

УДК 614.8:504.75.06

EDN: OBLDQX

## Результаты экспериментальных исследований процессов поглощения углекислого газа

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.2.76

© Технологии гражданской безопасности, 2023

**Е.В. Васильева, О.В. Виноградов, М.В. Графкина, А.М. Пудова, Е.Ю. Свиридова**

### Аннотация

Статья посвящена исследованию процессов поглощения углекислого газа, направленных на снижение его концентрации и улучшение качества воздуха в помещениях жилых и общественных зданий. Приведены результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности поглощения углекислого газа различными веществами.

**Ключевые слова:** качество воздуха; углекислый газ; поглощение углекислого газа; эффективность поглощения; методы улавливания; экспериментальные исследования.

## Experimental Studies Results of Carbon Dioxide Absorption Processes

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.2.76

© Civil Security Technology, 2023

**E. Vasileva, O. Vinogradov, M. Grafkina, A. Pudova, E. Sviridova**

### Abstract

The article is devoted to the study of carbon dioxide absorption processes aimed at reducing its concentration and improving air quality in residential and public buildings. The results of experimental studies to assess the efficiency of carbon dioxide absorption by various substances are presented.

**Key words:** air quality; carbon dioxide; carbon dioxide absorption; absorption efficiency; capture methods; experimental studies.

28.04.2023

## Введение

Безопасность жизнедеятельности населения зависит от множества факторов, формируемых в условиях повседневной деятельности, а также в результате чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Одним из таких факторов является увеличение концентрации углекислого газа как в атмосфере Земли, так и в помещениях жилых и общественных зданий.

Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) — это один из наиболее распространенных газов, который может накапливаться в закрытых помещениях. Количество диоксида углерода в здании обычно связано с тем, сколько свежего воздуха поступает в это здание. Самым распространенным источником двуокиси углерода в помещении является дыхание человека, а точнее выдыхание [1]. При высокой концентрации углекислый газ может оказывать негативное воздействие на здоровье человека [2]. В связи с этим контроль уровня  $\text{CO}_2$  в закрытых помещениях является важной задачей для обеспечения комфортных и безопасных условий пребывания людей.

Вопросы поглощения углекислого газа являются одной из актуальных тем в научных исследованиях. Многие публикации посвящены изучению процессов поглощения и снижения концентрации  $\text{CO}_2$  в различных условиях, включая абсорбцию газа различными реагентами. Благодаря проведенным экспериментам и анализу данных ученые и инженеры разрабатывают новые технологии и материалы, которые могут эффективно улавливать углекислый газ и повышать экологическую безопасность [3–10].

Авторы отмечают, что прежде всего исследования ведутся по снижению выбросов  $\text{CO}_2$  и его улавливанию из атмосферы с целью защиты окружающей среды и в меньшей степени — из воздуха производственной среды. Актуальным является проведение практических экспериментов, направленных на снижение загрязнения углекислым газом воздуха помещений.

Целью статьи является экспериментальное исследование процессов поглощения углекислого газа.

Задачи исследования:

1. Провести анализ воздействия углекислого газа на здоровье человека и окружающую среду.
2. Провести экспериментальные исследования по оценке эффективности поглощения углекислого газа различными реагентами.

Материалы и методы. Теоретическую и методологическую основу исследования составили отечественные и зарубежные научные и научно-популярные литературные источники. При проведении исследования использовались методы анализа и синтеза, математической статистики, формализации, натурального эксперимента.

### 1. Углекислый газ как фактор негативного воздействия на производственную и экологическую безопасность

В октябре 2022 года международная группа ученых заявила, что концентрация углекислого газа в атмосфере Земли достигла 418 ppm, что является самой высокой

среднемесячной глобальной концентрацией, когда-либо зарегистрированной [11].

Повышение концентрации двуокиси углерода в атмосфере приводит к потенциальной угрозе для здоровья людей. При высоком содержании  $\text{CO}_2$  в организме человека могут возникнуть проблемы с дыхательной и сердечно-сосудистой системой [12]. Воздействие диоксида углерода может привести к обострению хронических болезней, таких как астма, хронический бронхит, бронхиальная астма, сердечная недостаточность и другие [13]. Также при высоком содержании углекислого газа в воздухе могут появиться другие проблемы со здоровьем, такие как головные боли, слабость, рвота, головокружение и другие. В некоторых случаях даже могут возникнуть серьезные заболевания, такие как рак легких и заболевания почек [14].

Углекислый газ способен поднять резистентность организма к бактериальным и вирусным инфекциям, добавок диоксид углерода фигурирует в обмене биологически активных веществ. При физической активности двуокись углерода способствует поддержанию равновесия организма, но увеличение углекислого газа в окружающей среде приводит к недомоганию [15].

Серьезным является вопрос снижения качества воздуха в помещениях жилых и общественных зданий из-за резкого увеличения концентрации углекислого газа в результате дыхания людей при малой эффективности систем вентиляции [16, 17]. Так, Бесединым С. Н. приводятся экспериментальные данные, показывающие что в течение часа в помещении объемом 215 м<sup>3</sup> при нахождении 11 человек содержание углекислого газа увеличивается вдвое (с 903 до 1735 ppm) [18].

Увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере вызывает рост концентрации паров воды, что влечет за собой повышение температуры воздушной среды и, в свою очередь, нарушает баланс связей в биосфере. Углекислый газ, попадая в атмосферу, препятствует выходу излучения в космическое пространство, что приводит к увеличению температуры земной поверхности, вызывая парниковый эффект [19]. Он чреват последствиями в виде: таяния ледников полярных областей; повышения уровня Мирового океана, изменение его солёности, температуры; глобального нарушения климата. Такого рода изменения могут привести к увеличению количества дождливых дней и ливневых осадков, изменению регионального климата, изменению сезонов и усилению экстремальных погодных условий [20].

В связи с этим актуальной является задача принятия организационных и технических мер, направленных на поддержание допустимой концентрации углекислого газа в помещениях жилых и административных зданий.

### 2. Планирование и проведение эксперимента

В целях оценки эффективности поглощения углекислого газа различными веществами в весенний период 2023 года, с учетом метеорологических условий, близких к нормальным, проведена серия

экспериментальных исследований в соответствии с разработанной программой-методикой.

Исследования проводились с использованием экспериментальной установки, структурная схема которой представлена на рис. 1.

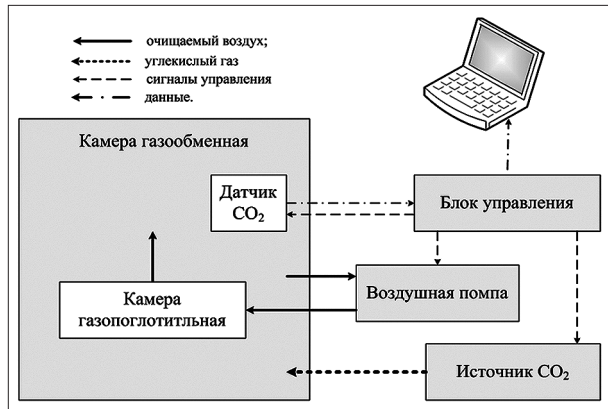


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Объектами испытаний являлись вещества и растворы реагентов, способные поглощать углекислый газ:

А) вода дистиллированная по ТУ 2638-007-5260040-2005. Чистая жидкость, очищенная от вредных микроорганизмов, примесей, минеральных солей и инородных веществ;

Б) вода водопроводная, содержащая нитриты, нитраты, фториды и хлориды;

В) сода кальцинированная (карбонат натрия —  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) в виде 5%-ного раствора;

Г) сода каустическая (едкий натр —  $\text{NaOH}$ ) в виде 5%-ного раствора.

Испытания осуществлялись в два этапа:

1. Первый этап — подготовительный, включавший в себя подготовку помещения для проведения эксперимента, сборку и настройку экспериментальной установки.

2. Второй этап — основной, включавший в себя:

- проведение эксперимента, включающего:

приготовление раствора реагента заданной концентрации;

измерение pH раствора;

заливку раствора реагента в камеру поглотительную;

фиксацию начальных значений температуры и содержания углекислого газа в камере газообменной;

впрыск углекислого газа в камеру газообменную;

прокачку в течение 90 мин. воздуха через раствор поглотителя, измерение температуры и содержания углекислого газа в камере газообменной, фиксацию результатов измерений в файле;

измерение pH раствора;

- приведение оборудования в исходное состояние;

• обработку результатов экспериментальных исследований. Обработка результатов осуществлялась с использованием специального программного обеспечения как на стороне блока управления, так и на стороне персонального компьютера.

### 3. Обсуждение результатов эксперимента

По результатам обработки результатов экспериментальных исследований построены графические зависимости средних значений изменения содержания углекислого газа при очистке воздуха различными веществами.

А) Дистиллированная вода

На рис. 2 представлена динамика изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха дистиллированной водой.

Анализ полученных данных показал, что снижение pH составило от 7 до 6 единиц, содержание углекислого газа в воздухе снизилось в 1,72 раза. Дистиллированная вода способна снизить содержание углекислого газа в воздухе, но в незначительном количестве. Снижение происходит в большей степени за счет растворения углекислого газа и в меньшей степени — за счет образования угольной кислоты.

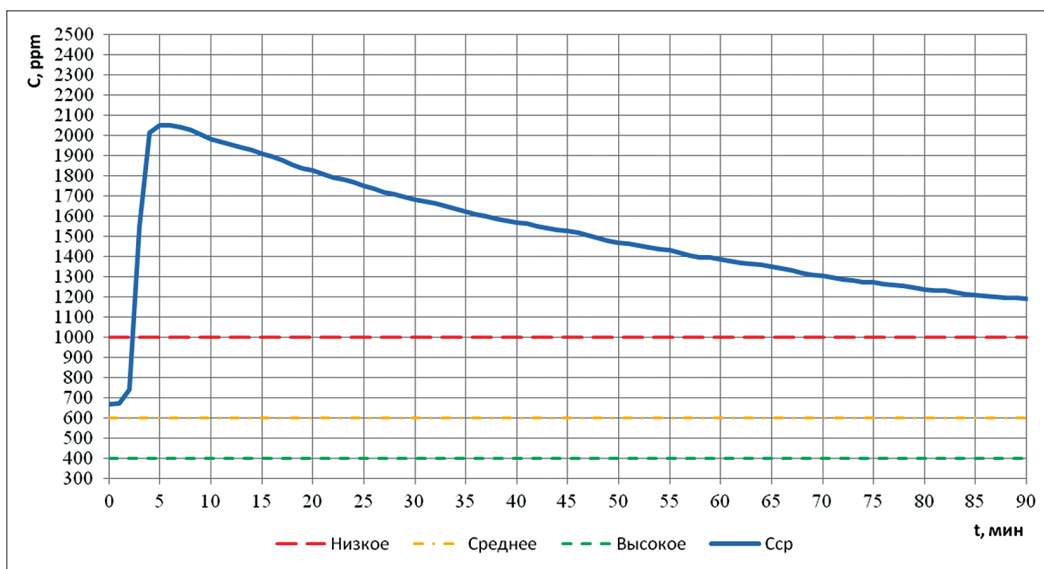


Рис. 2. Динамика изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха дистиллированной водой

### Б) Водопроводная вода

На рис. 3 представлена динамика изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха водопроводной водой.

Анализ полученных данных показал, что снижение рН составило от 7 до 6 единиц, содержание углекислого газа в воздухе снизилось в 1,74 раза, что немногим более результата, полученного с помощью дистиллированной воды. Водопроводная вода, так же как и дистиллированная, способна снизить содержание углекислого газа в воздухе, но в незначительном количестве. Снижение происходит в большей степени за счет растворения углекислого газа и в меньшей степени — за счет образования угольной кислоты, в связи с чем вода не сможет долгое время удерживать растворенный углекислый газ и вернет его в воздух. Учитывая, что в ходе эксперимента химический анализ воды

не проводился, можно сделать теоретический вывод о том, что имеющиеся в воде примеси не оказывают серьезного влияния на поглощение углекислого газа.

### В) Кальцинированная сода

На рис. 4 представлена динамика изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха раствором кальцинированной соды.

Анализ полученных данных показал, что снижение рН составило от 13 до 12 единиц, содержание углекислого газа в воздухе снизилось в 1,75 раза. Каустическая сода показала более высокую эффективность поглощения углекислого газа, чем дистиллированная и обычная водопроводная вода. Эффект обеспечен за счет прохождения химической реакции связывания углекислого газа:

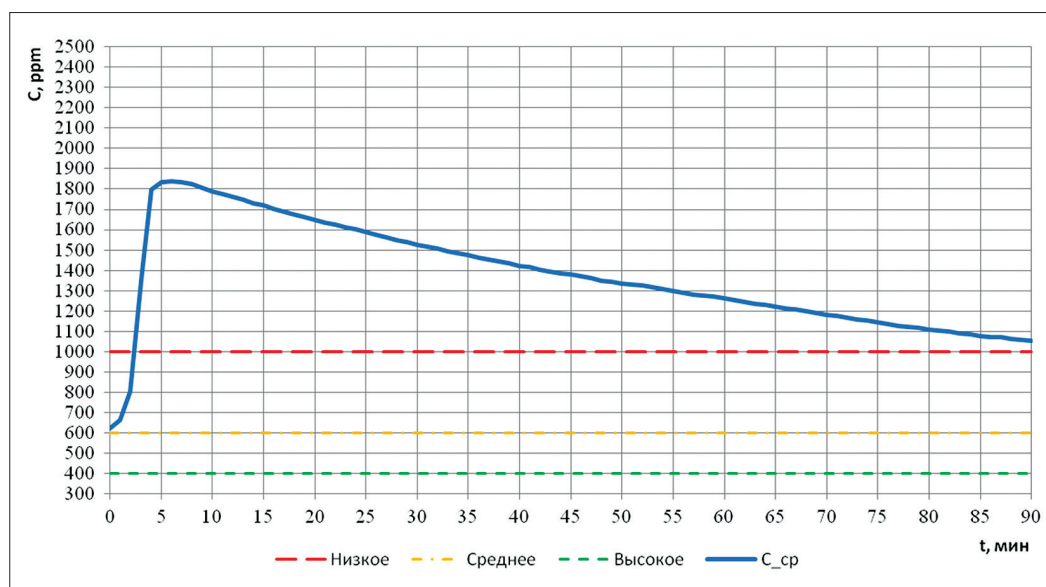
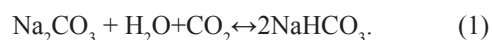


Рис. 3. Динамика изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха водопроводной водой

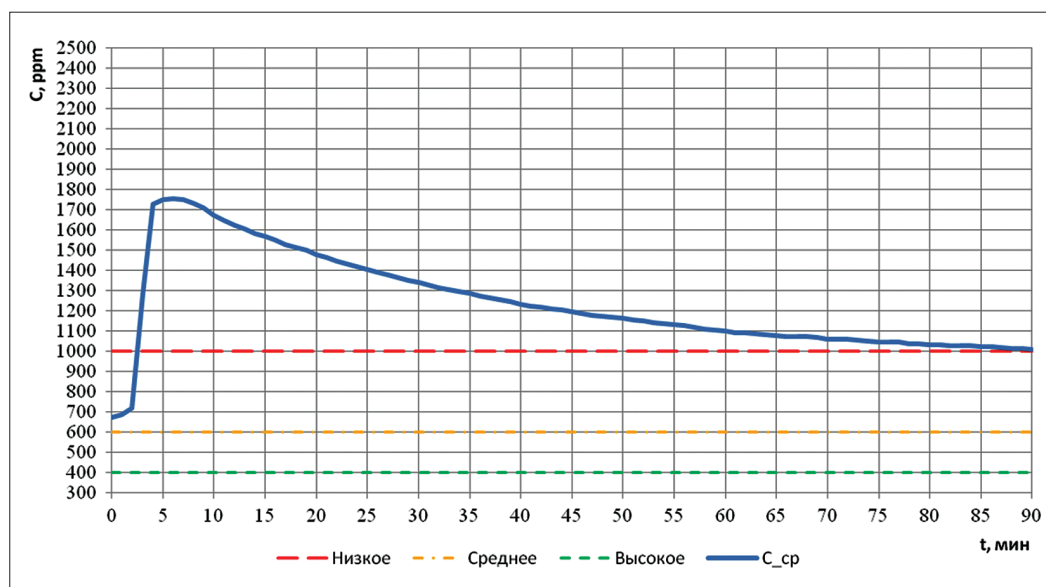


Рис. 4. Динамика изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха раствором кальцинированной соды

## Г) Каустическая сода

На рис. 5 представлена динамика изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха раствором каустической соды.

Анализ полученных данных показал, что снижение рН составило от 14 до 13 единиц, содержание углекислого газа в воздухе снизилось в 2,44 раза. Каустическая сода является самым эффективным веществом из рассмотренных по своей способности связывать углекислый газ.

Эффект обеспечен за счет прохождения химической реакции связывания углекислого газа:



Сравнительный график изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха различными веществами приведен на рис. 6. Значения

концентрации углекислого газа приведены к одинаковому фоновому значению — 400 ppm.

## Выводы

1. Все из рассмотренных в ходе эксперимента вещества могут быть использованы для снижения концентрации углекислого газа в помещениях.

2. Во всех опытах рН-фактор снизился на 1 единицу, что говорит о повышении кислотности растворов за счет поглощения углекислого газа.

3. Вода может быть использована для снижения содержания углекислого газа в воздухе при условии ее удаления из обслуживаемого помещения.

4. Наиболее эффективным поглотителем углекислого газа из рассмотренных является каустическая сода.

5. Полученные результаты представляют несомненный интерес для выработки технологий и методов снижения концентрации углекислого газа в воздухе.

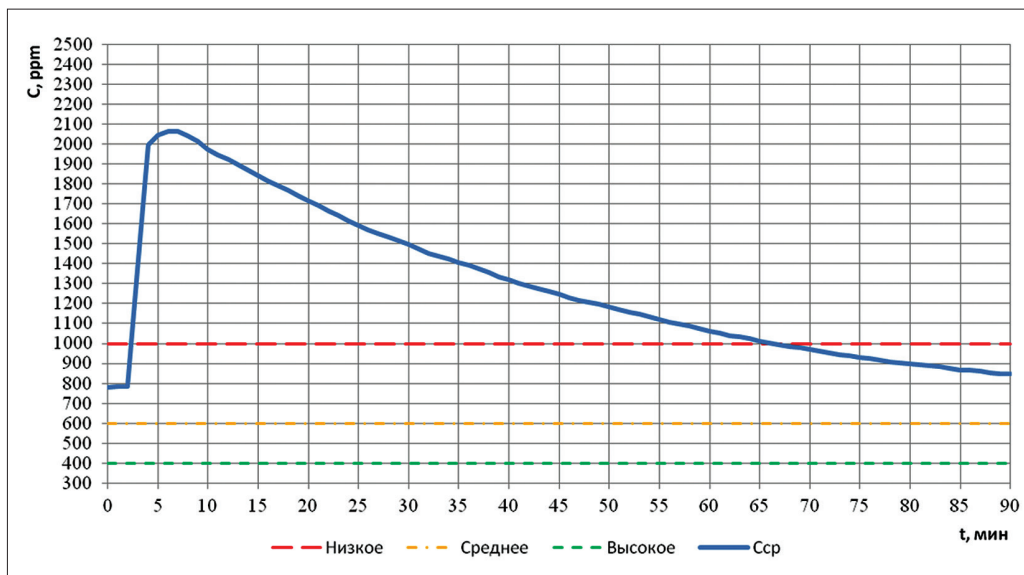


Рис. 5. Динамика изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха раствором каустической соды

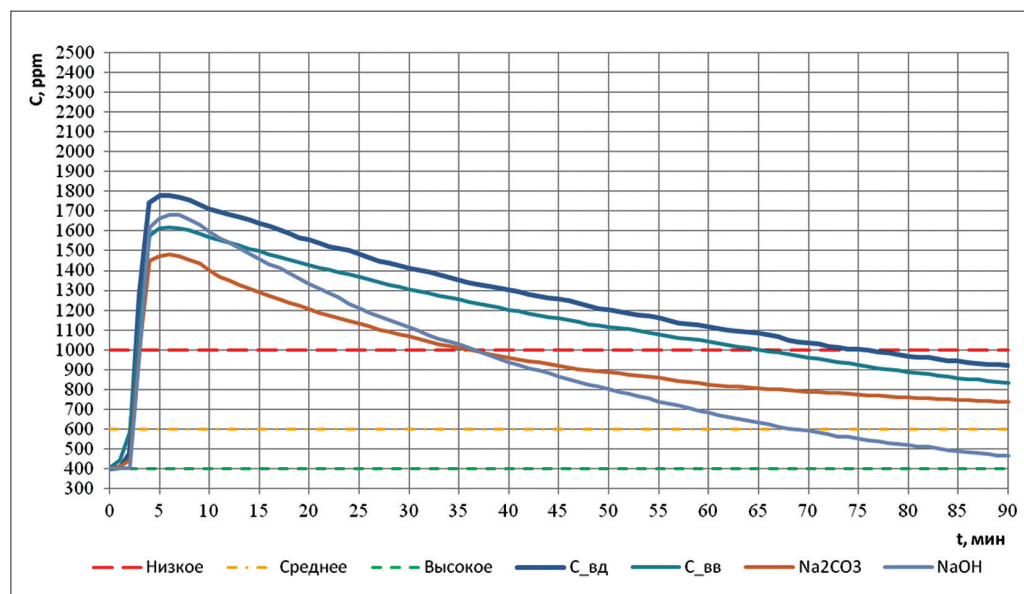


Рис. 6. Динамика изменения средней концентрации углекислого газа при очистке воздуха различными веществами

## Заключение

Проведенный эксперимент по поглощению углекислого газа различными веществами является важным исследовательским шагом в поиске эффективных технологий и методов снижения концентрации

углекислого газа и улучшения качества воздуха в помещениях жилых и общественных зданий, что приведет к улучшению качества жизни граждан и снижению вероятности возникновения негативных ситуаций, связанных с повышением концентрации углекислого газа.

## Литература

- Carbon Dioxide Detection and Indoor Air Quality Control // URL: <https://ohsonline.com/articles/2016/04/01/carbon-dioxide-detection-and-indoor-air-quality-control.aspx> (дата обращения: 25.04.2023).
- Малышев В.П. Варианты формирования комплексных промышленных объединений по утилизации и переработке углекислого газа в продукты крупнотоннажной химии / В.П. Малышев, О.В. Виноградов, И.А. Родионов // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 1 (71). С. 31–35. DOI 10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71.7.31. EDN: GXUUBW.
- Indoor air quality: the impact of CO2 on health and well-being at work // URL: <https://meersens.com/indoor-air-quality-the-impact-of-co2-on-health-and-wellbeing-at-work/?lang=en> (дата обращения: 25.04.2023).
- Салаватов Т.Ш., Байрамова А.С., Воробьев К.А. Использование диоксида углерода в качестве химического сырья // Вестник Евразийской науки. 2021. № 2. 9 с. URL: <https://esj.today/PDF/03NZVN221.pdf> (дата обращения: 26.04.2023).
- Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck. Carbon Dioxide Capture and Storage // Cambridge University press. 2005. 443 с.
- Porous Adsorption Materials for Carbon Dioxide Capture in Industrial Flue Gas // URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2022.939701/full> (дата обращения: 26.04.2023).
- Малышев В.П. Методический подход к определению перспектив использования технологий улавливания и переработки углекислого газа для защиты окружающей среды и населения / В.П. Малышев, О.В. Виноградов, И.А. Родионов // Проблемы анализа риска. 2022. Т. 19. № 6. С. 50–65. DOI 10.32686/1812-5220-2022-19-6-50-65. EDN: J1TNFN.
- Физико-химические основы сатурации воды // URL: <http://www.comodity.ru/nonsoftalco/saturation/4.html> (дата обращения: 26.04.2023).
- Carbon dioxide capture using liquid absorption methods: a review // URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01093-8> (дата обращения: 26.04.2023).
- Технологии улавливания диоксида углерода // URL: <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2022/2/PDF/2022-2-132-137.pdf> (дата обращения: 26.04.2023).
- World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2022 / BioScience, Volume 72, Issue 12, December 2022, Pages 1149–1155 // URL: <https://doi.org/10.1093/biosci/biac083> (дата обращения: 26.04.2023).
- Влияние углекислого газа на человека // URL: <https://atmeex.ru/blog/vliyanie-uglekislogo-gaza-na-cheloveka> (дата обращения: 26.04.2023).
- Air pollution and chronic airway diseases: what should people know and do? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4740163/> (дата обращения: 27.04.2023).
- Carbon Dioxide // URL: <https://www.dhs.wisconsin.gov/chemical/carbondioxide.htm> (дата обращения: 27.04.2023).
- Виноградов О.В. Вопросы приспособления подземного пространства городов для укрытия населения // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 4-х ч. Москва, 1 марта 2022 года / сост. В.С. Бутко, М.В. Алешков, С.В. Подкосов, А.Г. Заворотный и др. Ч. I. М.: АГПС МЧС России, 2022. С. 94–100. EDN: VCGWCP.
- Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022668350, Российская Федерация. Определение максимального времени пребывания населения в помещениях, приспособленных для укрытия: № 2022667410: заявл. 23.09.2022: опубл. 05.10.2022 / О.В. Виноградов, В.П. Малышев, А.М. Пудова, И.А. Родионов; заявитель ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). EDN: UYCYNP.
- Беседин С.Н. Прогноз углекислого газа в учебных помещениях и разработка организационно-технических мероприятий по минимизации ущерба здоровью обучающихся / С.Н. Беседин // Грани познания. 2020. № 2(67). С. 3–8. EDN: JETLIK.
- Углекислый газ и его воздействие на организм человека // URL: <https://бризекс.рф/blog/vozdjstvie-co2-na-cheloveka> (дата обращения: 28.04.2023).
- Морев С.Ю. Новые технологии утилизации углекислого газа как средства решения экологических проблем // Проблемы экологического образования в XXI веке: Труды III Международной научной конференции (очно-заочной), посвященной 100-летию Педагогического института, г. Владимир, 6 декабря 2019 года / под ред. Е.П. Грачевой. Владимир: Владимирский государственный университет, 2019. С. 127–134. // URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41564565> (дата обращения: 29.04.2023).
- Улавливание и хранение углекислого газа (CCS): наилучшие доступные технологии, текущие проекты и глобальные перспективы // URL: <https://aebrus.ru/upload/iblock/4ab/4ab6540c0371af467e429ac892c68a30.pdf> (дата обращения: 29.04.2023).

## Сведения об авторах

**Васильева Елена Валерьевна:** Московский политехнический университет, студент. Москва, Россия.

**Виноградов Олег Владимирович:** к. т. н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), в. н. с. науч.-исслед. центра. Москва, Россия. SPIN-код: 3056-0611.

**Графкина Марина Владимировна:** д. т. н., проф., Московский политехнический университет, зав. каф. «Экологическая безопасность технических систем». Москва, Россия. SPIN-код: 2062-8362.

**Пудова Анастасия Максимовна:** ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), м. н. с. науч.-исслед. отдела. Москва, Россия. SPIN-код: 4264-6203.

**Свиридова Евгения Юрьевна:** к. т. н., Московский политехнический университет, доцент кафедры «Экологическая безопасность технических систем». Москва, Россия. SPIN-код: 6483-0670.

## Information about authors

**Vasileva Elena V.:** Moscow Polytechnic University, Student. Moscow, Russia.

**Vinogradov Oleg V.:** PhD (Technical Sc.), All-Russian Research Institute for Civil Defense And Emergencies, Leading Researcher, Research Center. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 3056-0611.

**Grafkina Marina V.:** ScD (Technical Sc.), Professor, Moscow Polytechnic University, Head of the Department of «Environmental Safety of Technical Systems». Moscow, Russia. SPIN-scientific: 2062-8362.

**Pudova A. M.:** All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Junior Researcher, Research Department, Moscow, Russia. SPIN-scientific: 4264-6203.

**Sviridova Evgenia Y.:** PhD (Technical Sc.), Moscow Polytechnic University, Associate Professor of the Department «Environmental Safety of Technical Systems». Moscow, Russia. SPIN-scientific: 6483-0670.