned that people spend a significant amount of time inside residential premises, that's why any failure to comply with radiation regulations can have adverse effects.

Indoor background radiation is influenced by a combination of parameters. They include the building location, the radionuclide activity of mineral raw materials and construction materials used to erect buildings, as well as the radionuclide activity of finishing materials [8–10].

In the Russian Federation, construction materials, used to build residential houses, are lab tested to identify the excessive content of radionuclides. The regulations that govern the content of radionuclides in construction materials are available in GOST 30108-94 (State Standard 30108-94).

Background radiation in residential buildings is of primary importance, as all population groups, regardless of their age and physical condition, are exposed to ionizing radiation inside apartments.

External irradiation of apartment residents is regulated in two ways: the first one consists in limiting the activity of natural radionuclides, contained in construction materials, the other one is focused on measuring background gamma radiation inside apartments pursuant to Radiation Safety Standards 99/2009.

This article presents the results of a research into background radiation in the apartments in several buildings in Vladivostok.

MATERIALS AND METHODS

The co-authors measured background radiation inside 100 apartments, located in five administrative districts of Vladivostok, including Frunzensky, Leninsky, Pervomaisky, Pervorechensky, and Sovietsky districts (twenty apartments per district), with reference to the state regulations governing radiation. Apartments are located in the areas that accommodate the system of waste collection and storage

in Vladivostok [11]. The location of apartments, examined within the framework of this project, is indicated on the maps (Fig. 1–6), and summarized information about these residential buildings is provided in Tables 1–6. Measurements were taken inside the buildings that vary in terms of their design, construction dates, and building materials.

Fig. 1. A map featuring construction facilities under research in Frunzensky district, Vladivostok.

Table 1. Findings of the research into background radiation inside residential premises in Frunzensky district, Vladivostok

No.	Address	Background radiation, mcSv/h	Building Type	Construction date
1	5V Naberezhnaya st.	0.11	Cast-in-place	2000
2	15A Okeansky pr.	0.16	Brick	1920
3	18 Fokina st.	0.13	Brick	—
4	44 Ostryakova st.	0.13	Brick	1967
5	9 Partizansky pr.	0.14	Brick	1962
6	26 Khabarovskaya st.	0.11	Prefab concrete blocks	1969
7	16 Amurskaya st.	0.14	Prefab concrete blocks	1967
8	2 Khabarovskaya st.	0.13	Prefab concrete blocks	—
9	78 Krygina st.	0.17	Brick	1961
10	7 Perekopsky per.	0.16	Brick	1972

Fig. 2. A map featuring construction facilities under research on the campus of the Far Eastern Federal University (FEFU), Russky island

Table 2. Findings of the research into background radiation inside apartments located on the campus of the Far Eastern Federal University (FEFU), Russky island

No.	Address	Background radiation, mcSv/h	Building Type	Address
11	Building 6.1, FEFU	0.1	Cast-in-place	2011
12	Building 6.1 No. 2, FEFU	0.11	Cast-in-place	2011
13	Building 1.11, FEFU	0.11	Cast-in-place	2011
14	Building 4, FEFU	0.12	Cast-in-place	2011
15	Building 8.1, FEFU	0.11	Cast-in-place	2011
16	Building 11, FEFU	0.11	Cast-in-place	2011
17	Building 9, FEFU	0.12	Cast-in-place	2011
18	Building 10, FEFU	0.09	Cast-in-place	2011
19	Building 10, FEFU	0.12	Cast-in-place	2011
20	Building 3, FEFU	0.11	Cast-in-place	2011

Fig. 3. A map featuring construction facilities under research in Leninsky district, Vladivostok

Table 3. Findings of the research into background radiation inside apartments in Leninsky district, Vladivostok

No.	Address	Background radiation, mcSv/h	Building Type	Address
21	24 Nekrasovsky per.	0.09	Cast-in-place	2011
22	50 Nekrasovskaya st.	0.1	Prefab concrete blocks	1976
23	9 Gogol st.	0.13	Prefab concrete blocks	—
24	Appt 1 50 Pushkinskaya st.	0.17	Brick	1956
25	Appt 2 50 Pushkinskaya st.	0.14	Brick	1956
26	Appt 3 50 Pushkinskaya st.	0.14	Brick	1956
27	19a Derzhavina st.	0,16	Brick	1983

End of Table 3

No.	Address	Background radiation, mcSv/h	Building Type	Address
28	3v Makhalina st.	0.14	Brick	1961
29	20 Tungusskaya st.	0.13	Brick	1938
30	8 Kaplunova st.	0.14	Prefab concrete blocks	1984
31	8 Alilueva st.	0.09	Prefab concrete blocks	1984
32	38 Nerchinskaya st.	0.12	Brick	1976
33	9 Ladygina st.	0.12	Prefab concrete blocks	1989
34	17 Ivanovskaya st.	0.13	Prefab concrete blocks	1970
35	50 Strelkovaya st.	0.11	Prefab concrete blocks	2004
36	31 Gornaya st.	0.12	Brick	1973
37	133/1 Pr. Krasnogo Znameni	0.16	Prefab concrete blocks	1980
38	25 Tolstogo st.	0.14	Prefab concrete blocks	1986
39	21 Nerchinskaya st.	0.17	Prefab concrete blocks	1989
40	9 Partizansky pr.	0.18	Prefab concrete blocks	1967

- District border
- Construction facility under research

Fig. 4. A map featuring construction facilities under research in Pervomaysky district, Vladivostok

Table 4. Findings of the research into background radiation inside apartments in Pervomaysky district, Vladivostok

No.	Address	Background radiation, mcSv/h	Building Type	Address
41	24 Gulbinovicha st.	0.12	Prefab concrete blocks	1987
42	5 Primorskaya st.	0.1	Brick	1979
43	16 Okatovaya st.	0.13	Prefab concrete blocks	1976
44	2 Kiparisovaya st.	0.17	Prefab concrete blocks	1994
45	14 Kiyevskaya st.	0.14	Large silicate blocks	1949
46	14 Z. Kosmodemyanskoy st.	0.17	Prefab concrete blocks	1984
47	17 Nadibaidze st.	0.12	Prefab concrete blocks	1997

End of Table 4

No.	Address	Background radiation, mcSv/h	Building Type	Address
48	30 Nadibaidze st.	0.2	Prefab concrete blocks	1977
49	32 Borisenko st.	0.15	Large silicate blocks	1958
50	19 Okatovaya st.	0.11	Prefab concrete blocks	1972
51	7 O. Koshevogo st.	0.16	Brick	1967
52	23 50 let VLKSM st.	0.17	Brick	1972
53	12 Geroyev Khasana st.	0.15	Brick	1973
54	34 Sakhalinskaya st.	0.12	Brick	1961
55	12a Cheremukhovaya st.	0.14	Brick	1972
56	8/2 Gulbinovicha st.	0.13	Prefab concrete blocks	—
57	53a Nikiforova st.	0.09	Prefab concrete blocks	1994
58	26 Safonova st.	0.12	Prefab concrete blocks	1977
59	1 Montazhnaya st.	0.14	Prefab concrete blocks	1971
60	2 Talalikhina st.	0.12	Brick	1971

Fig. 5. A map featuring construction facilities under research in Pervorechensky district, Vladivostok

Table 5. Findings of the research into background radiation inside apartments in Pervorechensky district, Vladivostok

No.	Address	Background radiation, mcSv/h	Building Type	Address
61	31 Volkhovskaya st.	0.16	Brick	1991
62	10 Otlagaya st.	0.1	Cast-in-place	—

End of Table 5

No.	Address	Background radiation, mcSv/h	Building Type	Address
63	5/1 Dneprovsky per.	0.13	Brick	—
64	50a Lugovaya st.	0.12	Prefab concrete blocks	1971
65	90 Nekrasovskaya st.	0.11	Large silicate blocks	2011
66	34 Karbysheva st.	0.14	Prefab concrete blocks	1978
67	1 Dneprovskaya st.	0.11	Prefab concrete blocks	1963
68	22 100-letiya Vladivostoka pr.	0.12	Brick	1965
69	22 100-letiya Vladivostoka pr. (No. 2)	0.12	Brick	1965
70	12 Karbysheva st.	0.1	Prefab concrete blocks	1979
71	12 Ovchinnikova st.	0.16	Brick	1961
72	60 Lugovaya st.	0.1	Prefab concrete blocks	1970
73	19 Postysheva	0.09	Prefab concrete blocks	1965
74	44 Zhigura st.	0.12	Prefab concrete blocks	1991
75	6 Geroev Varyaga st..	0.13	Prefab concrete blocks	1988
76	66 Lugovaya st.	0.14	Prefab concrete blocks	1979
77	46 Zhigura st.	0.11	Prefab concrete blocks	1975
78	41 Narodny pr.	0.12	Prefab concrete blocks	1966
79	110 Okeansky pr.	0.15	Brick	1987
80	10 Nevskaya st.	0.14	Prefab concrete blocks	—

Fig. 6. A map featuring construction facilities under research in Sovietsky district, Vladivostok

Table 6. The findings of the research into background radiation inside apartments in Sovietsky district, Vladivostok

No.	Address	Background radiation, mcSv/h	Building Type	Address
81	14/2 Kirova st.	0.13	Prefab concrete blocks	—
82	11 Russkaya st.	0.14	Prefab concrete blocks	1995
83	101 Kirova st.	0.11	Brick	1990
84	66 Kirova st.	0.11	Prefab concrete blocks	1978
85	14 Chkalova st.	0.14	Prefab concrete blocks	1977
86	20a Kirova st.	0.1	Prefab concrete blocks	1976
87	131 100-letiya Vladivostoka pr.	0.11	Prefab concrete blocks	1965
88	102 100-letiya Vladivostoka pr.	0.13	Brick	1966
89	11 Kirova st.	0.09	Prefab concrete blocks	1986
90	25a Kirova st.	0.13	Brick	2006
91	8 Kutuzova st.	0.1	Prefab concrete blocks	1963
92	67/2 Russkaya st.	0.2	Prefab concrete blocks	—
93	22 Eniseiskaya st.	0.15	Prefab concrete blocks	1968
94	37/3 Borodinskaya st.	0.14	Prefab concrete blocks	1963
95	20 Davydova st.	0.16	Brick	1966
96	16 Magnitogorskaya st.	0.14	Brick	1976
97	139 100-letiya Vladivostoka pr.	0.09	Prefab concrete blocks	1966
98	18 Chkalova st.	0.12	Prefab concrete blocks	1978
99	6a Davydova st.	0.15	Brick	1964
100	15 Russkaya st.	0.12	Prefab concrete blocks	1999

A decision was made to measure background gamma radiation inside the apartments due to the co-authors' inability to obtain samples of construction materials used to construct the above residential buildings.

Measurements were taken in 2017 pursuant to methodology MU 2.6.1.2838-11. Measurements were taken at the altitude of one meter above the floor level in each room. At least, three measurements were taken in each apartment. Averaged measurement results were entered into the table. Besides, apartments were examined by radiation meters in the "search" mode to detect deviations in radiation figures. DKG-RM1203M (produced by Polimaster, Republic of Belarus) and MKS-01CA1M (produced by SNIIP-Aunis, Russian Federation) radiation meters were used to measure the gamma exposure rate. Both radiation meters are available in the state register of measurement units; at the time of this research they had valid metrological certificates issued.

RESEARCH RESULTS

The research study has revealed that the location of residential buildings produces no influence on the intensity of background radiation inside them.

The diagram (Fig. 7) shows more or less similar background radiation figures for different districts.

The range of background radiation values is widest in Pervomaisky district. The reason for this phenomenon may consist in the construction material. Nevertheless, it is noteworthy that background radiation does not ex-

Fig. 7. Background radiation in apartment houses located in different districts of the city

ceed maximal acceptable values in any of apartments examined within the framework of this research study.

When measurement results were broken down by the types of apartment buildings, the co-authors discovered that the highest background radiation values were registered inside brick buildings (Fig. 8). This result can be explained by the ability of bricks to accumulate radionuclides. Besides, the research study has revealed the fact that construction materials, used to build these houses, accumulate radionuclides [12–19].

Nevertheless, radiation accumulation factor can be considered insignificant, as the accumulation ability demonstrated by these construction materials is very small. One can assume that the content of natural radionuclides in construction materials (and consequently, background radiation inside the premises) is influenced to a greater extent by the sanitary and epidemiological control over construction materials, governed by effective regulations. Given the fact that the average open air dose reaches about 0.09–0.14 mSv/h, background radiation should not exceed 0.34 mSv/h. It is noteworthy that this standard replaced earlier Sanitary regulations and standards 2.1.2.1002-00. The maximal acceptable dose was higher there, and it reaches 0.30 mSv/h.

Finally, a decision was made to break down the results by the age of apartment buildings. In this case dependence between background radiation inside buildings and their age is not the only factor that is worth the assessment, besides, dates of amendments to regulatory documents, governing the radionuclide content in construction materials should also be provided. The information is available in Table 7, and the results can be found in Fig. 9.

Proceeding from Table 7, one can conclude that the regulation system governing the content of radionuclides has gradually shifted towards reduction in the activity of natural radionuclides in construction materials.

The diagram shows that the widest range of background radiation is demonstrated by the buildings built before the adoption of legal regulations that govern the radionuclide content in construction materials.

The second stage features a smaller range of values. The maximal value is 0.17 mSv/h, although some values reached 0.20 mSv/h in the first group.

Fig. 8. Breakdown of the exposure rate in apartment buildings of different types

Fig. 9. Background radiation inside the buildings, constructed at different stages of the radiation regulation system development

Table 7. Principal regulatory documents setting the limit values of the natural radionuclide content in construction materials

No.	Enactment date	Document title	Limit values
1	26.08.1987	Basic sanitary regulations 72/87 “Basic sanitary regulations that govern the handling of radioactive substances and other sources of ionizing radiation”	Paragraph 1.4. Specific activities of natural radionuclides in construction materials used to build new residential and public buildings shall not exceed: for ^{226}Ra — $1 \cdot 10^{-8}$ Ci/kg (370 Bq/kg), for ^{232}Th — $7 \cdot 10^{-9}$ Ci/kg (259 Bq/kg) and for ^{40}K — $1.3 \cdot 10^{-7}$ Ci/kg (4810 Bq/kg)
2	01.01.1994	GOST 30108-94 “Construction materials and products. Identification of specific activities of natural radionuclides”	Exhibit A. Specific efficient activity ≤ 370 Bq/kg

The third group of contemporary apartment buildings demonstrates the most original results, as background radiation varies within a relatively small range. The results obtained for contemporary buildings can be extended to multifunctional residential buildings and other future-oriented types of houses [20] following the research validation by means of monitoring sampled examinations that help to identify the intensity of background radiation inside the building as a whole.

CONCLUSION AND DISCUSSION

On the whole, the sanitary condition of apartments examined in Vladivostok can be considered as safe, as

no excess gamma radiation was detected. The difference in radiation values inside these apartments can be explained by the choice of construction materials and the age of the buildings. The information about background radiation can be entered into BIM databases and contributed to the design of buildings and infrastructural facilities for them to be focused on potential residents [21]. The results of the research study of background radiation in the apartments, entered into the database and contributed to design algorithms in furtherance of urban residents' needs, allow to project the overall quality of the living environment not only in the examined built areas, but also inside adjacent construction facilities in Vladivostok.

REFERENCES

1. Yin H., Liu C., Zhang L., Li A., Ma Z. Measurement and evaluation of indoor air quality in naturally ventilated residential buildings. *Indoor and Built Environment*. 2019; 28(10):1307-1323. DOI: 10.1177/1420326x19833118
2. Kaunelienė V., Prasauskas T., Krugly E., Stasiulaitienė I., Čiužas D., Šeduikytė L. et al. Indoor air quality in low energy residential buildings in Lithuania. *Building and Environment*. 2016; 108:63-72. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.08.018
3. Murniati N. Sick building syndrome in Indonesia and Singapore: A comparative study. *Proceedings of the 3rd International Conference on Vocational Higher Education (ICVHE 2018)*. 2020. DOI: 10.2991/assehr.k.200331.153
4. Ghaffarianhoseini A., AlWaeer H., Omrany H., Ghaffarianhoseini A., Alalouch C., Clements-Croome D. et al. Sick building syndrome: are we doing enough? *Architectural Science Review*. 2018; 61(3):99-121. DOI: 10.1080/00038628.2018.1461060
5. Ilinskaya O., Bayazitova A., Yakovleva G. Bio-corrosion of materials and sick building syndrome. *Microbiology Australia*. 2018; 39(3):129. DOI: 10.1071/ma18040
6. Afolabi A.O., Arome A., Akinbo F.T. Empirical study on sick building syndrome from indoor pollution in Nigeria. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*. 2020; 8(E):395-404. DOI: 10.3889/oam-jms.2020.3785
7. Barbu B.A., Niculescu Z., Moise L.G. Sick building syndrome, a crossroad in modern occupational medicine assessment. *Romanian Journal of Occupational Medicine*. 2018; 69(1):12-17. DOI: 10.2478/rjom-2018-0002
8. Osipov Yu.K., Matekhina O.V. Comfort and safety of the living environment. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2014; 4(10):43-47. (rus.).
9. Timoshenko E.A., Savitsky N.V. Analyze and characterize the main factors that influence the environmental safety of the premises residential buildings. *Bulletin of the Transnistrian State Academy of Budgeting and Architecture*. 2015; 1(202):18-26. (rus.).
10. Zaripova L.R., Ivanov A.V., Tafeeva E.A. Internal environment and public health. *Modern Problems of Science and Education*. 2015; 5:161. (rus.).
11. Dunichkin I.V., De Souza C.B. An Integrated solution to urban and sea waste management systems: Using axiomatic design to discuss urban development risks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 459:062084. DOI: 10.1088/1755-1315/459/6/062084
12. Tchorz-Trzeciakiewicz D.E., Olszewski S.R. Radiation in different types of building, human health. *Science of The Total Environment*. 2019; 667:511-521. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.343
13. Mikhnev I.P., Mikhneva S.V. *Natural radionuclides as a source of background exposure of the population of the Lower Volga region*. Education and science: modern trends. 2018; 151-166. DOI: 10.21661/r-470002 (rus.).
14. Smetsers R.C.G.M., Tomas J.M. A practical approach to limit the radiation dose from building materials applied in dwellings, in compliance with the Euratom Basic Safety Standards. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019; 196:40-49. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.10.007
15. Orlova K.N., Gaidamak M.A. Research trends migration of radionuclides in building materials. *Technologies and Materials*. 2017; 1:19-24. (rus.).
16. Doroshenko I.V. Accumulation of radionuclides in buildings made of various materials. *Current state and problems of natural sciences: collection of works of the All-Russian scientific-practical conference of young scientists, graduate students and students, Yurga, April 17-18, 2014*. Tomsk, Publishing house TPU, 2014; 114-116. (rus.).

17. Orlova K.N., Gaidamak M.A. Analysis of the level of gamma radiation in brick buildings. *Technologies of Technosphere Safety*. 2016; 3(67):259-263. (rus.).
18. Madruga M.J., Miró C., Reis M., Silva L. Radiation exposure from natural radionuclides in building materials. *Radiation Protection Dosimetry*. 2019; 185(1):49-57. DOI: 10.1093/rpd/ncy256
19. Krmar M., Milić K., Arsenić I., Hansman J. Effective indoor dose of gamma radiation from building materials: Comparison of several methods for estimation and possible underestimate. *Radiation Protection Dosimetry*. 2020; 190(4):452-458. DOI: 10.1093/rpd/ncaa125
20. Dunichkin I., De Souza C.B., Bogachev K., Korobeynikova A., Shchekaturova N. Perspective trends in the design of Multifunctional Residential Units (MRUs) in the Russian Arctic: A discussion of potentials and challenges to their implementation. *E3S Web of Conferences*. 2019; 97:01036. DOI: 10.1051/e3s-conf/20199701036
21. De Souza C.B., Dunichkin I.V., Pezzi-ca C. A user-centred approach to design Transport Interchange Hubs (TIH): A discussion illustrated by a case study in the Russian Arctic. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2019*. 2019; 489-504. DOI: 10.1007/978-3-030-24302-9_35

Received December 3, 2020.

Adopted in revised form on December 17, 2020.

Approved for publication on December 18, 2020.

B I O N O T E S : **Vladimir A. Drozd** — engineer; **Center of Hygiene and Epidemiology in Primorsky Krai**; 36 Utkinskaya st., Vladivostok, 690091, Russian Federation; postgraduate; **Far Eastern Federal University (FEFU)**; campus 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation; SPIN-code: 7269-9482, Scopus: 56611585600, ORCID: 0000-0002-7355-0607; v_drozd@mail.ru;

Valery V. Temchenko — PhD (Physics and Mathematics), Associated Professor; **Vladivostok Branch of the Russian Customs Academy**; 16v Strelkovaya st., Vladivostok, 690034, Russian Federation; ID RISC: 27593; vfirta@vfirta.ru;

Yuri V. Chubov — PhD (Physics and Mathematics), Associated Professor, leading researcher; **Vladivostok Branch of the Russian Customs Academy**; 16v Strelkovaya st., Vladivostok, 690034, Russian Federation; ID RISC: 35571; vfirta-zakupki@mail.ru;

Vladimir N. Kustov — PhD (Physics and Mathematics), Associated Professor, Vladivostok Branch of the Russian Customs Academy; leading researcher; **Vladivostok Branch of the Russian Customs Academy**; 16v Strelkovaya st., Vladivostok, 690034, Russian Federation; ID RISC: 54969; vfirta@vfirta.ru;

Kirill S. Golokhvast — Doctor of Biological Sciences, Professor; **Far Eastern Federal University (FEFU)**; campus 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation; ID RISC: 571679, Scopus: 36163048100, ResearcherID: E-5051-2014, ORCID: 0000-0002-4873-2281; droopy@mail.ru.