
ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

УДК 699.86; 628.89; 504.054; 504.75.05; 551.584.61

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ БОРА В ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

А. И. ДУБАТОВКА¹⁾

¹⁾*Институт жилища – НИПТИС им. С. С. Атаева, ул. Ф. Скорины, 15, 220114, г. Минск, Беларусь*

Целлюлозная изоляция (далее – ЦИ) отечественных производителей содержит в большом количестве добавки соединений бора. Проведен обзор литературы по вопросам безопасности применения ЦИ в ходе его жизненного цикла. На основании иностранных исследований дана оценка возможности превышения ПДК соединений бора при работе с ЦИ и эксплуатации. Учитывая отечественные реалии, рекомендуется произвести исследование экологической безопасности жизненного цикла ЦИ.

Ключевые слова: целлюлозная изоляция; эковата; соединения бора; экологическая безопасность; органические волокнистые материалы; изоляционные материалы; оценка жизненного цикла.

ENVIRONMENTAL SAFETY OF BORON COMPOUNDS IN CELLULOSE INSULATION

A. I. DUBATOUKA^a

^a*Institute of Housing – NIPTIS named after S. S. Ataeva, F. Skoriny street, 15, 220114, Minsk, Belarus*

Образец цитирования:

Дубатовка А. И. Экологическая безопасность соединений бора в целлюлозной изоляции // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 2. С. 99–109.

For citation:

Dubatouka A. I. Environmental safety of boron compounds in cellulose insulation. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 2. P. 99–109 (in Russ.).

Авторы:

Дубатовка Антон Игоревич – магистр технических наук; аспирант, инженер-строитель.

Authors:

Anton I. Dubatouka, PhD student, master of engineering sciences, structural engineer.
a.dubatouka@gmail.com

Cellulose insulation (CI) of domestic manufacturers contains additives of boron compounds in large quantities. A review of the literature on the safety of the use of the CI in the course of its life cycle was conducted. On the basis of data from foreign studies, was made an assessment of the possibility of exceeding the maximum allowable concentration of boron compounds when working with the CI and its operation. Taking into account domestic realities it is recommended to conduct a study on the environmental safety of the life cycle of CI.

Key words: cellulose insulation; boron compounds; environmental safety; organic fibrous materials; insulating materials; life cycle assessment.

Введение

В связи с действием технического регламента ТР 2009/013/ВУ¹ при проектировании и строительстве следует производить экологическую оценку применяемых материалов, которая должна учитывать общее воздействие на окружающую среду на протяжении жизненного цикла стройматериала, включая его влияние на микроклимат в помещении. Поэтому вопрос экологической безопасности целлюлозной изоляции (далее – ЦИ) актуален и поднимается в ряде интернет-источниках^{2,3,4}. Основную озабоченность вызывает большое количество химических веществ в ЦИ (500...1000 кг соединений бора в односемейном доме) и неопределенность вопроса будущей утилизации домов с ЦИ [1].

Существуют опасения, что в случае неорганизованного сноса зданий, борсодержащие добавки в ЦИ могут попасть в почву и грунтовые воды, что приведет в дальнейшем к появлению эндемических заболеваний по бору, к которым медицинская диагностика не будет готова по причине нетривиальности анамнеза и технической сложности выявления бора в организме человека⁵.

Материалы и методы исследования

ЦИ (эковата) – это органический рыхлый коротковолокнистый изоляционный материал серого цвета, представляющий собой смесь из целлюлозных волокон (около 80–92 % по массе) и добавок – фунгицидов и антипиренов, которые используются для предотвращения появления плесени и улучшения огнезащитных свойств.

Целлюлозные волокна получают механическим измельчением газетной бумаги и макулатуры до однородной массы малой плотности. Химический состав и физическая форма ЦИ отличается от чистой целлюлозы (обзор технических свойств целлюлозной изоляции представлен в отдельной публикации).

Частицы печатной краски в макулатуре, используемой для изготовления ЦИ, являются потенциальным источником тяжелых металлов, которые могут загрязнять окружающую среду и представлять опасность для живых организмов.

В табл. 1 (графа 5–6) справочно приведены референтные значения для основных тяжелых металлов. Референтная доза/концентрация по Р 2.1.10.1920-04⁶ – суточное воздействие химического вещества в течение всей жизни, которое устанавливается с учетом всех имеющихся современных научных данных и, вероятно, не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения.

Согласно П-ООС 17.02-05-2016⁷, концентрации тяжелых металлов в сточных водах от переработки макулатуры являются, как правило, достаточно низкими (см. табл. 1, графа 4). Исходя из этого можно сделать вывод, что и в газетной бумаге содержание тяжелых металлов будет невелико.

Содержание тяжелых металлов в газетной бумаге по данным [2] приведено табл. 1, графа 2. По результатам исследования сделан вывод, что переработанная газетная бумага обладает низкой токсичностью и она рекомендована к использованию в животноводстве в качестве подстилки для животных.

¹ ТР 2009/013/ВУ*. Технический регламент Республики Беларусь. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность.

² Письменский В. Д. Эковата без прикрас. URL: <http://forum.vashdom.ru/attachments/ekovata-i-ekologia-pdf.20291/> (дата обращения: 26.01.2018).

³ Ракушев А. В. Федеральный проект ЭкоСРед в Иванове. URL: <http://ivanovo.spravedlivo.ru/005152603.html>. (дата обращения: 06.02.2018).

⁴ G-PMC Registrars Declines To Certify Cellulose Insulation Contractors and Manufacturers. URL: <http://www.g-pmc.com/g-pmc-registrars-declines-to-certify-cellulose-insulation-contractors-and-manufacturers/> (date of access: 08.02.2018).

⁵ «Экологичность» эковаты / Строительный форум ВашДом.RU. URL: <http://forum.vashdom.ru/threads/ehkologichnost-ehkovaty.48420/> (дата обращения: 26.01.2018).

⁶ Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.

⁷ П-ООС 17.02-05-2016. Охрана окружающей среды и природопользование. Наилучшие доступные технические методы для целлюлозно-бумажной промышленности.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в сырье для целлюлозной изоляции

Table 1

The content of toxic heavy metals in raw materials for cellulose insulation

Тяжелые металлы, мг/кг	Газетная бумага [2]	ПДК по экомаркировке natureplus ²	Концентрации в шламе от удаления печатных красок из макулатуры ²	RfC, мг/м ³	RfD, мг/кг
1	2	3	4	5	6
Cd Кадмий	0,12	0,5	0,02–1,54	0,00002	0,0005
Cr Хром	4,35	10	4,8...96,6	0,0001	0,005
Hg Ртуть	–	0,2	0,1...0,89	0,0003	0,0003
Pb Свинец	0,89	10	9,5...79,4	0,0005	0,0035

Примечание. RfC, мг/м³ – референтная концентрация для хронического ингаляционного воздействия; RfD, мг/кг – референтная доза при хроническом пероральном поступлении.

Таким образом, вопрос наличия тяжелых металлов в ЦИ не должен вызывать особого беспокойства, что не отменяет необходимость контроля по ним сырья или готовой продукции.

Доля химических добавок в составе ЦИ в разных странах и у разных производителей различается [3; 4].

Если ранее в США в составе ЦИ присутствовало 20–25 % борсодержащих добавок [5], то на сегодняшний день их добавляют 8–15 % (до 5–10 % борной кислоты и до 10 % буры или солей аммония)³.

В Европейском союзе (далее – ЕС) в настоящее время используются только два основных типа смесей ЦИ: преобладают составы на основе бора (борная кислота и бура) примерно 95 % рынка, и менее 5 % используют соли аммония [6]. Содержание соединений бора в ЦИ в последние 10 лет было сокращено примерно до 8 % и продолжает снижаться.

На отечественном рынке типовое количество борсодержащих добавок в ЦИ составляет 19 % по массе: борная кислота – 12 %, бура – 7 %.

Сводная таблица с физико-химическими свойствами соединений бора приведена в [7], история их применения в деревообработке и исследования биоцидных свойств в [8].

В табл. 2 сведены показатели опасности для веществ, входящих в состав ЦИ, определенные отечественными нормативными документами⁴. Отметим, что борная кислота и бура это кристаллические вещества, не обладающие запахом и вкусом, что приводит к невозможности определения превышения ПДК инструментальными органолептическими методами.

Таблица 2

Санитарно-токсикологические показатели составляющих целлюлозной изоляции и других веществ

Table 2

Sanitary-toxicological indicators of constituent cellulose insulation and other substances

Вещество	№ CAS	Хим. формула	Бор %	ПДК мр.рз, мг/м ³	ПДК сс.рз, мг/м ³	ПДК мр, мг/м ³	ПДК сс, мг/м ³	ПДК в, мг/л	ОБУВ мг/м ³	ARfC мг/м ³	RfC мг/м ³	RfD мг/кг	ЛД ₅₀ г/кг	Класс опасности
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Бор	7440-42-8	B	100	5	2	–	–	< 2,4	0,01	–	0,02	0,2	–	2
Борная кислота	10043-35-3	H ₃ BO ₃	17,48	10	–	–	0,02	–	–	–	0,02	0,01	0,2–0,3	3
Бура пятиводная	12179-04-3	Na ₂ B ₄ O ₇ · 5H ₂ O	14,85	2	–	–	–	–	0,02	–	0,09	0,09	–	3
Бура десятиводная	1303-96-4	Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	11,34											
Целлюлоза	9004-34-6	–	–	10	–	–	–	–	0,1	–	0,05	–	–	4
Магний оксид	1309-48-4	MgO	–	4	–	0,4	0,05	–	–	–	0,05	–	–	4

Вещество	№ CAS	Хим. формула	Бор %	ПДК мр.рз, мг/м ³	ПДК сс.рз, мг/м ³	ПДК мр, мг/м ³	ПДК сс, мг/м ³	ПДК в, мг/л	ОБУВ мг/м ³	ARfC мг/м ³	RfC мг/м ³	RfD мг/кг	ЛД ₅₀ г/кг	Класс опасности
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Стирол	100-42-5	C ₈ H ₈	–	30	10	0,04	0,002	0,02	–	20	1	0,2	0,5–5	3
Фенол	108-95-2	C ₆ H ₆ O	–	1	0,3	0,01	0,003	–	–	6	0,01	0,3	0,05–0,5	2
Формальдегид	50-00-0	CH ₂ O	–	1		0,035	0,003	–	–	0,048	0	0,2	0,5–5	2

Примечание. ARfC, мг/м³ – референтная концентрация для острых ингаляционных воздействий;
RfC, мг/м³ – референтная концентрация для хронического ингаляционного воздействия;
RfD, мг/кг – референтная доза при хроническом пероральном поступлении;
ЛД₅₀ – полумлетальная доза¹.

В ограждающих конструкциях одноэтажного каркасного дома площадью 100 м², утепленного вкруговую ЦИ толщиной 200 мм, плотностью в стенах 65 кг/м³, а в полу и потолке 35 кг/м³, содержится 2765 кг ЦИ, из которых 19 % (525 кг) борсодержащих добавок, являющихся умеренно-токсичными ядами.

Следует отметить, что, согласно Р 2.1.10.1920-04 п.4.6.7, соблюдение действующих гигиенических нормативов не является основанием для исключения потенциально вредного химического вещества из анализа и оценки риска воздействия на здоровье человека. Ряд гигиенических нормативов в атмосферном воздухе, предназначенных для коротких периодов усреднения (среднесуточные ПДКсс), нуждаются в корректировке из-за высоких значений потенциального кумулятивного риска на уровне ПДК и в обосновании правомерности использования их для длительных периодов усреднения (среднегодовые ПДКсг).

Результаты исследований и их обсуждение

Оценка риска для здоровья. Для оценки риска для здоровья, связанного с наличием в ЦИ борсодержащих добавок, приведем ниже некоторые количественные показатели.

В 1995 г. Европейским центром экотоксикологии и токсикологии химических веществ (ЕСЕТОС) был установлен верхний допустимый уровень потребления (далее – UL) бора, равный 34 мг/сут без риска для репродуктивности и 19,2 мг/сут без риска для развития организма (для человека массой 60 кг). Согласно этим данным и учитывая, что потребление бора из пищи и жидкостей составляет до 7 мг/сут, человек может дополнительно получить из других источников до 12 мг бора в день, не превышая суточный лимит его потребления [7].

В 2001 г. в США Институт медицины (ИОМ) также оценил UL бора: для взрослых – 20 мг/сут; для беременных женщин в возрасте 19–50 лет – 20 мг/сут, а в возрасте 14–18 лет – 17 мг/сут; для младенцев – как не поддающийся определению [9; 10].

В 2004 г. Европейское агентство по безопасности продуктов питания (EFSA) установило UL бора равным 10 мг/сут для взрослого человека (в том числе для беременных и кормящих женщин) или 0,16 мг/кг массы тела/сут [11]. Ежедневное потребление бора в ЕС из пищи и жидкостей оценено для взрослых в 3,67–9,67 мг/сут, для детей 2,03–8,03 мг/сут (без учета употребления витаминных комплексов и БАДов, содержащих дополнительно 1–30 мг/сут)² [12].

Содержание бора в питьевой воде во всем мире обычно составляет 0,1...0,3 мг/л и зависит от концентрации природного бора в почве. В 2009 г., согласно 4-ому изданию Руководства по обеспечению качества питьевой воды ВОЗ [13], верхняя граница концентрации бора в воде рекомендована на уровне до 2,4 мг/л. За основу расчета данного значения были взяты результаты эпидемиологических исследований, согласно которым негативное воздействие бора на здоровье животных начинало наблюдаться при дозах 10,3 мг/кг массы тела/сут, что с фактором неопределенности 60 дало UL бора для человека равным 0,17 мг/кг массы тела/сут, округленно 0,2 мг/кг массы тела/сут.

¹ Маркова И. В., Афанасьев И. В. Клиническая токсикология детей и подростков. М., 1999. Т. 1–2.

² Häschke D., Stahlmann R. Wunderwaffe Bor? // Deutsche Apotheker Zeitung. 2016. № 50. С. 54.

Таким образом, на сегодняшний день верхний допустимый уровень потребления бора (референтная (безопасная) доза) для человека согласно ВОЗ [13] определен равным 0,2 мг/кг массы тела/сут или 12 мг/сут для взрослого массой 60 кг.

Безопасность при монтаже. Согласно ГОСТ 18704-78¹ п. 2.5, работающие с борной кислотой должны применять для защиты органов дыхания средства индивидуальной защиты, лица и глаз – защитные очки, а также специальную одежду и обувь и средства защиты рук.

Действующие отечественные предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны (далее – ПДК мр. рз), входящих в состав ЦИ, указаны в табл. 2. Имеются упоминания об исследовании ПДК мр. рз при работе с ЦИ в Германии (1993 г.)², в Финляндии (1994 г.)³.

В США ЦИ используется с 1950-х гг., однако адекватная оценка ПДК мр. рз при работе с ЦИ не проводилась до 1994 г. [14]. По данным [15], ПДК мр. рз пыли ЦИ в США принята от 10 до 15 мг/м³, ПДК вдыхаемой пыли ЦИ принята 5 мг/м³. За рабочую смену допускается превышение ПДК мр. рз не более 3 раз с суммарным временем воздействия до 30 мин, превышение свыше 5 раз не допускается ни при каких условиях.

В 2002 г. в Дании изучалась профессиональная опасность от вдыхания пыли различных волокнистых и сыпучих изоляционных материалов [16–18]. Отмечено, что изоляция из льна показала высокий уровень эндотоксинов. Концентрация бора в образцах ЦИ составляла 5,1 % по массе, а для вдыхаемых частиц ЦИ – 1,1 % (*соотношение компонентов смеси ЦИ неизвестно, по косвенным данным – 6 % борсодержащих добавок* – прим. автора). Поиск и анализ более ранних исследований привел к выводу о недостаточности данных для вынесения заключения о возможном вреде здоровью при вдыхании целлюлозных волокон, поэтому рекомендуются новые долгосрочные исследования. Подчеркнута необходимость использования респираторов для индивидуальной защиты органов дыхания монтажников.

В 2006 г. в США выполнена оценка легочной токсичности ЦИ с добавками солей аммония на монтажников [5]. Концентрация бора в образцах пыли ЦИ составляла от 0,5 до 2,5 % по массе, в среднем 9,9–10,9 мг/г, сульфатов – от 2,5 % до 10 %, в среднем 37,3–50,5 мг/г, остальные элементы присутствовали в незначительном количестве. Концентрация волокон ЦИ во вдыхаемом воздухе составила в среднем при задувке в стены и потолки – 20,2 и 26,2 мг/м³ для сухого и влажного способа укладки соответственно, на чердаке – 74,8 и 18,7 мг/м³. Несмотря на то, что зафиксированное количество волокон ЦИ в воздухе при монтаже превышало допустимые значения для асбеста и минеральных волокон, предположено, что волокна целлюлозы являются безопасными, в отличие от волокон асбеста или минераловатной изоляции. Сделан вывод: исходя из небольшого количества бора, присутствующего во вдыхаемых объемах воздуха, маловероятно, что ингаляция волокон ЦИ монтажниками приведет к значительному системному воздействию на их здоровье.

Если принять ПДК мр. рз пыли ЦИ равной 10 мг/м³, то в упомянутом выше исследовании превышение ПДК мр. рз составило в среднем от 1,9 до 7,5 раз. Поэтому, а также с учетом того, что практически любая пыль (древесная, цементная и пр.) относится к 1 группе канцерогенности (по оценке Международного агентства по изучению рака⁴), использование эффективных респираторов при монтаже ЦИ обязательно (впрочем, как и с минераловатной и другой изоляцией).

Выборка из типового паспорта безопасности американской ЦИ⁵:

Вдыхание – наиболее важный путь воздействия ЦИ на здоровье в профессиональных и других условиях. ЦИ не является опасной при вдыхании. Если ожидается, что количество пыли в воздухе превысит ПДК, должны использоваться сертифицированные респираторы. Следует всегда избегать длительного воздействия пыли, превышающего нормативные пределы.

ЦИ вызывает раздражение глаз, однако в случае попадания промывать водой до 30 мин. Дermalное воздействие обычно не вызывает беспокойства, потому что продукт плохо абсорбируется через неповрежденную кожу.

Следует тщательно мыть руки после контакта. Защита глаз и применение стандартных рабочих перчаток (хлопок, холст или кожа) могут быть оправданы, если окружающая среда чрезмерно пыльная.

ЦИ не предназначена для употребления внутрь. Проглатывание небольших количеств (менее одной чайной ложки) не причинит вреда здоровым взрослым; глотание больших количеств может вызвать желудочно-кишечные симптомы, следует выпить два стакана воды и обратиться за медицинской помощью.

¹ ГОСТ 18704-78. Кислота борная. Технические условия.

² Fuehres M. Fasermessungen bei der Verwendung von Zellulose- Fasern. – Düsseldorf, 1993.

³ Dust from fibrous thermal insulation materials as a safety risk (in Finnish: Kuitumaisten lämmöneristeiden pöly työturvallisuusriskinä) / J. Saarenpää [et al.]. URL: <https://www.tsr.fi/valmiit-hankkeet/hanke?h=92257#tiedote> (date of access: 19.03.2018).

⁴ Канцерогены и ПДК. URL: <https://www.project-house.by/cancer> (date of access: 11.02.2018).

⁵ InCide Technologies. Cellulose Insulation with B10. Safety data sheet. URL: http://www.incidetech.com/wp-content/uploads/2017/04/CelluloseInsulationB10_SDS2017.pdf (date of access: 01.02.2018).

Эпидемиологические исследования человека не показывают увеличения заболеваемости легочными болезнями в профессиональных популяциях с хроническим воздействием пыли соединений бора, а также никаких эффектов влияния на рождаемость в профессиональных популяциях с хроническим воздействием пыли соединений бора или обычного населения с высоким уровнем воздействия соединений бора в окружающей среде.

На основании данных [5], оценим концентрацию соединений бора в воздухе рабочей зоны при монтаже ЦИ с 19 % борсодержащих добавок – типовым составом смеси ЦИ на отечественном рынке. Принимаем расчет по худшему варианту и имея ввиду, что добавки прочно сцепились с взвешенными в воздухе волокнами целлюлозы (в реальности добавки плохо соединяются с волокнами целлюлозы, чем и обусловлено их большое количество). Концентрация добавок в пыли составит, например, для влажной укладки на вертикальную поверхность $26,2 \times 0,19 = 5,0 \text{ мг/м}^3$, для сухой укладки на горизонтальной поверхности $74,8 \times 0,19 = 14,2 \text{ мг/м}^3$. Результаты расчетов представлены в табл. 3 (превышения нормативов).

Таблица 3

Содержание соединений бора в ЦИ и их концентрация в воздухе рабочей зоны

Table 3

The content of boron compounds in cellulose insulation and their concentration in the air of the working area

Бор, всего в виде добавок в ЦИ				Борная кислота				Бура десятиводная			
%	мг/м ³			%	мг/м ³			%	мг/м ³		
	ВВУ*	ГСУ**	ПДК мр.рз		ВВУ	ГСУ	ПДК мр.рз		ВВУ	ГСУ	ПДК мр.рз
19	0,8	2,3	5	12	3,1	9,0	10	7,0	1,8	5,2	2
15	0,6	1,9		9,5	2,5	7,1		5,5	1,4	4,1	
10	0,4	1,2		6,3	1,7	4,7		3,7	1,0	2,8	
6	0,3	0,7		3	0,8	2,2		3	0,8	2,2	
4	0,2	0,5		4	1,0	3,0		–	–	–	

Примечание. * ВВУ – вертикальная влажная укладка; ** ГСУ – горизонтальная сухая укладка.

Превышение ПДК мр. рз происходит только по буре при горизонтальной укладке (но это без учета комбинированного воздействия веществ). Превышения в данном расчете не будет при уменьшении содержания буры до 2,6 % ЦИ, однако этого ее количества может быть уже недостаточно для обеспечения желаемых пожаробезопасных свойств ЦИ.

Для снижения пыльности в процессе горизонтальной укладки ЦИ (при работах по утеплению чердачных перекрытий сверху) можно рекомендовать применение влажного способа монтажа. Вопрос снижения пыльности ЦИ изучался в [18].

По оценке отчета [RPA, 2008], подготовленного в 2008 г. для Европейской Комиссии, воздействие борсодержащих добавок ЦИ на человека возможно при укладке ЦИ голыми руками и/или при вдыхании и/или проглатывании пыли в воздухе, однако связанное с этим воздействие на здоровье будет незначительным.

Таким образом, ЦИ может представлять некоторый риск для здоровья профессиональных монтажников, не соблюдающих технику безопасности. При работе с ЦИ следует использовать респираторную защиту с фильтром P2, защитную пыленепроницаемую одежду, перчатки и очки. Во время работы избегать попадания ЦИ на поврежденную кожу и в глаза. Строго соблюдать правила личной гигиены, не курить, не принимать пищу. Во время перерывов и по окончании работ спецодежду обязательно снимать, тщательно мыть руки теплой водой с мылом.

Безопасность при эксплуатации. Первый известный отчет по вопросу безопасности эксплуатации ограждающих конструкций с ЦИ для жильцов подготовлен в Дании (1995 г.) На слабой доказательной базе сделан вывод об «отсутствии риска для здоровья при использовании ЦИ с добавками борной кислоты и/или буры» [19].

Согласно датскому отчету от 1999 г. об опыте применения альтернативных изоляционных материалов в Финляндии и Швеции [20], опрос сотрудников научно-исследовательских институтов строительства в этих странах (VTТ и SP) показал, что им не известны финские или шведские исследования безопасности ЦИ при ее эксплуатации.

В 1999 г. Институтом гигиены труда Дании для оценки степени воздействия борсодержащих добавок в составе ЦИ на жильцов проводились обследования внутреннего воздуха помещений на содержание

бора в 4 домах с периодом эксплуатации до 6 лет [21]. Конструкция наружных стен домов в основном представляла собой деревянный каркас толщиной 200 мм, заполненный ЦИ с 6 % борсодержащих добавок (3 % борной кислоты и 3 % буры; в одном доме добавки составляли 16 %), с внутренней стороны стены – два слоя гипсокартонных листов без парозащиты.

Присутствие бора во внутреннем воздухе помещений обнаружено не было. Все концентрации бора не отличались от 2 контрольных домов без ЦИ и были ниже предела обнаружения, составлявшего для фазы частиц 0,007 мг/м³, а для газовой фазы – 0,04 мг/м³.

Бор был обнаружен на полу в 2 домах – концентрация в пыли, собранной из самых пыльных закоулков, составила 0,025 и 0,039 мг/г или 0,0023 и 0,0026 мг/м². Если бы вся пыль с пола была поднята в воздух и перемешана по объему всей комнаты, это привело бы к кратковременной концентрации борсодержащих частиц в воздухе ниже 0,001 мг/м³. Если бы вся пыль на полу в гостиной с самым высоким измеренным содержанием бора была съедена, то потребленная доза бора была бы ниже допустимого уровня.

В целом был сделан вывод о том, что концентрация бора в жилище с ЦИ не (или лишь в очень малой степени) отличается от фоновой концентрации и намного ниже уровня беспокойства даже для маленьких детей, потребляющих большое количество пыли. При вдыхании 20 м³ воздуха в день и при 100 % поглощении ежедневное потребление бора оценивалось максимум в 20 x 0,007 + 20 x 0,001 = 0,16 мг бора в день в доме без пароизоляции. Меры производителей по разработке менее пыльных продуктов и замещению соединений бора приведут к дальнейшему снижению этих концентраций.

Возможно, что на основании этих исследований соединения бора упоминались 15 лет назад производителями ЦИ как экологически чистые и безвредные для человека добавки, и не брались во внимание как потенциальные загрязнители окружающей среды^{1,2}.

В последние годы в США появляются сведения, что в малоэтажных домах с принудительно-точной вентиляцией пыль ЦИ за расчет разницы давления воздуха может проникать из ограждающих конструкций во внутренние помещения через различные неплотности, щели, розетки и ухудшать микроклимат^{3,4}.

Для предотвращения миграции частиц ЦИ во внутренний воздух помещений следует применять конструктивные мероприятия, повышающие герметичность конструкции: парозащита (хотя бы крафтовая бумага), двойная обшивка, заделка стыков листов обшивки и примыканий, герметичное исполнение коробок для электрических розеток и др. По оценке [22], концентрация соединений бора в воздухе помещений с ЦИ с установленной парозащитой будет в 19 раз меньше, чем без парозащиты.

На основании данных [21], взяв за основу нижний инструментальный предел обнаружения частиц бора, оценим максимальное теоретическое количество соединений бора в воздухе дома, утепленного ЦИ с 19 % борсодержащих добавок, с учетом их современных референтных (безопасных) концентраций (RfC) и доз (RfD, для взрослого человека массой 60 кг). Результаты расчетов представлены в табл. 4 (превышения нормативов выделены).

Таблица 4

Содержание соединений бора в ЦИ и их концентрация в воздухе помещений

Table 4

The content of boron compounds in cellulose insulation and their concentration in indoor air

Бор, всего в виде добавок в ЦИ					Борная кислота					Бура десятиводная				
%	мг/м ³		мг/сут/кг		%	мг/м ³		мг/сут/кг		%	мг/м ³		мг/сут/кг	
	теорет.	RfC	теорет.	RfD		теорет.	RfC	теорет.	RfD		теорет.	RfC	теорет.	RfD
19	0,022	0,02	0,008	0,2	12	0,08	0,02	0,031	0,01	7	0,07	0,09	0,027	0,09
6	0,007		0,003		3	0,02		0,008		3	0,03		0,012	

¹ Schöpf U. Facts about Boron Used for Fire and Mould Prevention (in German: Fakten zu den Bor enthaltenen Zusätzen zu Climacell für den Brand-und Schimmelschutz) *Cellul. W. Angelbachtal*. 2002.

² Schöpf U. Бура и борная кислота в эковате. URL: http://www.ecovata31.ru/images/nauka/2_bura_i_bornay_kislota.doc (дата обращения: 01.01.2018).

³ Hawk Environmental. Cellulose Insulation and Indoor Air Quality Issues. URL: <https://hawkenvironmental.com/cellulose-insulation-dust-causes-indoor-air-quality-issues/> (date of access: 12.02.2018).

⁴ Certuse J. P. E. Field Observations of Building Damage & Cellulose Insulation. URL: <http://iseengineering.com/Final%20Images/cellulose.pdf> (date of access: 12.02.2018).

Расчетами подтверждаются выводы [21] о безопасности ЦИ с 6 % добавок. Для 3 % борной кислоты получена концентрация $0,007 / 6 \% \times 3 \% / 17,48 \% = 0,020 \text{ мг/м}^3$, что совпадает с ее RfC, а значит, на сегодняшний день количество борной кислоты равно 3 % по массе ЦИ может находиться на грани допустимого (без учета комбинированного воздействия веществ).

Однако для 19 % добавок (12 % борной кислоты и 7 % буры) в ЦИ возможно превышение RfC и RfD по борной кислоте для взрослого в 4 и в 3,1 раза соответственно, а для ребенка возрастом до 6 лет (скорость ингаляции $4,5 \text{ м}^3/\text{сут}$, масса 14 кг) – превышение RfD возможно до 2,9 раз ($4,5 \times (0,007 + 0,001) / 6 \% \times 12 \% / 17,48 \% / 14 = 0,029 \text{ мг/сут/кг}$ массы тела).

На основании вышеизложенного рекомендуется рассмотреть необходимость проведения исследовательских работ по определению фактического содержания частиц бора во внутреннем воздухе домов, утепленных ЦИ, отечественных производителей.

Безопасность при утилизации. Согласно ГОСТ 8429-77¹ п. 6.5, сточные воды с содержанием буры, образующиеся в результате смывов, влажной уборки, перед направлением в промышленную канализацию следует обезвреживать.

Оценка токсичности соединений бора в составе ЦИ проведена в отчете [22], посвященном оценке возможного влияния на здоровье человека и окружающую среду со стороны антипиренов и биоцидов, содержащихся в изоляционных материалах, на протяжении их жизненного цикла. Данный доклад на сегодня можно считать основной работой, посвященной экологичности ЦИ (при этом к нему имеется ряд вопросов²). Расчетное содержание добавок в ЦИ принималось равным 6 % (3 % борной кислоты и 3 % буры). Предположено, что потери ЦИ составят на стадии строительства 0,5 % в виде пыли, осевшей на стройплощадке, и еще 5 % будут рассыпаны и захоронены на стройплощадке, а на стадии сноса – дополнительно 1 % и 10 % соответственно. Отмечено, что захороненные соединения бора могут достигать подземных вод на стройплощадках или свалках и могут представлять экологическую опасность. Среди однозначных выводов доклада можно выделить, что борсодержащие добавки в ЦИ до 6 % по массе:

- не представляют опасности для окружающей среды на стадии эксплуатации и для демонтированных на стадии сноса, происходящего на открытом воздушном пространстве;
- могут представлять опасность для монтажников на стадии строительства и для окружающей среды на стадиях строительства и сноса.

Способы утилизации ЦИ исследовались в [23]. Демонтировать ЦИ из существующих строительных конструкций удобно пневматическим засасыванием, обратно в установочную машину [24].

В Германии с июня 2005 г. по причине наличия борсодержащих добавок не допускается захоронение ЦИ без предварительной термической / энергетической обработки. Теплотворная способность ЦИ составляет 24,7 МДж/кг, а ЦИ изготовленной в виде плит – 17 МДж/кг³.

Поскольку старый ЦИ, смонтированный в существующих зданиях, может содержать большое количество соединений бора (до 25 %), то этот вид отходов, содержащих более высокую концентрацию, чем 1 % бора, следует рассматривать как опасные отходы [25].

В США для захоронения небольших количеств ЦИ не требуется никакого специального обращения. Он может быть утилизирован на муниципальных полигонах. Количество ЦИ массой более 1 т с борсодержащими добавками не рекомендуется отправлять на свалки. Такой продукт следует, по возможности, повторно использовать для соответствующего применения. ЦИ содержит водорастворимые соли, которые в больших количествах могут нанести вред растениям, чувствительных к бору. Следует избегать загрязнения водоемов, утечки воды и стоков⁴.

Оценка влияния ЦИ на окружающую среду в процессе жизненного цикла приведена в [24].

На основании вышеизложенного рекомендуется рассмотреть необходимость проведения исследований экологической безопасности жизненного цикла ЦИ с учетом сегодняшних отечественных реалий (количество борсодержащих добавок в ЦИ до 3 раз больше, чем в ЕС – до 19 %).

Регулирование химических добавок в ЦИ. В исследовании [26] искали альтернативные вещества для замены соединений бора в ЦИ. Было сделано заключение о том, что невозможно найти подходящую альтернативу без значительного увеличения стоимости производства.

¹ ГОСТ 8429-77. Буря. Технические условия.

² NOTAT fra Det Faglige Udvalg under Energistyrelsens udviklingsprogram for miljø og arbejdsmiljøvenlig isolering. URL: <http://www.alternativisolering.dk/resumeer/flammehaemmere.htm> (date of access: 17.02.2018).

³ Zellulose-Dämmstoffe - WECOBIS - Ökologisches Baustoffinformationssystem. URL: <http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/daemmstoffe/aus-nachwachsenden-rohstoffen/zellulosefaser-daemmstoffe.html> (date of access: 20.02.2018).

⁴ InCide Technologies. Cellulose Insulation with B10. Safety data sheet. http://www.incidetech.com/wp-content/uploads/2017/04/CelluloseInsulationB10_SDS2017.pdf

С декабря 2010 г. в ЕС, согласно Приложения 4 Регламента 1272/2008, борная кислота, бура и другие соединения бора относятся к категории опасности *Repr. 1B*; *H360FD* (может отрицательно повлиять на способность к деторождению, может причинить вред неродившемуся ребенку)¹. Установлена предельная концентрация соединений бора в любых продуктах, в том числе и в ЦИ – с учетом молекулярной массы бора она должна составлять не более 1 % бора или 5,5 % борной кислоты по массе [27] (допустимое количество буры в пересчете на бор составит порядка 8,5 %).

Следует отметить существование отдельных мнений о том, что такая классификация соединений бора является слишком жесткой [28; 29].

В 2011 г. во Франции не продлили разрешение на использование соединений бора в качестве добавок в ЦИ, и производители ЦИ вынужденно заменили их солями аммония. Однако данное решение было поспешным. Соли аммония в составе ЦИ подвергаются в присутствии влаги воздуха полному гидролизу и выделяют аммиак [30], который может нанести реальный вред здоровью. В 2012 г. пошли многочисленные жалобы от жителей на запах аммиака в домах с ЦИ и с июня 2013 г. во Франции запрещен ЦИ с добавками солей аммония [CAS 7783-20-2; 7722-76-1; 7783-28-0], а с 14 июля 2018 г. в ЕС планируется запрет ЦИ, который выделяет аммиак в концентрации более 3 ppm (2,12 мг/м³) [6].

По состоянию на 2015 г., в ЕС типовым составом добавок для ЦИ на основе бора является смесь 4 % борной кислоты и 8 % гидроксида / тригидрата алюминия [CAS 8064-00-4] или сульфата магния [CAS 7487-88-9]. В будущем следует ожидать снижения суммарного содержания добавок в ЦИ до 10 % по массе [6]. С учетом принятых ограничений допустимого содержания соединений бора в ЦИ, согласно Декларации экологического продукта от Европейской ассоциации целлюлозной изоляции [24], качество воздуха в помещении при эксплуатации ЦИ имеет рейтинг А+ или А. Испытание на выброс летучих органических соединений в рамках обязательной экологической маркировки проводилось в соответствии с ISO 16000-3, ISO 16000-6, ISO 16000-9 и ISO 16000-11.

В работе [3] упоминается вопрос уместности употребления понятия «экологически безопасный» к европейскому ЦИ с репротоксичными добавками в объеме до 5 % по массе. Эковата отечественных производителей содержит до 19 % соединений бора.

Заключение

ЦИ является хорошим недорогим и перспективным экологичным изоляционным материалом с минимальным воздействием на окружающую среду, при условии снижения количества борсодержащих добавок в его составе на отечественном рынке.

С учетом повышения приоритетов вопросов химической безопасности в Республике Беларусь², возможность ограничения вслед за ЕС допустимого содержания соединений бора в товарах нуждается в дополнительной комплексной оценке со стороны Министерства здравоохранения, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Библиографические ссылки

1. Nielsen, B. L., Pedersen M. *Alternativ isolering i Tyskland*. 1999.
2. Ward P. L., Wohlt J. E., Zajac P. K., et al. Chemical and physical properties of processed newspaper compared to wheat straw and wood shavings as animal bedding // *J. Dairy Sci.* 2000. Vol. 83, № 2. P. 359–367.
3. Larsen P. B. Cellulose / paper wool insulation – aspects in relation to regulatory requirements and risk assessment. 2012.
4. Kwon Y. C., Yarbrough D. W. Cellulose Insulation for Use as Building Insulation in Korea. 2017. Vol. 70, № Amsce. P. 75–79.
5. Morgan D. L. NTP Toxicity Study Report on the atmospheric characterization, particle size, chemical composition, and workplace exposure assessment of cellulose insulation (CELLULOSEINS). 2006.
6. ECHA. Background document to RAC and SEAC opinions on inorganic ammonium salts / ECHA. 2015.
7. ECETOC. Reproductive and General Toxicology of some Inorganic Borates and Risk Assessment for Human Beings. Technical Report No. 63 / ECETOC. 1995.
8. Freeman M. H., McIntyre C.R., Jackson D. A critical and comprehensive review of boron in wood preservation // *Proc. Am. Wood Prot. Assoc.* 2009. Vol. 105. P. 279–294.
9. IOM. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. – National Academies Press (US), 2001.
10. EPA. Toxicological Review of Boron and Compounds. 2004.

¹ В 1987 г. Министерство здравоохранения СССР постановило: «...Запретить использование борной кислоты в качестве антисептического средства у детей грудного возраста, а также у женщин в период беременности и лактации в связи с ее низкой активностью и высокой токсичностью». *Прозоровский В.* Коварная борная кислота. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/3604/>

² Регулирование химических веществ в центре внимания мирового сообщества. URL: <http://ecoidea.by/ru/article/780> (дата обращения: 17.02.2018).

11. EFSA. Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Boron (Sodium Borate and Boric Acid). 2004.
12. BfR. Zusatz von Borsäure oder Borax in Nahrungsergänzungsmitteln- Gesundheitliche Bewertung Nr. 005/2006 des Bundesinstitut für Risikobewertung. 2005.
13. WHO. Boron in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. 2009.
14. McConnell E. E. Summary of data for chemical selection // Cellulose insulation. 1994.
15. NIOSH. Exposure Assessment of Cellulose Insulation Applicators. Health Hazard Evaluation Report, HETA 2000-0322-2827. 2001.
16. Breum N. O., Schneider T., Jørgensen, et al. Cellulosic Building Insulation versus Mineral Wool, Fiberglass or Perlite: Installer's Exposure by Inhalation of Fibers, Dust, Endotoxin and Fire-retardant Additives // *Ann. Occup. Hyg.* 2003. Vol. 47, № 8. P. 653–669.
17. Breum N. O., Schneider T., Flyvholm M.-A., et al. Luftforureninger ved anvendelse af alternative isoleringsmaterialer. 2002.
18. Schneider T., Jørgensen O. Undersøgelse af mobilt støv i afstøvet Papiruld. 1999.
19. Haugaard J. Vurdering af risiko ved anvendelse af Borsyre/Borax til isolering. 1995.
20. Hansen M. H., Eriksen S. S. Brug af alternativ isolering i Finland og Sverige. 2000.
21. Schneider T. Forekomst af bor i indeklimaet. Et pilotstudie. 1999.
22. COWI. Udredning om flammehæmmere og biocider i isoleringsmaterialer. Dansk Toksikologi Center. 2000.
23. Dahi Z. Recyclingfähige Dämmstoffe aus Altpapier für Syrien. Universität Kassel, 2012.
24. ECIA. Environmental Product Declaration. Loose fill cellulose insulation [Электронный ресурс]. URL: http://ecia.eu.com/files/news/20180118 EPD_Core_ECIA-version 2.4.pdf (дата доступа: 12.03.2018).
25. Larsen P. B., Nielsen B. S., Fotel F. L., et al. Survey of Boric acid and sodium borates (borax). 2015.
26. Dollerup H., Skov C. Forsøgsplatform og imprægnering. Substitution af bor-afprøvninger. 2005.
27. ECHA. Annex XV dossier: Proposal for identification of a substance as substance of very high concern (SVHC). Substance Name: Boric acid. 2010.
28. Duydu Y., Başaran N., Ustündağ A., et al. Is Boric Acid Toxic to Reproduction in Humans? Assessment of the Animal Reproductive Toxicity Data and Epidemiological Study Results // *Curr. Drug Deliv.* 2016. Vol. 13, № 3. С. 324–329.
29. BBSR. Ökologische Baustoffwahl. Aspekte zur komplexen Planungsaufgabe «Schadstoffarmes Bauen». Bonn, 2016.
30. Кетов А. А., Кетов П. А., Красновских М. П. Исследование экологической опасности теплоизоляционного материала эковата // *Строительные материалы.* 2016, № 5. С. 78–80.

Referenes

1. Nielsen, B. L., Pedersen M. Alternativ isolering i Tyskland. 1999.
2. Ward P. L., Wohlt J. E., Zajac P. K., et al. Chemical and physical properties of processed newspaper compared to wheat straw and wood shavings as animal bedding. *J. Dairy Sci.* 2000. Vol. 83, № 2. P. 359–367.
3. Larsen P. B. Cellulose / paper wool insulation – aspects in relation to regulatory requirements and risk assessment. 2012.
4. Kwon Y. C., Yarbrough D. W. Cellulose Insulation for Use as Building Insulation in Korea. 2017. Vol. 70, № Amsce. P. 75–79.
5. Morgan D. L. NTP Toxicity Study Report on the atmospheric characterization, particle size, chemical composition, and workplace exposure assessment of cellulose insulation (CELLULOSEINS). 2006.
6. ECHA. Background document to RAC and SEAC opinions on inorganic ammonium salts / ECHA. 2015.
7. ECETOC. Reproductive and General Toxicology of some Inorganic Borates and Risk Assessment for Human Beings. Technical Report No. 63 / ECETOC. 1995.
8. Freeman M. H., McIntyre C.R., Jackson D. A critical and comprehensive review of boron in wood preservation. *Proc. Am. Wood Prot. Assoc.* 2009. Vol. 105. P. 279–294.
9. IOM. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. – National Academies Press (US), 2001.
10. EPA. Toxicological Review of Boron and Compounds. 2004.
11. EFSA. Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Boron (Sodium Borate and Boric Acid). 2004.
12. BfR. Zusatz von Borsäure oder Borax in Nahrungsergänzungsmitteln- Gesundheitliche Bewertung Nr. 005/2006 des Bundesinstitut für Risikobewertung. 2005.
13. WHO. Boron in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. 2009.
14. McConnell E. E. Summary of data for chemical selection. Cellulose insulation. 1994.
15. NIOSH. Exposure Assessment of Cellulose Insulation Applicators. Health Hazard Evaluation Report, HETA 2000-0322-2827. 2001.
16. Breum N. O., Schneider T., Jørgensen, et al. Cellulosic Building Insulation versus Mineral Wool, Fiberglass or Perlite: Installer's Exposure by Inhalation of Fibers, Dust, Endotoxin and Fire-retardant Additives. *Ann. Occup. Hyg.* 2003. Vol. 47, № 8. P. 653–669.
17. Breum N. O., Schneider T., Flyvholm M.-A., et al. Luftforureninger ved anvendelse af alternative isoleringsmaterialer. 2002.
18. Schneider T., Jørgensen O. Undersøgelse af mobilt støv i afstøvet Papiruld. 1999.
19. Haugaard J. Vurdering af risiko ved anvendelse af Borsyre/Borax til isolering. 1995.
20. Hansen M. H., Eriksen S. S. Brug af alternativ isolering i Finland og Sverige. 2000.
21. Schneider T. Forekomst af bor i indeklimaet. Et pilotstudie. 1999.
22. COWI. Udredning om flammehæmmere og biocider i isoleringsmaterialer. Dansk Toksikologi Center. 2000.
23. Dahi Z. Recyclingfähige Dämmstoffe aus Altpapier für Syrien. Universität Kassel, 2012.
24. ECIA. Environmental Product Declaration. Loose fill cellulose insulation [Электронный ресурс]. URL: http://ecia.eu.com/files/news/20180118 EPD_Core_ECIA-version 2.4.pdf (date of access: 12.03.2018).

25. Larsen P. B., Nielsen B. S., Fotel F. L., et al. Survey of Boric acid and sodium borates (borax). 2015.
26. Dollerup H., Skov C. Forsøgsplatform og imprægnering. Substitution af bor-afprøvninger. 2005.
27. ECHA. Annex XV dossier: Proposal for identification of a substance as substance of very high concern (SVHC). Substance Name: Boric acid. 2010.
28. Duydu Y., Başaran N, Ustündağ A, et al. Is Boric Acid Toxic to Reproduction in Humans? Assessment of the Animal Reproductive Toxicity Data and Epidemiological Study Results. *Curr. Drug Deliv.* 2016. Vol. 13, № 3. С. 324–329.
29. BBSR. Ökologische Baustoffwahl. Aspekte zur komplexen Planungsaufgabe «Schadstoffarmes Bauen». Bonn, 2016.
30. Ketov A. A., Krasnovskikh M. P. [Research in Ecological Danger of Heat Insulating Material «Ecowool»]. *Construction Materials.* 2016. No. 5. P. 78–80. (In Russ.).

*Статья поступила в редколлегию 07.05.2018
Received by editorial board 07.05.2018*